



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Observatório de Hidrogênio

Nº 05

Janeiro
2022

Observatório de Hidrogênio N° 5

Organizadores

Nivalde de Castro

Sayonara Elizário

Vinicius Botelho

Bianca Castro

Equipe de Pesquisa

Allyson Thomas

José Vinicius Freitas

Kalyne Brito

Luana Bezerra

ISBN: 978-65-86614-50-3

Janeiro
2022

Sumário

| | |
|--|----|
| Introdução..... | 4 |
| 1. Cenário Nacional..... | 5 |
| 1.1 GESEL na mídia..... | 7 |
| 2. Cenário Internacional..... | 8 |
| 2.1 Projetos de Hidrogênio..... | 8 |
| 2.2 Políticas Públicas e Financiamentos..... | 14 |
| 2.3 Armazenamento e Transporte..... | 20 |
| 2.2 Uso Final..... | 22 |
| 2.5 Tecnologia e Inovação..... | 30 |
| 3. Considerações finais..... | 31 |

Introdução

O hidrogênio (H₂) tem sido reconhecido como um importante vetor energético capaz de promover uma profunda descarbonização da economia mundial, especialmente em setores de difícil redução de emissões, como o industrial e o de transportes. Nesse contexto, a transição energética de uma economia composta majoritariamente por combustíveis fósseis para o hidrogênio verde ou de baixo carbono irá transformar significativamente o setor energético e, ainda, atender a dois requisitos centrais do Acordo de Paris: segurança energética e redução de emissões de gases de efeito estufa.

Diante das potencialidades do H₂, diversos países estão estimulando o desenvolvimento da economia do hidrogênio, como pode-se observar pelo crescente anúncio de políticas públicas e projetos demonstrativos em toda cadeia de valor do hidrogênio.

Posto isto e considerando a evolução exponencial da economia do hidrogênio, o presente relatório tem como objetivo central apresentar um estudo analítico do acompanhamento sistemático do setor, apresentado no [Informativo Setorial de Hidrogênio do GESEL](#), atentando para as principais políticas públicas, diretrizes, projetos, inovações tecnológicas e regulatórias de toda cadeia de valor do hidrogênio.

Destaca-se que este Observatório de Hidrogênio apresenta uma série de pontos importantes do mês de dezembro, como *insights* da cadeia de valor do hidrogênio, enfocando projetos, usos finais, políticas públicas, financiamentos, armazenamento e transporte.

Cenário Nacional

As potencialidades do Brasil conjecturam um posicionamento importante no mercado de hidrogênio verde (H2V) no futuro, de forma que iniciativas para promover a estruturação da economia de hidrogênio (H2) no Brasil têm se intensificado. Enquanto se aguarda a publicação do Programa Nacional de Hidrogênio, é perceptível o avanço no que se diz respeito à aceitação pública, estimulada por meio da conscientização da população através de eventos, presenciais e online, e de artigos, científicos e de opinião. Estas ações têm buscado apresentar a relevância, as potencialidades e os desafios da estruturação desta indústria nascente. Somado a essas atividades, o anúncio de acordos de interesse e desenvolvimento, bem como o lançamento de um centro de pesquisa de hidrogênio merecem ser destacados.

Memorandos de Entendimento e o avanço da economia de hidrogênio no Brasil

Recentemente foram divulgados memorandos de entendimento (MoU) propondo grandes investimentos no desenvolvimento da economia de hidrogênio no Brasil. Destes, a grande maioria foi anunciada para o Porto de Pecém (14), no Ceará, porém também são vistos anúncios de MoU no Polo Industrial de Camaçari, na Bahia, no Porto do Açu (RJ), no Porto Suape (PE), bem como nos estados do Rio Grande do Norte e, mais atualmente, do Rio Grande do Sul.

Cenário Nacional

Este último foi firmado pela White Martins, empresa fornecedora de gases industriais e medicinais atuante no Brasil há mais de 100 anos, que assinou um MoU com o governo do estado. A companhia visa utilizar o potencial do estado para construir uma usina de produção do hidrogênio por meio de fontes renováveis, dentre as quais energia solar, energia eólica *onshore* e até mesmo energia eólica *offshore*. O objetivo do MoU é a produção do vetor energético de forma sustentável, ou seja, hidrogênio verde, com a finalidade de utilizá-lo para produzir amônia verde.

Cabe salientar que o Rio Grande do Sul é um local em que há um elevado potencial para produção de energia eólica, como apresentado pelo [Atlas de Energia Eólica do Rio Grande do Sul](#). De acordo com o documento, o estado foi considerado como aquele que possui o maior potencial eólico, sendo:

- i) *Onshore*, com 103 GW em torres de 100 m de altura e 245 GW em torres de 150 m; e
- ii) *Offshore*, com 34 GW em lagoas e 80 GW no oceano.

No que diz respeito ao uso final pretendido para o H₂V, espera-se atender a demanda de amônia verde existente no estado, que movimentou, em 2020, cerca de 85 mil toneladas de nitrato de amônio e outras 18 mil toneladas passaram pelo Porto de Porto Alegre, em duas operações. Salienta-se ainda que o Rio Grande do Sul possui 15 empresas produtoras de adubos e 11 indústrias de fertilizantes.

Para ler sobre o MoU e o Atlas de Potencial Eólico do RS na íntegra, acesse:

- [White Martins](#)
- [Atlas de Energia Eólica do Rio Grande do Sul](#)

Cenário Nacional

GESEL na mídia

Artigo publicado no Broadcast Energia

A Indústria Nascente do Hidrogênio Verde no Brasil

Em artigo publicado no Broadcast Energia, Nivalde de Castro (coordenador do GESEL), Roberto Brandão (pesquisador sênior do GESEL) e Thereza Aquino (professora da UFRJ e pesquisadora associada do GESEL) abordam a indústria nascente do H₂V, com foco no Brasil. Segundo os autores, *“cabe aos agentes econômicos liderar este processo de criação da indústria nascente do H₂V, com apoio das instituições de estado para avançar e desenvolver estudos que servirão de subsídio e base para o desenvolvimento de política industrial a partir de 2023”*.

Para ler o artigo na íntegra, clique [aqui](#).

Cenário Internacional

Projetos de Hidrogênio

O desenvolvimento do mercado de hidrogênio é de suma importância para o contexto atual da transição energética, visto que este pode ser utilizado em diversos segmentos da matriz energética, incluindo os setores de difícil eletrificação. Ademais, quando produzido de maneira limpa, o H2 é um vetor de descarbonização, podendo mitigar as emissões de carbono em todos os setores no qual for incluído. Outrossim, para que um mercado de H2 seja desenvolvido e as metas climáticas sejam atingidas, é necessário que sejam estruturados projetos em toda a cadeia de valor do gás, que inclui a produção, o armazenamento, o transporte e o uso final.

Ao analisar especificamente o mês de dezembro, é possível constatar que o mercado de hidrogênio está cada vez mais próximo de se tornar uma realidade a nível mundial. Nesse mês, diversos projetos apresentaram avanços, sejam eles em fase de estudos ou já em fase de desenvolvimento. No mais, o mês de dezembro também trouxe vários novos projetos ao redor do mundo, vide a Figura 1, e em diversas áreas da cadeia de valor do hidrogênio, entretanto com um maior foco para projetos de produção.

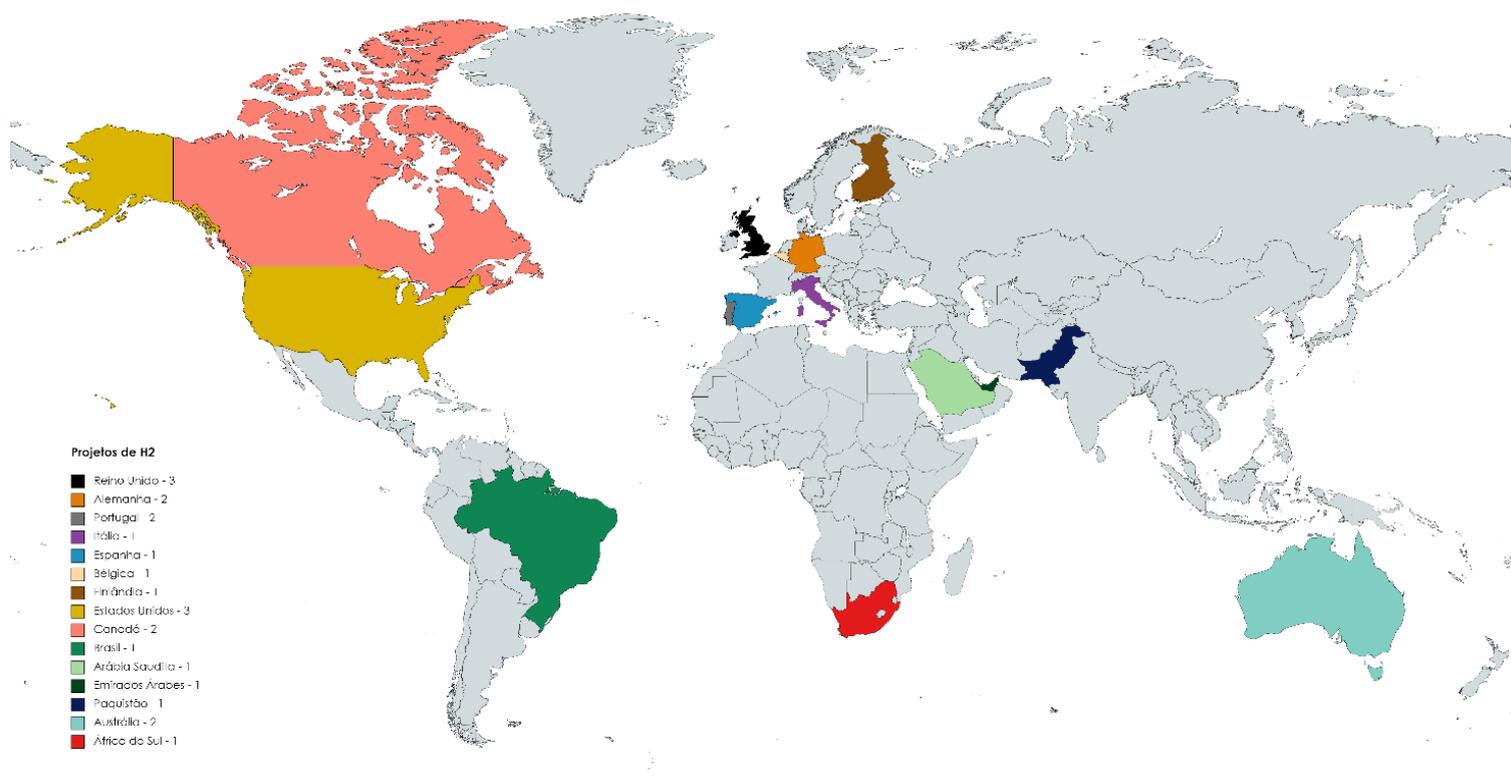


Figura 1: Mapa da distribuição de projetos identificados em dezembro de 2021 no mundo

Fonte: Elaborado pelos autores.

Cenário Internacional

Projetos de Hidrogênio

Ademais, analisando os principais objetivos dos projetos, observa-se que estão associados a:

- i) Demonstrar a produção eficaz, técnica e econômica do gás;
- ii) Desenvolver pesquisas;
- iii) Princípiar o desenvolvimento da infraestrutura do H2 na região local; e
- iv) Descarbonizar e otimizar processos industriais.

Por fim, é necessário distinguir o desenvolvimento de projetos no que concerne à sua quantidade por país e por continente. Após uma análise realizada a partir dos informativos setoriais de H2 do GESEL referentes ao mês de dezembro, é perceptível que, apesar de todos os continentes estarem se comprometendo com o desenvolvimento do H2, a maior parte dos projetos é realizada no continente europeu. Outrossim, foi verificado que a América e a Ásia também são continentes que estão desenvolvendo diversos projetos. Por último, vale ressaltar que a Oceania e a África são os continentes que menos desenvolvem projetos de hidrogênio, como demonstra a Figura 2.

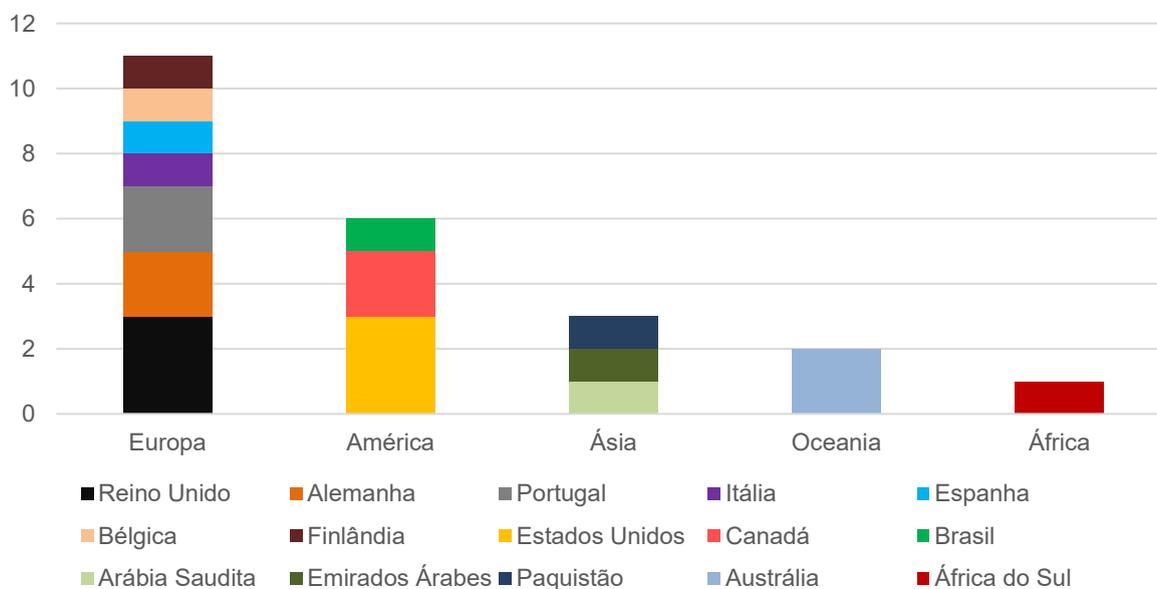


Figura 2: Distribuição de projetos identificados em dezembro de 2021 por continentes e países
Fonte: Elaborado pelos autores.

Cenário Internacional

Projetos de Hidrogênio

Observa-se um total de 23 projetos. Ademais, dentre todos os continentes, a Europa merece um destaque maior, uma vez que a região apresentou 11 projetos no mês de dezembro, um percentual de aproximadamente 48% de projetos identificados no mês. Um outro mérito que merece ser destacado à Europa é o fato de que diversos países do continente não apresentam potencial para a produção de hidrogênio por meios sustentáveis – hidrogênio verde -, pois a intensa radiação solar e os ventos fortes não são realidade na região. Entretanto, apesar do clima local não favorecer, a Europa vem sendo, por muito tempo, o continente que mais desenvolve projetos de hidrogênio verde, demonstrando, assim, compromisso com o desenvolvimento da cadeia de valor.

Ademais, deve-se destacar o Reino Unido. Composto por quatro nações - Inglaterra, Escócia, Irlanda do Norte e País de Gales -, foram identificados três novos projetos no país. Além de tudo, é válido salientar que todos os projetos identificados no Reino Unido produzem hidrogênio verde, o que demonstra o comprometimento do país para com a descarbonização e a transição energética.

Desviando-se da realidade europeia, a América também merece destaque, pois é o segundo continente que mais apresentou novos projetos no mês de referência. O continente possui seis novos projetos, um percentual de 26% em relação ao total de projetos anunciados.

No continente americano, o país que merece destaque é o Estados Unidos, considerando que anunciou três novos projetos, sendo o segundo que mais anunciou projetos no mundo, atrás apenas do Reino Unido. Outro país que pertence ao continente americano e é importante ser destacado é o Brasil, visto que possui diversas vantagens competitivas para o desenvolvimento de projetos de hidrogênio verde e apresentou um novo projeto de H2V no mês de dezembro.

Cenário Internacional

Projetos de Hidrogênio

Com o comprometimento mundial para com a transição energética, os países vêm desenvolvendo, em sua maioria, projetos que objetivam produzir o hidrogênio de maneira limpa. É possível analisar este fato, pois, dos novos projetos identificados, todos visam produzir o gás de maneira limpa, com uma pegada baixa ou sem emissão de dióxido de carbono. Dos 23 projetos identificados no mês de referência, 20 são de hidrogênio verde e 3 são de hidrogênio azul, como demonstra a Figura 3, a seguir.



Figura 3: Classificação da cor do hidrogênio dos projetos identificados

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao analisar a Figura 3, é notório que os novos projetos estão indo de acordo com a transição energética e o intuito de descarbonizar a matriz energética, uma vez que todos contêm uma pegada de carbono reduzida ou nula.

Consoante aos projetos de hidrogênio verde, é importante informar sobre a origem da energia, que é bastante variada, podendo ser proveniente de fontes hídrica, solar ou eólica, com ênfase, principalmente, às duas últimas energias primárias.

Ademais, no que concerne ao hidrogênio azul, foi utilizado o gás natural submetido à reforma a vapor com a posterior captura de carbono pelo método do CCS, que captura uma quantia de aproximadamente 90% do carbono que o processo emite.

Cenário Internacional

Projetos de Hidrogênio

É de suma importância analisar de qual maneira os continentes e países estão se relacionando com a produção do hidrogênio e as consequências ambientais que o desenvolvimento deste gás pode trazer. Isto é, é sábio analisar de forma mais aprofundada qual a classificação do H₂ está sendo desenvolvida por todo o mundo. Desta maneira, foram elaborados dois gráficos para distinguir se, dos projetos apresentados, o projeto nacional está desenvolvendo o hidrogênio verde ou azul.

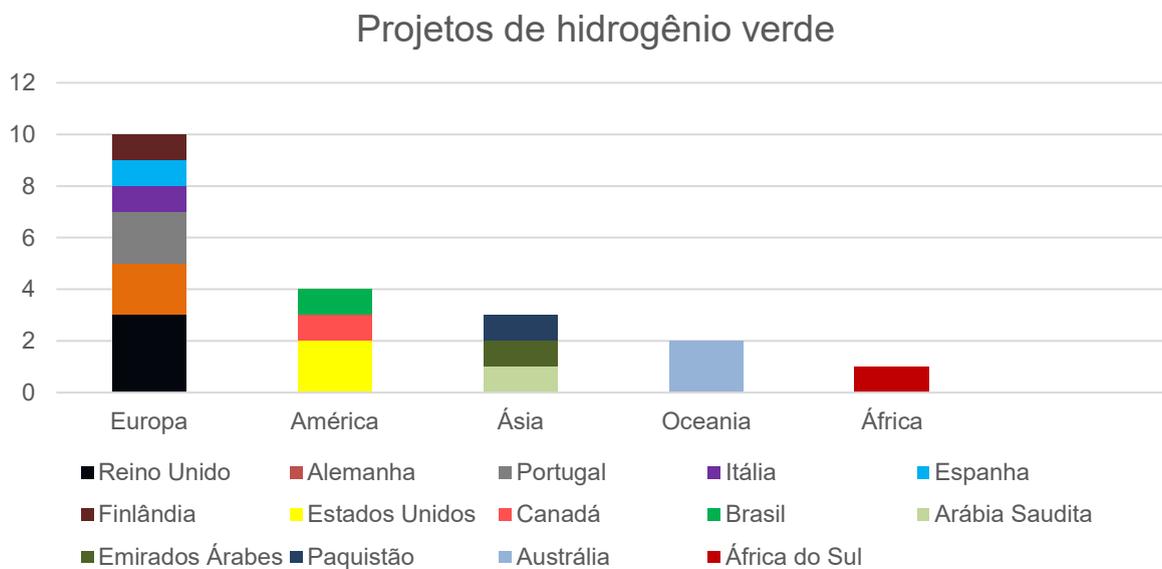


Figura 4: Projetos de hidrogênio verde identificados referente a dezembro
Fonte: Elaborado pelos autores.

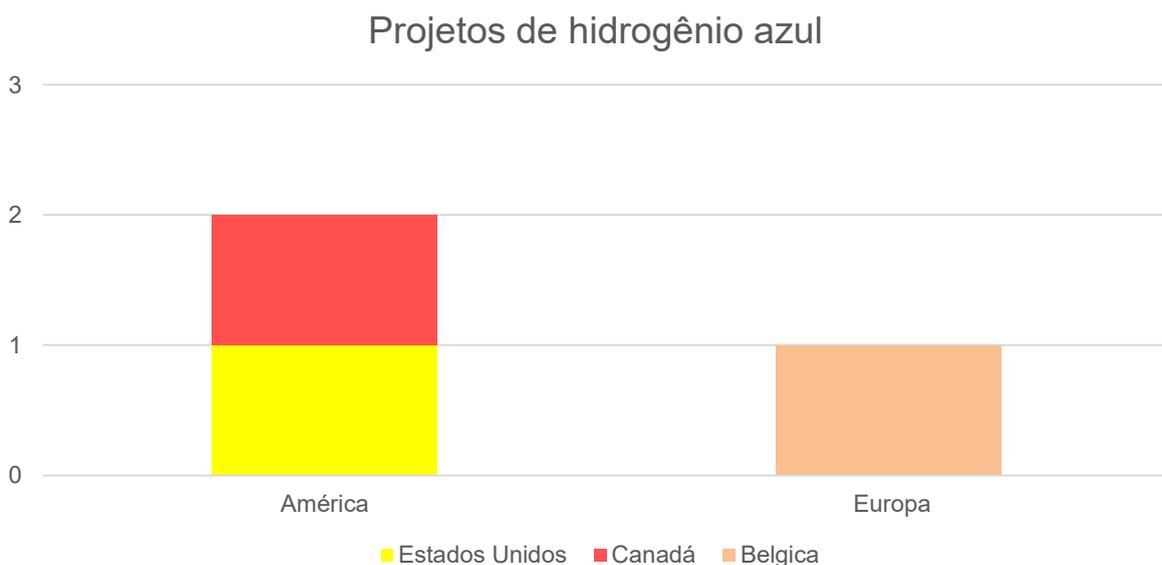


Figura 5: Projetos de hidrogênio azul identificados referente a dezembro
Fonte: Elaborado pelos autores.

Cenário Internacional

Projetos de Hidrogênio

A partir das Figuras 4 e 5, é possível verificar que, no mês de dezembro, apenas a América e a Europa começaram a desenvolver projetos de hidrogênio azul. Este dado vai de acordo com o esperado, pois a América, sendo representada principalmente pelos Estados Unidos, desenvolve muitos projetos de hidrogênio com baixa pegada de carbono. Ademais, quando se trata da Europa, muitos países não possuem climas favoráveis à produção do hidrogênio verde, então a opção pelo hidrogênio azul é uma das soluções para o desenvolvimento da cadeia de valor do H₂.

Por outro lado, Ásia, Oceania e África apresentaram apenas projetos de H₂V. Este dado é bastante comum, visto que a Oceania, sendo representada pela Austrália, contém recursos energéticos favoráveis para a produção do gás de maneira renovável. A África também possui um clima muito propício para a produção de energias renováveis, principalmente energia solar, tendo em vista a grande radiação solar no continente, e, por consequência, possui grande potencial para produzir H₂V.

Por ser uma economia emergente, muitos projetos limitam-se apenas a memorandos de entendimento ou estudos preliminares, mas há aqueles que já possuem um desenvolvimento concreto.

A Figura 6 apresenta a distribuição percentual de projetos em estudo ou efetivos no mundo.

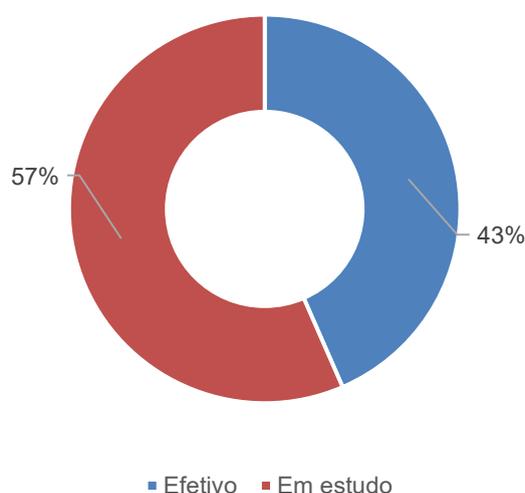


Figura 6: Classificação dos projetos identificados pelo status de desenvolvimento
Fonte: Elaborado pelos autores.

Cenário Internacional

Projetos de Hidrogênio

Ao analisar a Figura, é possível compreender que novos projetos, bem como memorandos de entendimento, estão sendo anunciados em grandes quantidades, uma vez que as iniciativas são recentes e ainda estão em estudo. Assim, observa-se que, dos 23 projetos identificados, 13 ainda estão em fase de estudos, um processo que muitas das vezes costuma ser demorado, ainda mais para um mercado recente que precisa ser muito estudado. Ademais, os outros 10 projetos já estão em fase de efetivação. Por fim, cabe ressaltar que dos projetos efetivos, todos são projetos piloto.

Políticas Públicas e Financiamentos

A economia de hidrogênio está em estágio inicial de desenvolvimento e, por isso, o seu sucesso depende da ação conjunta entre as iniciativas públicas e privadas. O setor privado é responsável, principalmente, pelo desenvolvimento tecnológico e sua respectiva produção e implementação. Já com relação ao papel do poder público, este atua como um agente catalisador do mercado, garantindo os incentivos adequados e, assim, reduzindo as incertezas de caráter técnico, econômico e socioambiental (VIEIRA et al., 2021). Apesar dessa interação e do reconhecimento do hidrogênio como um vetor energético fundamental para a descarbonização, atualmente, os seguintes fatores são identificados como as principais barreiras para o desenvolvimento da sua economia:

- (i) Aspectos normativos e regulatórios;
- (ii) Alto custo de investimento;
- (iii) Incertezas tecnológicas; e
- (iv) Infraestruturas incipientes em toda a cadeia de valor.

Diante disso, políticas públicas de incentivo são essenciais para viabilizar o desenvolvimento da economia do hidrogênio.

Cenário Internacional

Políticas Públicas e Financiamentos

H2Global

Em consonância com o Acordo de Paris, a União Europeia estabeleceu o objetivo de alcançar a neutralidade dos gases do efeito estufa (GEE) até 2045. Para atingir esta transição energética, o governo alemão reconhece que a humanidade depende do uso de hidrogênio verde e de seus derivados, como amônia, metanol e combustível de aviação sustentável, e, portanto, apoia o rápido crescimento do mercado das cadeias de valor do H2. A Estratégia Nacional de Hidrogênio alemã se concentra no apoio ao investimento privado na produção, no transporte e no uso sustentável desses produtos.

Neste contexto, o instrumento de financiamento H2Global foi desenvolvido por uma equipe de especialistas do Ministério Federal Alemão de Economia e Energia (BMWi). A iniciativa pretende abrir caminho para que o H2 e seus derivados (Power-to-X), produzidos de forma sustentável a partir de energias renováveis nos países parceiros, estejam disponíveis na Alemanha e na Europa. Deste modo, a H2Global é um mecanismo baseado em leilões duplos para promover o crescimento do mercado em escala industrial. Ou seja, para combinar oferta e demanda, um intermediário, a Hydrogen Intermediary Company (HINT.Co), celebrará contratos de compra de longo prazo no lado da oferta e contratos de venda de curto prazo no lado da demanda. A diferença entre os preços de oferta (produção e transporte) e os preços de demanda será compensada por subsídios do governo alemão.

O preço é determinado através de um procedimento de contratação baseado na concorrência. De acordo com os critérios de sustentabilidade, o menor preço de oferta e o maior preço de venda são vinculados ao contrato, de modo que a diferença de preço a ser compensada seja a menor possível. Graças aos contratos de venda de curto prazo, a H2Global pode se beneficiar dos aumentos esperados nos preços de mercado para bens substitutos. Assim, os fundos necessários para compensar a diferença de preço diminuirão ao longo do período de financiamento.

Cenário Internacional

Políticas Públicas e Financiamentos

H2Global

Com a H2Global, operadores e investidores recebem a segurança de planejamento e investimento necessária para o desenvolvimento de capacidades de eletrólise de grande volume, pois podem basear os seus modelos de negócio e financiamento em contratos de compra de longo prazo com um parceiro contratual solvente e a preços que reflitam o custo. No lado de venda, a HINT.Co permite a integração de produtos Power-to-X (PtX) no ciclo econômico a preços que refletem o mercado.

Destaca-se que os requisitos para o uso desses fundos são estabelecidos pelo governo federal alemão, o que inclui a seleção dos produtos PtX a serem financiados e a definição dos critérios de sustentabilidade a serem atendidos na produção, no processamento e no transporte dos produtos. Os procedimentos de concurso para adjudicação dos primeiros contratos de compra terão início tão logo a decisão de financiamento seja emitida.

Cenário Internacional

Políticas Públicas e Financiamentos

Alemanha

Comissão Europeia aprova fundo de € 900 milhões para apoiar investimentos na produção de hidrogênio para países fora da UE

A Comissão Europeia aprovou uma iniciativa de investimentos na ordem de € 900 milhões, que visa apoiar a produção de hidrogênio a partir de fontes de energia renováveis. Com a Alemanha apresentando o esquema à Comissão Europeia, várias regiões do mundo puderam ver desenvolvimentos significativos em suas capacidades de hidrogênio. Por exemplo, a Alemanha concentrou-se principalmente na produção de hidrogênio no norte da África no ano passado e, como parte do novo esquema, essas nações poderiam obter apoio financeiro adicional para aumentar os seus projetos de energia renovável com a finalidade de impulsionar a produção de hidrogênio.

Para saber mais, acesse:

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_7022

Austrália-Holanda

Perspectivas de cooperação na economia do hidrogênio

Os portos oceânicos possuem um alto grau de importância na cadeia de valor do hidrogênio, devido ao seu alto potencial de desenvolvimento de hubs. Esses locais, onde se encontra grande parte das usinas de produção de hidrogênio fóssil ininterruptas para refino e indústria petroquímica, podem, de acordo com o relatório Global Hydrogen Review, da IEA, se tornar polos para aumentar a produção de hidrogênio. Além de oferecer um potencial de armazenamento offshore, os portos podem compartilhar infraestrutura de transporte e armazenamento de CO2 em diferentes indústrias, beneficiando-se de economias de escala que tendem a reduzir os riscos de investimento. Exemplos ativos são o projeto Port of Rotterdam (Porthos), na Holanda, o projeto Zero Carbon Humber, no Reino Unido, e a CarbonNet, na Austrália.

Cenário Internacional

Políticas Públicas e Financiamentos

(continuação)

Neste sentido, o Porto de Rotterdam possui um papel de edificação da economia do vetor energético, haja vista seus esforços, através de memorandos de entendimento, com instituições, governos e empresas para cooperação no mercado. Percebe-se, portanto, que o ponto estratégico holandês possui um grande papel de difusor da economia do hidrogênio, auxiliando nas metas de redução de custos e na mitigação do aquecimento global. No mesmo sentido, a Austrália é um país pioneiro no desenvolvimento da cadeia de valor do hidrogênio, propagando uma boa imagem ao público e financiando projetos para crescimento tecnológico e econômico do mercado, além de já ter se estabelecido como um exportador internacional de hidrogênio, com acordos com países como Japão e, atualmente, Holanda.

Neste contexto, a viabilidade de uma cadeia de abastecimento de exportação de hidrogênio renovável entre a Austrália Ocidental e o Porto de Rotterdam está sendo explorada em um MoU assinado no dia 30 de novembro de 2021. O negócio, que é um momento marcante para o mercado de exportação da Austrália, também verá estes países colaborarem em oportunidades relacionadas a políticas, regulamentos e desenvolvimentos tecnológicos, com o objetivo de atender ao mercado europeu de hidrogênio. Maior porto marítimo da Europa, o Porto de Rotterdam está atualmente trabalhando para se tornar um importante centro de importação de hidrogênio para o continente.

Para saber mais, acesse:

<https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/western-australia-and-port-of-rotterdam-to-collaborate-on-renewable>

Cenário Internacional

Políticas Públicas e Financiamentos

FCH JU

A *Fuel Cells and Hydrogen JU* (FCH JU) foi uma parceria público-privada formada no intuito de apoiar atividades de pesquisa, desenvolvimento tecnológico e demonstração em tecnologias de energia de célula de combustível e hidrogênio na Europa. Um dos objetivos da iniciativa era acelerar a introdução dessas tecnologias no mercado, percebendo o seu potencial como instrumento para alcançar um sistema de energia limpa em carbono. A meta da FCH JU era trazer os benefícios da energia limpa do hidrogênio e do uso de células a combustível para os europeus, através de um esforço concentrado de todos os setores. Os três parceiros da FCH JU eram a Comissão Europeia, as indústrias de células de combustível e hidrogênio, representadas pela Hydrogen Europe, e a comunidade de investigação, representada pela Hydrogen Europe Research.

Contudo, na segunda edição da Semana Europeia do Hidrogênio, que ocorreu no dia 29 de novembro de 2021, em Bruxelas, com um discurso de abertura da Presidente da Comissão Europeia, Ursula von der Leyen, foi lançada a *Clean Hydrogen JU*, que assumiu todas as atividades da FCH JU. Neste sentido, o Conselho da União Europeia adotou, no dia 19 de novembro de 2021, o regulamento que institui a *Clean Hydrogen JU* (*Clean Hydrogen Partnership*). Assim, com base no sucesso da FCH JU, a nova parceria pretende acelerar o desenvolvimento e a implantação de uma cadeia de valor europeia para tecnologias limpas de hidrogênio, contribuindo para sistemas de energia sustentáveis, sem emissões de carbono e totalmente integrados. A União Europeia apoiará a *Clean Hydrogen* com € 1 bilhão para o período 2021-2027, complementado por, pelo menos, um montante equivalente de investimento privado (dos membros privados da parceria). Juntamente com a *Hydrogen Alliance*, a *Clean Hydrogen* contribuirá para a realização dos objetivos da União Europeia, apresentados na sua estratégia para o hidrogênio, em busca de uma Europa neutra do ponto de vista climático. A nova iniciativa se concentrará na produção, na distribuição e no armazenamento de hidrogênio limpo, bem como no fornecimento de H₂ a setores de difícil descarbonização, como indústrias pesadas e aplicações de transporte pesado.

Para saber mais, acesse: [FCH JU](#)

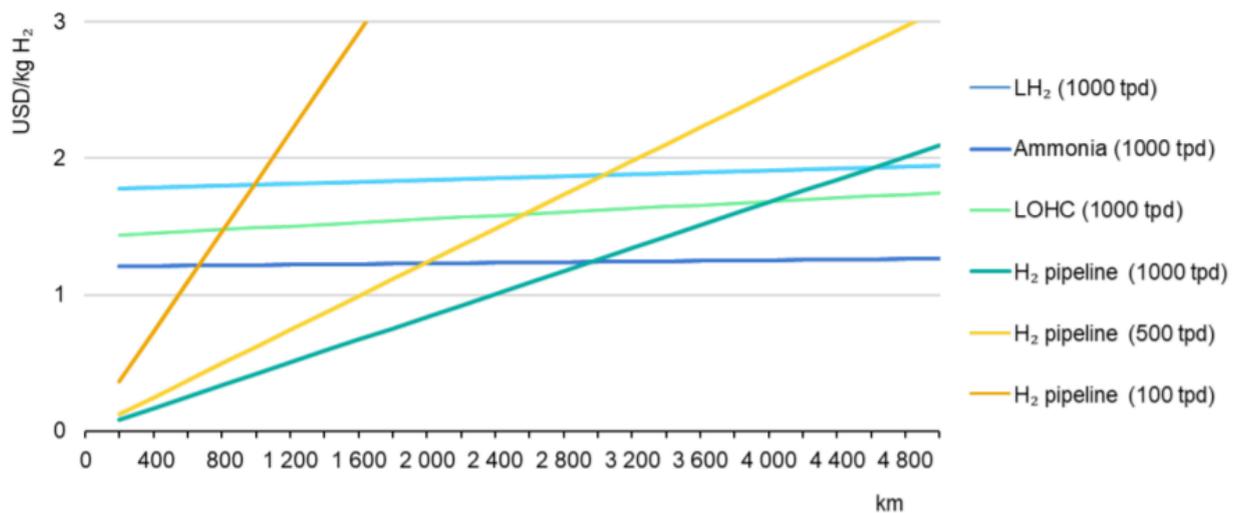
Cenário Internacional

Armazenamento e Transporte

O armazenamento e o transporte do hidrogênio são de extrema importância para o desenvolvimento desta economia, de forma que romper os desafios técnicos e econômicos para viabilizar a exportação e promover a transição gradual do suprimento de gás natural a partir do *blending* com o hidrogênio verde é essencial. Diante disso, esta seção apresenta o estágio atual de desenvolvimento deste setor, com destaque para alguns projetos e iniciativas.

LOHC

Uma análise integrada é necessária para projetar uma infraestrutura eficiente para produzir hidrogênio e transportá-lo até os usuários finais. Dentre as opções de transporte, tem-se o LOHC (carregador de hidrogênio orgânico líquido) que, para distâncias maiores do que 4.000 km, pode vir a ser, em 2030, uma alternativa mais atraente, como indicado na Figura 7.



IEA. All rights reserved.

Figura 7: Custos de entrega de GH2 por pipeline e LH2, LOHC e amônia por navio, 2030
Fontes: IEA (2021).

Cenário Internacional

Armazenamento e Transporte

Os LOHCs são uma opção de transporte de alta densidade, na qual o H₂ é convertido em compostos orgânicos, como o Tolueno ou o Metilciclohexano. A sua principal vantagem é que o hidrogênio pode ser transportado sem a sua liquefação direta. Por outro lado, os processos de conversão, reconversão e purificação ainda são caros e, dependendo da composição molecular básica de um LOHC, problemas de toxicidade podem ser verificados. Além disso, atualmente, as moléculas transportadoras de um LOHC são caras e, após utilizadas para transportar hidrogênio até o seu destino, precisam ser enviadas de volta ao seu local de origem.

Como parte dos avanços desta tecnologia, a Alemanha irá abrigar a primeira planta LOHC em escala industrial da Europa para armazenamento de hidrogênio. O projeto terá a capacidade de armazenar 5 toneladas de hidrogênio por dia. Na planta, o hidrogênio será quimicamente ligado ao material do LOHC benzil tolueno, um óleo térmico, que será então transportado em condições ambientais em infraestruturas de logística convencionais e existentes. Assim, o LOHC carregado com hidrogênio será transportado em um caminhão até os compradores do vetor. Para a concepção do projeto, as empresas Hydrogenious LOHC Technologies, Frames Group e MAN Energy Solutions formaram uma parceria e a planta será instalada em CHEMPARK Dormagen, na Alemanha.

Para ler sobre o estudo e a planta na íntegra, acesse:

- [Hydrogenious LOHC Technologies](#)
- [Frames, Hydrogenious LOHC Technologies](#)

Cenário Internacional

Uso Final

De acordo com o relatório Global Hydrogen Review, publicado pela IEA em 2021, o uso de hidrogênio como combustível é particularmente crítico para reduzir as emissões nos setores de difícil descarbonização, como a indústria pesada (particularmente fabricação de aço e produção química), o transporte rodoviário pesado, o transporte marítimo e a aviação. Assim, entende-se que o caminho para zerar as emissões de GEE até 2050 requer um uso substancialmente mais amplo de hidrogênio em aplicações existentes e uma absorção significativa do vetor energético, bem como combustíveis à base do mesmo, para novos usos no transporte marítimo. Neste sentido, o relatório aponta como a principal tendência a utilização de metanol e amônia verde como combustível.

Algumas políticas citadas que podem apoiar a absorção de hidrogênio no transporte são o Padrão de Combustível de Baixo Carbono da Califórnia, o Padrão de Combustível Limpo do Canadá e a Obrigação de Combustível de Transporte Renovável do Reino Unido, que também pode estimular a adoção de hidrogênio de baixo carbono na produção e no refino de biocombustíveis. No mesmo sentido, em 2020, o governo norueguês anunciou que a maior conexão de balsa do país será abastecida por hidrogênio e, em março de 2021, o Porto de Tóquio declarou que passaria a dispensar a cobrança da taxa de entrada para navios movidos a GNL ou hidrogênio. Estas são as primeiras medidas implementadas para apoiar o hidrogênio ou combustíveis dele derivados no transporte marítimo. Porém, como a tecnologia ainda não atingiu o nível comercial, levará tempo para se perceber o impacto dessas decisões. Da mesma forma, demonstrar a possibilidade de utilização de hidrogênio e amônia como combustíveis para transporte marítimo, estabelecer cotas para combustíveis sintéticos na aviação e implantar uma infraestrutura de abastecimento correspondente em portos e aeroportos apoiariam a absorção de hidrogênio e dos combustíveis à base de hidrogênio nesses setores em que as emissões são difíceis de diminuir.

Cenário Internacional

Uso Final

Segundo o relatório da IEA, nos Cenários de Compromissos Anunciados e Emissões Líquidas Zero, o transporte marítimo se torna o segundo maior consumidor de hidrogênio e combustíveis à base de hidrogênio entre os modos de transporte, em 2030. A demanda por hidrogênio e amônia no transporte marítimo permanece limitada no Cenário de Compromissos Anunciados, atendendo, juntos, a cerca de 1% da demanda de combustível. Já no Cenário de Emissões Líquidas Zero, a amônia atende a 8% da demanda total de combustível marítimo e o hidrogênio a 2%.

Europa

Kongsberg lança o primeiro sistema de propulsão marítima à base de hidrogênio em escala real

A Kongsberg testou e verificou um *drivetrain* em escala real e zero emissões, movido por células de combustível de hidrogênio projetadas para navios e balsas. O programa é a terceira e última parte do projeto HySeas (HySeas III), financiado pela União Europeia, que está em execução desde 2013 para preparar e demonstrar um sistema de hidrogênio escalonável para navios e balsas. O regime de teste abrangente foi projetado pela Kongsberg Maritime para investigar se o sistema seria adequado para lidar e responder às demandas que normalmente ocorrem durante as operações marítimas normais. Nesta fase final, o sistema passará por testes durante quatro meses para fins de validação, com o objetivo de verificar o projeto final de uma balsa RoPax movida a H2. A previsão é que o projeto seja concluído em março de 2022.

Para saber mais: [Clique aqui.](#)

Cenário Internacional

Uso Final

Noruega

TECO 2030, principal projeto para construir navio de alta velocidade movido a hidrogênio

O Porto de Narvik, no norte da Noruega, encomendou um novo *workboat*, que deve ser rápido e livre de emissões. Junto com oito parceiros do projeto, o porto está atualmente buscando financiamento público para construir uma das primeiras embarcações de alta velocidade movidas a hidrogênio do mundo. O barco será equipado com células a combustível de hidrogênio da TECO e será construído pelo estaleiro Grovfjord Mekaniske Verksted (GMV), que fica próximo à região. Planejado para ser concluído em 2030, o barco, quando concluído, substituirá um dos navios a diesel do porto. Como resultado, o Porto de Narvik será capaz de reduzir significativamente o consumo de diesel e as emissões de CO2. Salienta-se que outros usuários do porto também poderão usar o planejado posto de abastecimento de Narvik.

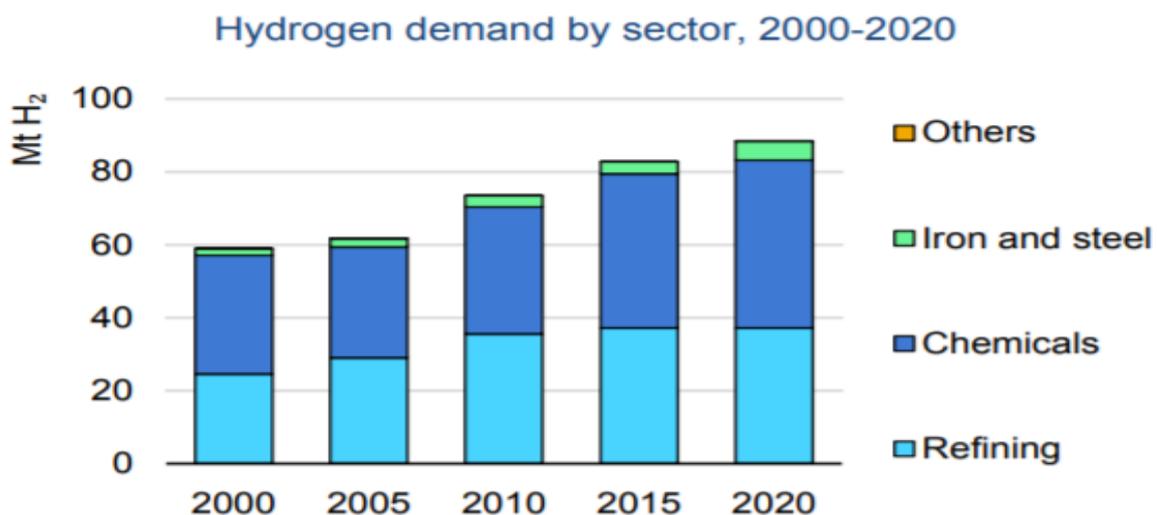
Para saber mais: [Clique aqui.](#)

Cenário Internacional

Uso Final

Setor de ferro e aço

A demanda crescente por hidrogênio é um grande fator para o desenvolvimento do mercado internacional deste vetor energético. As políticas públicas voltadas ao cumprimento das metas climáticas rumo à neutralidade carbônica, em 2050, garantem que a produção e a utilização do gás sejam sempre maiores, como é demonstrado na Figura 8, a seguir.



IEA. All rights reserved.

Note: "Others" refers to small volumes of demand in industrial applications, transport, grid injection and electricity generation.

Figura 8: Demanda de hidrogênio por setor (2000 - 2020)

Fonte: [IEA \(2021\)](#)

Assim, percebe-se um crescimento da demanda de hidrogênio de todos os setores mencionados, mas, dentre os mesmos, se destaca o setor de ferro e aço, que multiplicou a utilização do vetor energético nas últimas décadas. As atividades metalúrgicas são consideradas estratégicas para a transição energética, por serem de difícil descarbonização. Portanto, o avanço da sustentabilidade na produção de ferro e aço é bastante promissor, já que contribui estrategicamente para a mitigação do aquecimento global.

Cenário Internacional

Uso Final

Península Ibérica: Iberdrola e H2 Green Steel anunciam projeto de hidrogênio para produção de ferro verde

A H2 Green Steel (H2GS) e a Iberdrola firmaram parceria para desenvolverem uma instalação de produção de hidrogênio verde, que possuirá a capacidade de eletrólise de 1 GW e um processo de redução direta do ferro (DRI) capaz de produzir cerca de 2 milhões de toneladas por ano de aço verde. A Iberdrola fornecerá energia renovável para a planta, enquanto a H2 Green Steel será a proprietária e operará a produção de DRI, incluindo quaisquer processos de produção de aço verde *downstream*. Destaca-se que o eletrolisador será de propriedade e operação conjunta da Iberdrola e da H2 Green Steel e o projeto será construído na Península Ibérica, com a estimativa para início de produção em 2025 ou 2026. No que tange ao investimento necessário, avalia-se que o projeto exigirá cerca de € 2,3 bilhões, que serão financiados com uma combinação de financiamento público, financiamento de projetos verdes e capital próprio.

Para saber mais, acesse: [H2 GREEN STEEL](#)

Ferrovias

De acordo com o Departamento de Transporte dos Estados Unidos, através do relatório “Estudo da Tecnologia de Células de Combustível de Hidrogênio para Propulsão em Ferrovias e Revisão de Padrões da Indústria Relevante”, publicado em 2021, o hidrogênio pode fornecer muitos benefícios às operações de energia de locomotivas ferroviárias, oferecendo especificamente interoperabilidade, escalabilidade, reabastecimento rápido e armazenamento de energia leve em escala. As locomotivas movidas a células a combustível podem rodar em trilhos existentes e, portanto, evitam a necessidade de eletrificação dos mesmos. Além disso, uma única instalação de abastecimento de hidrogênio poderia suportar várias locomotivas em diversas rotas, tornando esta tecnologia muito mais eficaz do que os trilhos eletrificados. Destaca-se ainda que as locomotivas de célula de combustível de hidrogênio também podem se beneficiar de reabastecimento rápido, especialmente em comparação com o carregamento elétrico das baterias.

Cenário Internacional

Uso Final

Ferrovias

De acordo com o Departamento de Transporte dos Estados Unidos, através do relatório “Estudo da Tecnologia de Células de Combustível de Hidrogênio para Propulsão em Ferrovias e Revisão de Padrões da Indústria Relevante”, publicado em 2021, o hidrogênio pode fornecer muitos benefícios às operações de energia de locomotivas ferroviárias, oferecendo especificamente interoperabilidade, escalabilidade, reabastecimento rápido e armazenamento de energia leve em escala. As locomotivas movidas a células a combustível podem rodar em trilhos existentes e, portanto, evitam a necessidade de eletrificação dos mesmos. Além disso, uma única instalação de abastecimento de hidrogênio poderia suportar várias locomotivas em diversas rotas, tornando esta tecnologia muito mais eficaz do que os trilhos eletrificados. Destaca-se ainda que as locomotivas de célula de combustível de hidrogênio também podem se beneficiar de reabastecimento rápido, especialmente em comparação com o carregamento elétrico das baterias.

Para ler o relatório, acesse: [Study of Hydrogen Fuel Cell Technology for Rail](#)

Hungria

Alstom e MOL vão explorar o uso de tecnologias de hidrogênio para transporte ferroviário

Como parte de sua Estratégia Nacional de Hidrogênio, a Hungria tem investigado a viabilidade de introduzir a tecnologia do hidrogênio no transporte ferroviário. A partir disso, a Alstom e a MOL, empresa líder de petróleo e gás da Hungria, assinaram um MoU para estruturar a cooperação no exame do uso da tecnologia no transporte ferroviário, a partir da seguinte dinâmica. Os trens possuem uma célula de combustível movida a hidrogênio para geração de eletricidade a bordo, com uma bateria sendo utilizada para armazenar energia de frenagem, aumentar a aceleração e realizar a alimentação auxiliar. Assim, a única emissão deste trem é água e, portanto, não produz partículas nocivas ou efetua emissões gasosas. Ademais, para estabelecer a infraestrutura de abastecimento, a Alstom já coopera com empresas de petróleo e gás, como a Linde, na Alemanha, e a Orlen, na Polônia.

Para saber mais, acesse: [Clique aqui.](#)

Cenário Internacional

Uso Final

Ferrovias

Estados Unidos

Caterpillar e Chevron se unem para introduzir locomotivas movidas a hidrogênio nas ferrovias do país

Uma nova colaboração entre a Caterpillar, a BNSF Railway Company e a Chevron visa introduzir locomotivas a hidrogênio nos Estados Unidos. Com a assinatura de um MoU divulgado no dia 14 de dezembro de 2021, as empresas buscarão levar adiante a demonstração de um trem movido a células a combustível-hidrogênio. Deste modo, as partes trabalharão para chegar a acordos definitivos com três objetivos principais, fundamentais para a adoção mais ampla da tecnologia. Em primeiro lugar, a BNSF Railway planeja projetar e construir um protótipo de locomotiva de célula a combustível-hidrogênio para linha de transporte ou para outros tipos de serviço ferroviário. Em segundo lugar, a Chevron desenvolverá um conceito de combustível e a infraestrutura para apoiar o uso da locomotiva. Por fim, espera-se que o protótipo seja demonstrado nas linhas da BNSF por um período que ainda deve ser acordado entre as partes.

Para saber mais: [Clique aqui](#)

China

Giga Carbon Neutrality garante contrato para 200 caminhões e maquinários movidos a hidrogênio e bateria

A Giga Carbon Neutrality (GCN) celebrou um contrato para fornecer 200 caminhões pesados movidos a hidrogênio. Os veículos serão produzidos em uma parceria estratégica da GCN com o Xuzhou Construction Machinery Group (XCMG) e a Sunrise Power para estabelecer uma nova unidade de produção de veículos comerciais de energia limpa na cidade de Ordos, na China. Os parceiros planejam investir US\$ 360 milhões para construir a nova fábrica, que produzirá veículos comerciais de energia limpa, sistemas de energia a hidrogênio e equipamentos associados, para clientes na China e na Ásia. As obras de construção da nova fábrica devem ser concluídas em 2023, mas os primeiros 200 veículos estão programados para sair da linha de produção no primeiro semestre de 2022.

Para saber mais: [Clique aqui](#).

Cenário Internacional

Uso Final

Mobilidade

Suécia

Investimento exclusivo para desenvolver uma estrutura de reabastecimento de hidrogênio com 24 estações até 2025

A Suécia recebeu um grande impulso em seu setor de hidrogênio, com a Nilsson Energy revelando um investimento único que construirá uma rede de abastecimento de H2 com 24 estações até 2025. Com a finalidade de aumentar as perspectivas de hidrogênio do país, o apoio financeiro de US\$ 56 milhões será fornecido pelo The Climate Leap (Klimatklivet) e a Nilsson Energy, junto com a REH2, serão os responsáveis pelo desenvolvimento deste projeto revolucionário para a Suécia. As estações serão construídas nas instalações de serviço da Rasta em todo o país, oferecendo reabastecimento e recarga de hidrogênio verde para veículos pesados, como caminhões e ônibus, ao mesmo tempo em que possuirão a capacidade para abastecer carros. Em sua fase inicial, o empreendimento envolve planos para nove estações de abastecimento de hidrogênio até 2024, enquanto as estações restantes serão concluídas até o final de 2025.

Para saber mais: [Clique aqui.](#)

Cenário Internacional

Tecnologia e Inovação

Um grande avanço na produção de hidrogênio verde foi alcançado na Dinamarca. O hidrogênio verde, produzido através de um processo conhecido como eletrólise, é amplamente considerado como uma alternativa líder aos combustíveis fósseis, mas o preço de sua produção continua sendo um grande freio na transição para a energia de baixo carbono em um momento em que a aceleração é necessária.

Por isso, a descoberta de Anne Lyck Smitshuysen, pesquisadora dinamarquesa especializada em tecnologia de eletrólise, é tão inovadora e poderá reduzir os custos de produção de H₂ por eletrólise em aproximadamente 15%. Na pesquisa, foi proposto o aumento do tamanho das células de eletrólise para garantir uma divisão mais eficiente e eficaz das moléculas de hidrogênio e oxigênio. Deste modo, a pesquisadora percebeu que, utilizando um molde impresso em 3D para moldar as células de uma forma que corresponda ao encolhimento causado pelo processo de aquecimento, o tamanho das células poderia ser aumentado em 500%. Segundo Smitshuysen, *“através da minha pesquisa, mostrei como aumentar o tamanho das células de eletrólise de 150 centímetros quadrados para 1.000 centímetros quadrados sem quebrar as células durante a construção”*.

A pesquisadora, no final de 2021, ganhou o Prêmio Flemming Bligaard 2021 e um prêmio em dinheiro de € 67.000,00 pelo seu avanço tecnológico na pesquisa *Power-to-X*. De acordo com Robert Arpe, presidente da Ramboll Foundation, *“a invenção de Anne Lyck Smitshuysen terá um tremendo impacto na futura produção de hidrogênio verde”*. O prêmio em dinheiro recebido pela pesquisadora será utilizado para financiar sua futura pesquisa.

Para ler sobre a pesquisa na íntegra, acesse:

- [Ramboll](#)

Considerações Finais

Feita a análise, é notável o desenvolvimento da cadeia de valor do hidrogênio, em âmbito nacional e mundial, e isto é corroborado a partir do constante anúncio de projetos e pela crescente importância que tem se dado ao hidrogênio.

Assim, avaliando a cadeia de valor do hidrogênio desde a produção até o uso final, percebe-se o papel fundamental das políticas públicas e de financiamento para proporcionar o desenvolvimento da demanda e da oferta desse mercado, além do armazenamento de hidrogênio em compostos orgânicos, que contribui diretamente para ampliar as redes de transporte e reduzir seus custos.

Consoante ao exposto, foi identificada uma nova tecnologia para reduzir o custo da produção de hidrogênio verde que é, atualmente, o tipo de produção mais estratégico no contexto da transição energética. Além disso, foram mapeados novos projetos e iniciativas para reforçar a necessidade do hidrogênio na sociedade. Neste observatório, as principais iniciativas identificadas foram relacionadas à produção, notadamente de hidrogênio verde, que é a rota tecnológica mais madura e sustentável no momento. No que tange ao uso final, tanto o setor de ferro e aço como o de mobilidade demonstraram evolução e por meio do desenvolvimento de novas experiências práticas, vem contribuindo com o amadurecimento da demanda de hidrogênio.

De maneira geral, deve-se destacar o quanto a economia de hidrogênio vem se desenvolvendo. Os investimentos crescentes, atrelados a projetos de P&D e à implementação de projetos piloto, impulsionarão o mercado do hidrogênio para que os objetivos climáticos sejam alcançados.



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Observatório de Hidrogênio



@geselufrj



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Observatório de Hidrogênio

Nº 04

Dezembro
2021



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Observatório de Hidrogênio N° 4

Organizadores

Nivalde de Castro

Sayonara Elizário

Luiza Masseno

Bianca Castro

Equipe de Pesquisa

Allyson Thomas

José Vinicius Freitas

Kalyne Brito

Luana Bezerra

Vinicius Botelho

Dezembro

2021

Sumário

| | |
|--|----|
| Introdução..... | 4 |
| 1. Cenário Brasileiro..... | 5 |
| 2. Cenário Internacional..... | 9 |
| 2.1 Conferência das Partes 26 – COP 26 | 10 |
| 2.2 Hydrogen Council | 13 |
| 2.3 A Economia de Hidrogênio no Mundo | 18 |
| 2.3.1 Projetos de Hidrogênio | 18 |
| 2.3.2 Políticas Públicas e Financiamentos..... | 23 |
| 2.3.3 Armazenamento e Transporte | 25 |
| 2.3.4 Produção Científica | 26 |
| 3. Considerações Finais..... | 29 |

Introdução

O hidrogênio (H₂) tem sido reconhecido como um importante vetor energético capaz de promover uma profunda descarbonização da economia mundial, especialmente em setores de difícil redução de emissões, como o industrial e o de transportes. Nesse contexto, a transição energética de uma economia composta majoritariamente por combustíveis fósseis para o hidrogênio verde ou de baixo carbono irá transformar significativamente o setor energético e, ainda, atender a dois requisitos centrais do Acordo de Paris: segurança energética e redução de emissões de gases de efeito estufa.

Diante das potencialidades do H₂, diversos países estão estimulando o desenvolvimento da economia do hidrogênio, como pode-se observar pelo crescente anúncio de políticas públicas e projetos demonstrativos em toda cadeia de valor do hidrogênio.

Posto isto e considerando a evolução exponencial da economia do hidrogênio, o presente relatório tem como objetivo central apresentar um estudo analítico do acompanhamento sistemático do setor, apresentado no [Informativo Setorial de Hidrogênio do GESEL](#), atentando para as principais políticas públicas, diretrizes, projetos, inovações tecnológicas e regulatórias de toda cadeia de valor do hidrogênio.

Destaca-se que este Observatório de Hidrogênio apresenta uma série de pontos importantes do mês de dezembro, como o documento Hydrogen Council (McKinsey & Company), bem como uma análise da COP 26 para a cadeia de valor internacional do hidrogênio.

Cenário Brasileiro

As potencialidades do Brasil conjecturam um posicionamento importante no mercado de hidrogênio verde (H2V) no futuro, de forma que iniciativas para promover a estruturação da economia de hidrogênio no Brasil têm se intensificado. Enquanto se aguarda a publicação do Programa Nacional de Hidrogênio, é perceptível o avanço no que se diz respeito à aceitação pública, estimulada por meio da conscientização da população através de eventos, presenciais e online, e dos artigos, científicos e opinião. Estas ações têm buscado apresentar a relevância, as potencialidades e os desafios da estruturação desta indústria nascente. Somado a essas atividades, o anúncio de acordos de interesse e desenvolvimento, bem como o lançamento de um centro de pesquisa de hidrogênio merecem ser destacados.

Porto de Pecém e White Martins firmam Memorando de Entendimento

O acordo feito entre a White Martins, empresa do setor de transporte e distribuição de gases, e o Porto de Pecém é um passo importante para o estabelecimento dos elos de transporte e distribuição de hidrogênio, essenciais à viabilização dos usos finais. Além disso, cabe destacar que a White Martins pretende atuar, também, na produção do hidrogênio, podendo contribuir, assim, com a formação de consórcios movidos pelos mesmos objetivos.

Cenário Brasileiro

Centro de produção e pesquisa de hidrogênio verde UNIFEI / GIZ

A Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) recebeu a informação de que foi selecionada pela GIZ (Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit), a Agência Alemã de Cooperação Internacional, para receber a destinação de um recurso de € 5 milhões para a construção do Centro de Produção e Pesquisas em Hidrogênio Verde (CPPHV).

O CPPHV será capaz de prover a infraestrutura necessária ao desenvolvimento de pesquisas e inovações para indústrias à incubação de empresas para atuação na cadeia de valor do H2V. A unidade contará uma planta de 1 MW de potência instalada, que será alimentada exclusivamente por energia elétrica oriunda de fontes renováveis, seja através dos painéis solares que deverão ser instalados junto ao CPPHV, seja pelo fornecimento de energia 100% renovável por parte da CEMIG. Além do módulo de produção de hidrogênio, salienta-se que o Centro contará com sistemas de armazenamento, células a combustível, dentre outros equipamento.

Com a previsão de conclusão da instalação para o final de 2023, a UNIFEI já está firmando memorandos de entendimento com diversos atores, notadamente offtakers, como a FIAT Stellantis, que tem interesse no aço verde, e a Prefeitura de Itajubá, para utilização do H2V na frota de ônibus escolares da cidade.

Cenário Brasileiro

GESEL na mídia

Projetos piloto e o processo de inserção do hidrogênio na economia: Uma análise da parceria Austrália- Japão

Artigo publicado na Agência Canal Energia

Em artigo publicado pela Agência CanalEnergia, Nivalde de Castro, Professor do Instituto de Economia da UFRJ e Coordenador do Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL), Ana Carolina Chaves (pesquisadora do GESEL), Vinicius Botelho, Kalyne Brito e Allyson Thomas (pesquisadores júnior do GESEL), analisam como a experiência com projetos-piloto pode contribuir para o desenvolvimento da economia do hidrogênio. Segundo os autores, o desenvolvimento de projetos-piloto é uma das estratégias mais utilizadas para a promoção de uma cadeia produtiva de hidrogênio, uma vez que colaboram para o teste de novas tecnologias e modelos de negócio, bem como para o amadurecimento de questões normativas e regulatórias. Tendo em vista que as relações comerciais e econômicas entre a Austrália e o Japão são bem consolidadas, os autores realizaram um estudo de caso com o projeto-piloto desenvolvido entres os dois países, a Hydrogen Energy Supply Chain (HESC), visando identificar suas contribuições para a promoção da cadeia de suprimentos de hidrogênio.

Para ler o artigo na íntegra, clique [aqui](#).

Faz sentido pensar em etanol como fonte sustentável de hidrogênio verde – H2V?

Artigo publicado no Site do GESEL

Em artigo publicado no site do GESEL, Antônio Camargo avalia a viabilidade do uso do etanol como fonte sustentável para a produção de H2V, comparando a eficiência de duas rotas de produção, a eletrólise da água utilizando energia solar e a reforma catalítica do vapor de etanol. Segundo o autor, por serem dois processos distintos, mas ambos operando a partir da mesma fonte de energia primária, eles apresentam resultados muito diferentes na hora de produzir hidrogênio. Neste sentido, salienta que *“do ponto de vista do uso da terra, usar solar fotovoltaica ao invés de etanol para a produção de H2 verde reduz o impacto ambiental em termos de mudança do uso do solo em mais de 52x”*.

Para ler o artigo na íntegra, clique [aqui](#).

Cenário Internacional

O mundo passa por um processo de transformação dos padrões de produção e consumo em que o principal driver é a descarbonização. Isso se deve ao aumento da conscientização humana sobre os impactos socioambientais advindo das ações antrópicas. Neste sentido, o Acordo de Paris, firmado em 2015, é considerado um marco histórico na busca pelo desenvolvimento sustentável, haja vista que os países tiveram de se comprometer a reduzir, de forma acentuada, as emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Para atingir tais metas se faz necessária uma transição energética profunda, capaz de descarbonizar, inclusive, o setor de transporte e a indústria, responsáveis, em conjunto, por cerca de 46% das emissões de GEE.

Neste contexto, o hidrogênio surge como a principal alternativa para descarbonizar, de forma profunda e transversal, o setor energético. O hidrogênio é um elemento capaz de promover um acoplamento setorial, podendo, gradativamente, substituir o petróleo.

Este movimento de transformação tem sido liderado pelos países da União Europeia, grandes consumidores de energia fóssil, provenientes do gás natural e do carvão, por exemplo. Porém, devido à perspectiva de enorme demanda de hidrogênio de baixo carbono e da falta de potencial para produção deste elemento, emerge o desenvolvimento da economia do hidrogênio.

O desenvolvimento desta economia faz com que surja países produtores e exportadores de hidrogênio, bem como aqueles que, por necessidade, desejam importar o H₂. Destaca-se que esse cenário apresenta uma nova oportunidade para países com elevado potencial de produção de energia renovável, como Brasil, Chile, Austrália, Arábia Saudita, países do norte da África, dentre outros, tendo em vista que podem produzir e exportar hidrogênio verde ou de baixo carbono.

Conferência das Partes 26 - COP 26

União de forças para aceleração da economia do hidrogênio verde e de baixo carbono

Durante a COP 26, foi exposta, novamente, a necessidade de se promover uma transição energética mais acelerada, substituindo os combustíveis fósseis por alternativas sustentáveis, como o hidrogênio, a eletrificação de setores, dentre outras soluções. Consoante à esta preocupação climática, países, empresas e agências de energia avançaram em compromissos e cooperações para viabilizar a estruturação e o ganho de escala da economia do hidrogênio.

COP 26 - Breakthrough Agenda

Uma proposta de cooperação internacional para o desenvolvimento da economia do hidrogênio

No evento, mais de 41 países e a União Europeia firmaram um compromisso de cooperação, denominado *Breakthrough Agenda*, para acelerar o desenvolvimento e a implantação de tecnologias limpas e soluções sustentáveis para que se atinjam as metas traçadas no Acordo de Paris. A agenda possui quatro pilares centrais, com horizonte de ação até 2030:

- i. Energia;
- ii. Transporte Rodoviário;
- iii. Indústria de Aço; e
- iv. Hidrogênio.

Tratando especificamente do tópico “hidrogênio”, a métrica de sucesso para 2030 é a disponibilidade de hidrogênio verde e de baixo carbono a preços acessíveis. Para realizar o acompanhamento do setor, a *International Energy Agency* (IEA), a *International Renewable Energy Agency* (IRENA), dentre outras instituições, irão cooperar na produção de relatórios sobre as seguintes frentes:

Conferência das Partes 26 - COP 26

continuação

- Custo de produção e fornecimento do hidrogênio verde e de baixo carbono;
- Volume de produção global do H2V e de hidrogênio de baixo carbono;
- Redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) em toda a cadeia de valor na qual o hidrogênio estiver sendo implementado; e
- Investimentos em pesquisa, desenvolvimento, demonstração e implantação de tecnologias renováveis e de hidrogênio verde ou de baixo carbono.

Para mais informações, acesse: [Statement on the Breakthrough Agenda](#).

COP 26 - *Enabling Measures Roadmaps for Green Hydrogen*

IRENA e FMI apresentam novos roteiros para apoiar formuladores de políticas

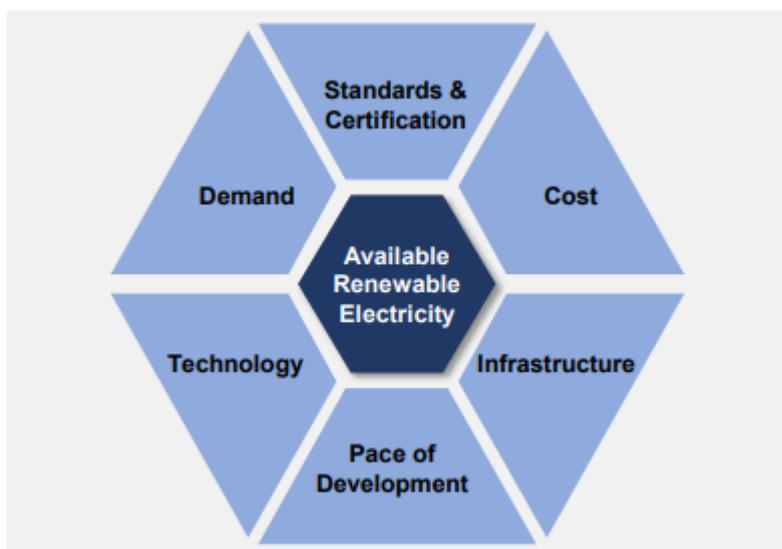
De acordo com a IRENA, a rápida absorção do hidrogênio verde é essencial para setores de difícil redução de emissões em que a intensidade energética é alta, como aviação, transporte marítimo internacional e indústria pesada. De maneira geral, os roteiros mostram as medidas que precisam ser implementadas para impulsionar a economia do hidrogênio verde em todo o mundo, mas o objetivo central é transformar o diálogo em ações políticas concretas para acelerar a transição e a utilização do hidrogênio em mercados existentes e em novos mercados ([IRENA, 2021a](#)).

Lançado oficialmente no evento *Global Climate Action Energy Day*, na COP 26, os primeiros roteiros para a Europa e o Japão foram desenvolvidos por meio de uma série de consultas com os principais participantes da indústria e de organizações internacionais. Os roteiros mostram as dez principais medidas e os cronogramas críticos para a sua implementação, em áreas como redução de custos, crescimento da demanda, padrões internacionais, infraestrutura e desenvolvimento de tecnologia. A Figura 1 apresenta as principais barreiras identificadas na construção do *Roadmap*.

Conferência das Partes 26 - COP 26

continuação

Figura 1 - Barreiras identificadas na construção dos roteiros



Fonte: [IRENA \(2021b\)](#).

Destaca-se que, no roteiro, cada uma dessas barreiras foi detalhada, de forma que foram identificados os objetivos principais e as métricas de acompanhamento.

Para acessar o roteiro feito para Europa e Japão, clique:

[Enabling Measures Roadmap for Green Hydrogen](#)

Hydrogen Council

Hydrogen for Net Zero

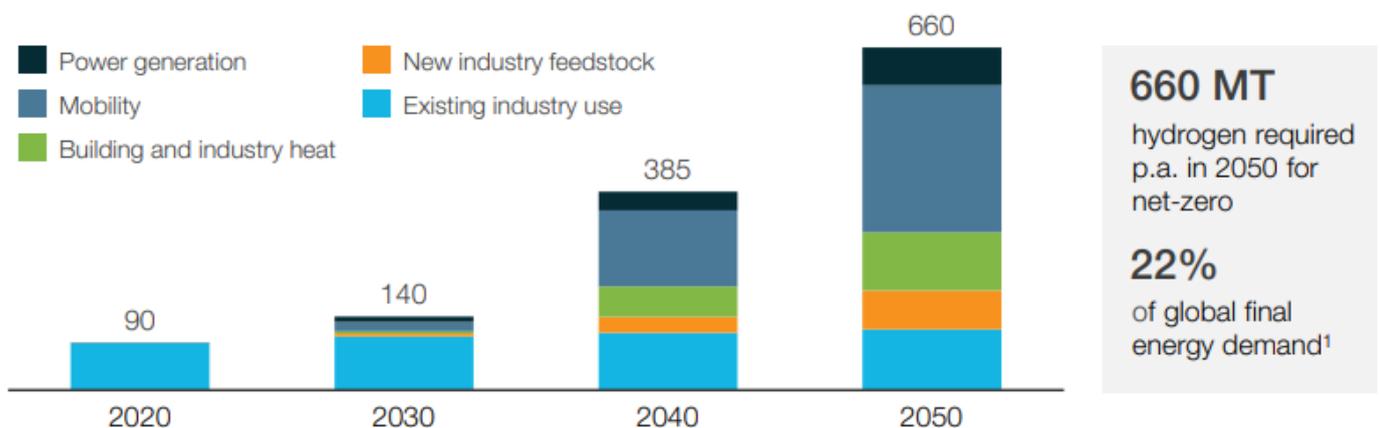
A critical cost-competitive energy vector

A utilização transversal do hidrogênio verde pode reduzir 80 Gton. de CO₂ até 2050, contribuindo com 20% da redução necessária para o cumprimento das metas climáticas. Para isto, estima-se a necessidade de 660 Mton. de hidrogênio verde ou de baixo carbono, o que equivalerá a 22% da demanda global de energia em 2050. Para produzir essa quantidade de hidrogênio, considerando a rota de eletrólise alimentada por energias renováveis, serão necessários de 3 a 4 TW de capacidade em eletrolisadores e de 4,5 a 6,5 TW de capacidade de geração de energia renovável, o que representará cerca de 20% da demanda de eletricidade necessária para o atingimento das metas traçadas no cenário *Net Zero*, estimada em 28 TW.

Para 2030, a meta de produção de hidrogênio verde e de baixo carbono é da ordem de 75 ton., de modo que seria possível substituir o hidrogênio cinza de mercados existentes (amônia, metanol e refino) e inserir o hidrogênio limpo no transporte terrestre pesado e na indústria de aço. Atingindo esta meta, estima-se que o uso de hidrogênio limpo reduziria a emissão de até 730 Mton. de CO₂ por ano, o que corresponde a mais do que as emissões anuais de CO₂ do Reino Unido em 2019.

No que tange à demanda de hidrogênio, a Figura 2 apresenta a evolução do seu mercado de 2020 a 2050.

Figura 2 - Evolução da produção e da demanda de hidrogênio por uso final



Fonte: [Hydrogen Council \(2021a\)](#).

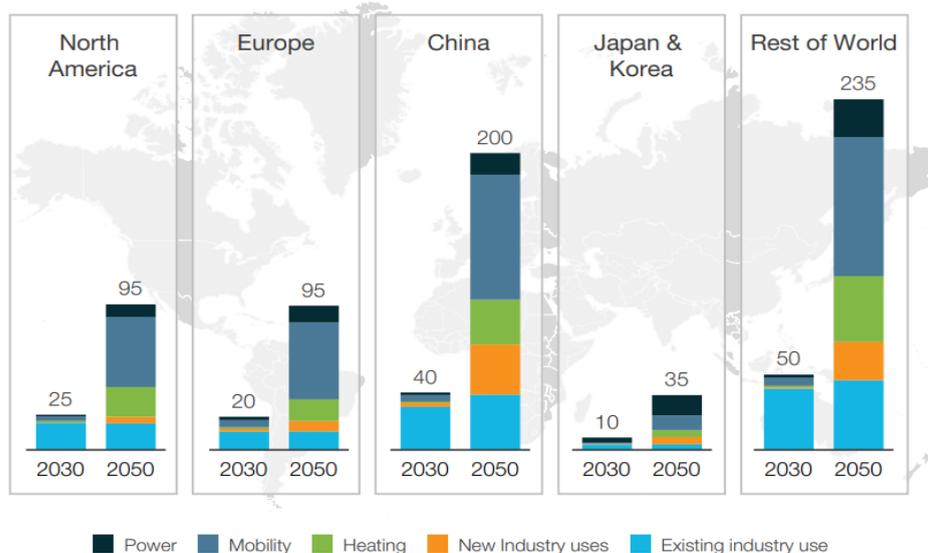
Hydrogen Council

Hydrogen for Net Zero

A critical cost-competitive energy vector (continuação)

Na Figura 2, é perceptível que, na primeira década, a utilização do hidrogênio ocorrerá, majoritariamente, pelos usos existentes. Em 2040, com a evolução e o ganho de maturidade de tecnologias necessárias para novos usos, observa-se um crescimento do seu emprego nos setores de mobilidade, aquecimento, novas matérias primas e geração de energia. Já em 2050, o setor de mobilidade será responsável pelo maior mercado, seguido pelo aquecimento e pelos usos existentes, que permanecem praticamente constantes. Salienta-se que, em 2050, os principais demandantes serão a China, seguida pela Europa e pelos Estados Unidos, correspondendo a, aproximadamente, 60% da demanda global. Neste sentido, a Figura 3 ilustra como ocorrerá a demanda nos principais países, pelo total e estratificado pelos usos finais.

Figura 3 - Demanda de hidrogênio nos principais países e no resto do mundo



Fonte: [Hydrogen Council \(2021a\)](#).

Os cenários são positivos, mas, para atingir as conjecturas vislumbradas, novos investimentos deverão ser realizados e aqueles propostos precisam ser concretizados ainda nesta década. Atualmente, mais de 520 projetos foram anunciados, sendo que 70% possuem data de comissionamento até 2030. Até o momento, porém, é perceptível que a quantidade de projetos efetivos é menor do que a soma daqueles classificados em fase preliminar e estágio de planejamento, como mostra a Figura 4.

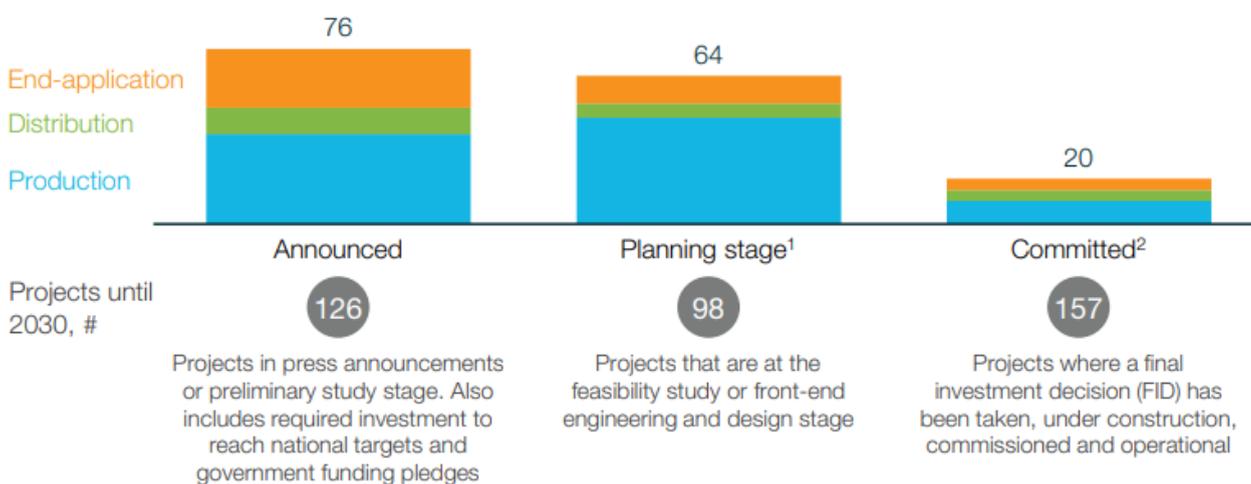
Hydrogen Council

Hydrogen for Net Zero

A critical cost-competitive energy vector (continuação)

Figura 4 - Distribuição de projetos de hidrogênio de acordo com o estágio de desenvolvimento

Direct hydrogen investments until 2030,
USD billion



1. Feasibility study or at engineering study stage

2. Final investment decision has been made, already under construction or operational

Fonte: [Hydrogen Council \(2021a\)](#).

Apesar da grande quantidade de projetos “apenas anunciados”, a estruturação da economia do hidrogênio acelerou no último ano com estudos de planejamento e projetos já efetivos. Verifica-se na Figura 4 que, considerando apenas os projetos efetivos com previsão de comissionamento até 2030, cerca de US\$ 20 bilhões em investimentos serão realizados, o que representa um crescimento de pouco mais de 100% em relação a 2020.

É interessante observar que, apesar da menor quantidade de projetos classificados como “anunciados”, quando comparado aos efetivos, os investimentos previstos são três vezes maiores para esta classificação. Por um lado, isto demonstra perspectivas positivas para a economia de hidrogênio e, por outro, continua sendo apenas uma declaração de interesses, que precisa avançar para a aceleração da escalabilidade desta economia.

Hydrogen Council

Hydrogen for Net Zero

A critical cost-competitive energy vector (continuação)

De forma complementar ao relatório [Hydrogen for Net Zero](#), o relatório [Policy Toolbox for Low Carbon and Renewable Hydrogen](#) apresenta uma visão sobre as políticas necessárias para viabilizar a economia do hidrogênio. Como visto na Figura 4, apesar da aceleração no anúncio de projetos, a maioria ainda é classificada como não efetivos e ainda existe uma lacuna significativa para alcançar as ambições de mitigação das mudanças climáticas globais.

O potencial necessário de hidrogênio requer investimento direto de cerca de US\$ 700 bilhões até 2030, ou seja, com US\$ 160 bilhões anunciados, há uma lacuna de US\$ 540 bilhões que precisa ser preenchida nos próximos anos para que o objetivo seja cumprido.

Para mais detalhes sobre os relatórios:

- [Policy Toolbox for Low Carbon and](#)
- [Hydrogen for Net Zero](#)

A Economia de Hidrogênio no Mundo

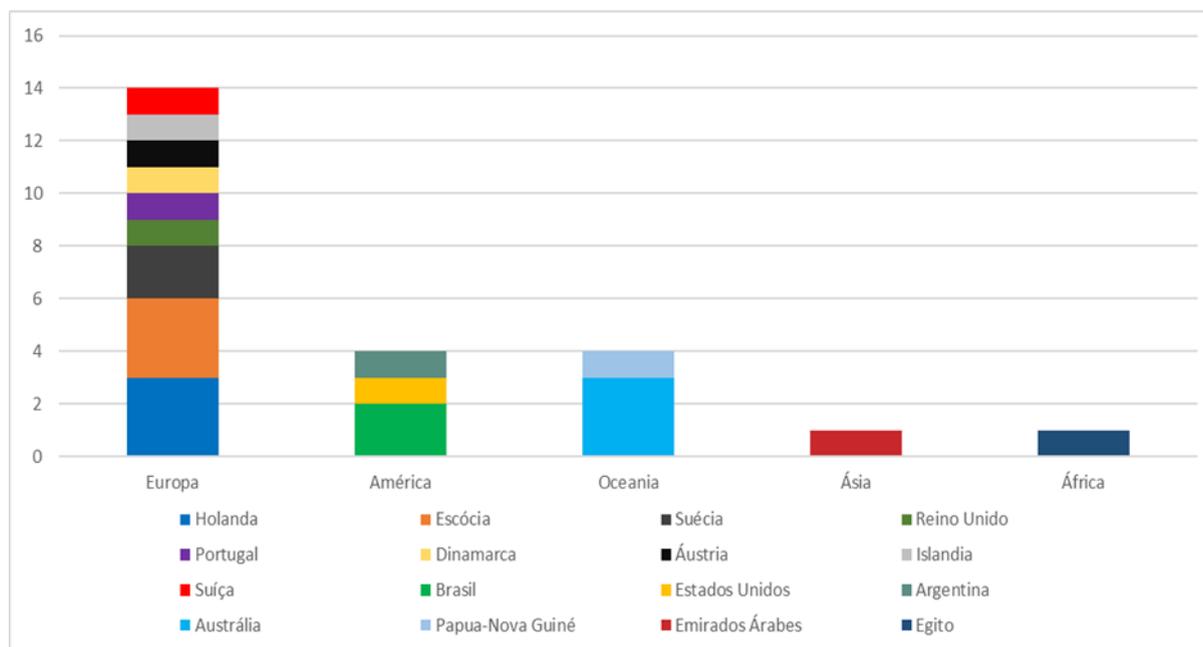
Projetos de Hidrogênio

O desenvolvimento do mercado de hidrogênio é de suma importância para o contexto atual da transição energética, visto o seu potencial como um agente de descarbonização da matriz energética. Portanto, para que haja a construção da infraestrutura e, conseqüentemente, do mercado do gás, faz-se necessário o desenvolvimento de projetos capazes de promover as inovações em toda cadeia produtiva, desde a produção do hidrogênio até os seus usos finais.

Pela análise, constata-se que o mercado de hidrogênio está cada vez mais próximo de se tornar uma realidade a nível mundial. Isto é possível afirmar pelo fato de que diversos projetos de produção de hidrogênio estão sendo desenvolvidos, sejam em estudo ou já em efetivação. Dentre estes projetos, alguns de seus intuitos são verificados: demonstração da produção atrelada a análises de eficácia técnica e econômica do gás; desenvolvimento de pesquisas em todos os elos da cadeia de valor; desenvolvimento da infraestrutura do hidrogênio na região local; descarbonização de processos industriais; e otimização dos processos industriais.

Contudo, apesar de todos os continentes estarem se comprometendo com o desenvolvimento do hidrogênio, é notável que a maior parte dos projetos está sendo realizada na Europa. Outrossim, também é possível analisar que a África e a Ásia são os continentes que menos desenvolvem projetos de hidrogênio, como demonstra a Figura 5.

Figura 5 - Distribuição de projetos identificados em novembro de 2021 por continentes e países



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Economia de Hidrogênio no Mundo

Projetos de Hidrogênio

O continente europeu merece ser destacado, já que apresentou 14 projetos em novembro, representando 58% das iniciativas identificadas no mês.

Um outro mérito que merece ser destacado à Europa é o fato de que diversos países do continente não apresentam potencial para a produção de hidrogênio por meios sustentáveis - hidrogênio verde e musgo -, tendo em vista a indisponibilidade de recursos naturais. Entretanto, a Europa vem sendo, há algum tempo, o continente que mais desenvolve projetos de hidrogênio limpo.

Tratando especificamente da Holanda, que é banhada pelo Mar do Norte, três novos projetos de produção de hidrogênio verde foram identificados, o que demonstra o comprometimento do país com a descarbonização e a transição energética. Ademais, também vale destacar que os projetos são efetivos.

A América é o segundo continente com maior números de projetos identificados no mês de referência, apresentando quatro novos projetos, um percentual de, aproximadamente, 16% ao comparar com todo o mundo. Destes projetos, três são para a produção de hidrogênio verde e um para produção do hidrogênio musgo, obtido a partir da gaseificação da biomassa, que também é considerado limpo.

Ao analisar especificamente os países presentes no continente americano, o Brasil merece destaque, uma vez que anunciou dois dos quatro projetos identificados no mês, sendo o maior da América e o quarto maior do mundo, em conjunto com a Suécia. Nota-se que, no Brasil, os projetos anunciados são para a produção do H₂V, corroborando com a maior potencialidade do país: a rota de eletrólise alimentada por energias renováveis.

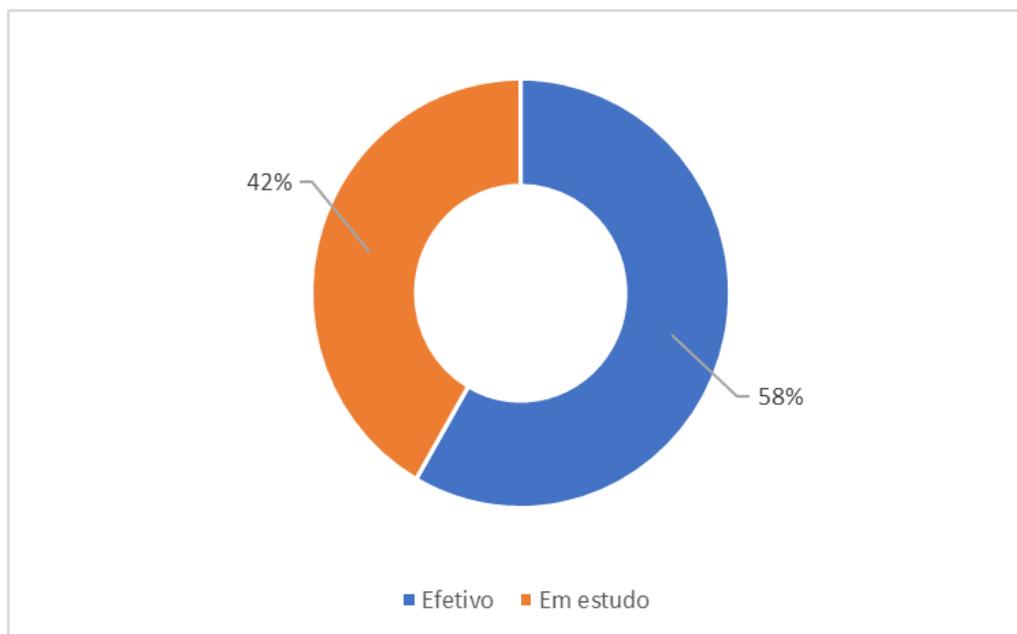
A nível mundial, por ser uma economia emergente, muitos projetos limitam-se apenas a memorandos de entendimento ou estudos preliminares, mas há aqueles que já possuem um desenvolvimento concreto. A Figura 6 apresenta essa distribuição percentual de projetos em estudo ou efetivos.

¹ As iniciativas identificadas neste Observatório podem se tratar da divulgação da empresa sobre a intenção de realizar o projeto ou, até mesmo, da divulgação do desenvolvimento do projeto.

A Economia de Hidrogênio no Mundo

Projetos de Hidrogênio

Figura 6 - Classificação dos projetos identificados pelo status de desenvolvimento



Fonte: Elaborado pelos autores.

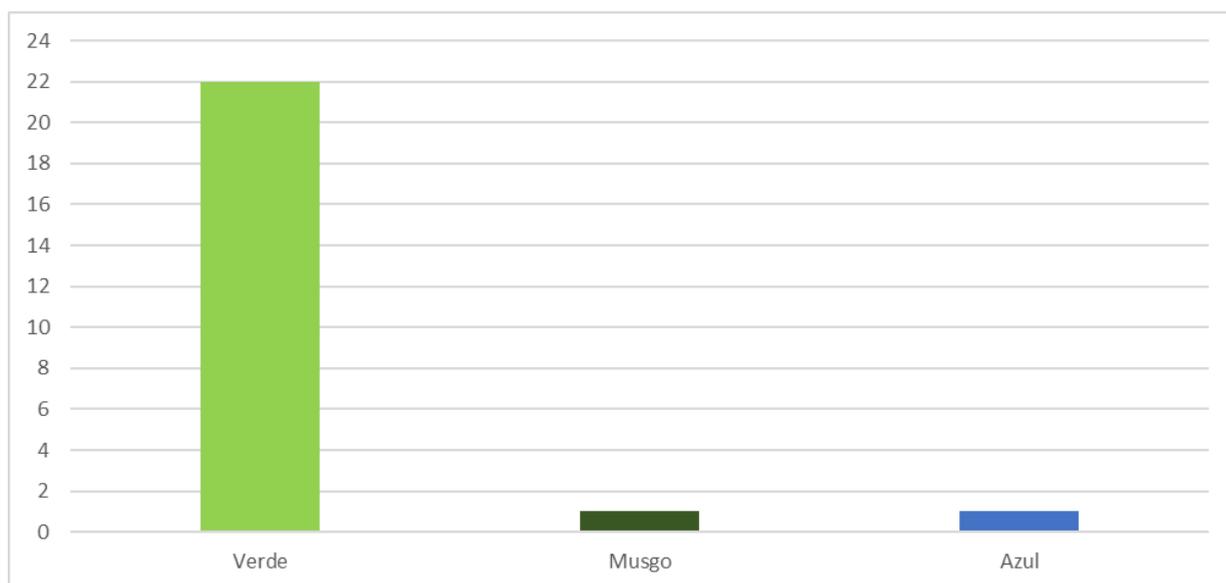
Observa-se que 24 projetos foram identificados, sendo 14 já em fase de efetivação e os outros 10 ainda em fase de estudo. Ademais, vale ressaltar que, dos projetos efetivos, todos são projetos-piloto, o que também é observado na fase de estudo. Foi possível identificar, ainda, a predominância de projetos de hidrogênio verde nas duas fases.

Tendo em vista o comprometimento mundial com a transição energética, os países vêm desenvolvendo, em sua maioria, projetos que visam produzir o hidrogênio de maneira limpa. Neste sentido, dos novos projetos identificados, todos visam produzir o hidrogênio limpo, com uma pegada baixa ou sem emissão de dióxido de carbono. Destes novos projetos, 22 são de hidrogênio verde, um é de hidrogênio musgo e um de hidrogênio azul, como mostra a Figura 7.

A Economia de Hidrogênio no Mundo

Projetos de Hidrogênio

Figura 7 - Classificação da cor do hidrogênio dos projetos identificados



Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao analisar a Figura 7, é notório que os novos projetos estão de acordo com a transição energética e com o intuito de descarbonizar a matriz energética, pois todos contêm uma pegada de carbono reduzida, nula ou negativa.

Consoante aos projetos de hidrogênio verde, é importante informar sobre a origem da energia. Assim, verifica-se que os projetos são alimentados a partir energia hidrelétrica, solar ou eólica, com ênfase, principalmente, às duas últimas energias primárias.

No que concerne ao hidrogênio azul, foi utilizado o gás natural submetido ao processo de reforma a vapor, com a posterior captura de carbono pelo método do CCS, que captura cerca de 90% do carbono emitido no processo.

A Economia de Hidrogênio no Mundo

Políticas Públicas e Financiamentos

A economia de hidrogênio está em estágio inicial de desenvolvimento e, por isso, o seu sucesso depende da ação conjunta entre as iniciativas públicas e privadas. O setor privado é responsável, principalmente, pelo desenvolvimento tecnológico e sua respectiva produção e implementação. Já com relação ao papel do poder público, este atua como um agente catalisador do mercado, garantindo os incentivos adequados e, assim, reduzindo as incertezas de caráter técnico, econômico e socioambiental (VIEIRA et al., 2021). Apesar dessa interação e do reconhecimento do hidrogênio como um vetor energético fundamental para a descarbonização, atualmente, os seguintes fatores são identificados como as principais barreiras para o desenvolvimento da economia do hidrogênio:

- (i) Aspectos normativos e regulatórios;
- (ii) Alto custo de investimento;
- (iii) Incertezas tecnológicas; e
- (iv) Infraestruturas incipientes em toda a cadeia de valor.

Diante disso, políticas públicas de incentivo são essenciais para viabilizar o desenvolvimento da economia do hidrogênio.

No mundo, dois países tem liderado as principais iniciativas para promoção da economia do hidrogênio, que são a **Alemanha** e a **Austrália**. Ambas têm trabalhado fortemente na promoção de projetos capazes de reduzir as barreiras, contando fortemente com o apoio governamental.

Neste sentido, considerando que o posicionamento na economia do hidrogênio desses países são complementares, ou seja, a Alemanha como importador e a Austrália como exportador, foi firmada uma cooperação bilateral para a criação de uma iniciativa de incubação de projetos-piloto, demonstrações e usos do hidrogênio, denominada HyGATE. Esta iniciativa, que tem previsão de abertura para chamada pública de financiamento, recebeu US\$ 36 milhões da Austrália, por meio da Agência de Energia Renovável da Austrália (ARENA), e US\$ 56 milhões da Alemanha, através do Ministério Federal de Educação e Pesquisa (BMBF).

A Economia de Hidrogênio no Mundo

Políticas Públicas e Financiamentos

(continuação)

A tendência é que o HyGATE acelere o desenvolvimento da economia do hidrogênio, estimulando inovações e o ganho de escala das suas tecnologias, ao mesmo tempo em que abre caminhos para as futuras exportações da Austrália para os mercados europeus.

Para saber mais, acesse: [ARENA](#)

Olhando exclusivamente para a **Austrália**, destaca-se, ainda, o financiamento de US\$ 15,5 milhões para a inserção de caminhões a hidrogênio em Townsville, em Queensland. O investimento para o projeto será partilhado pela Clean Energy Finance Corporation (CEFC) e pela ARENA em US\$ 12,5 milhões e US\$ 3,02 milhões, respectivamente. A perspectiva é que o investimento da CEFC seja destinado à compra de cinco caminhões pesados de hidrogênio para apoiar as operações de mineração de zinco da Sun Metals, perto de Townsville. Já o investimento da ARENA subsidiará as instalações das infraestruturas de recarga. A expectativa é que esta iniciativa estimule o desenvolvimento do *hub* de hidrogênio SunHQ da Ark Energy, que deverá produzir até 159 toneladas de hidrogênio por ano, quando estiver operacional.

Para saber mais, acesse:

[Minister Industry \(gov.au\)](#)

[H2 View](#)

A Economia de Hidrogênio no Mundo

Armazenamento e Transporte

O armazenamento e o transporte do hidrogênio são de extrema importância para o desenvolvimento desta economia, de forma que romper os desafios técnicos e econômicos para viabilizar a exportação e promover a transição gradual do suprimento de gás natural a partir do blending com o hidrogênio verde são essenciais. Diante disso, esta seção apresenta o estágio atual de desenvolvimento deste setor, com destaque para alguns projetos e iniciativas.

Gasodutos

Os gasodutos são tubulações utilizadas no transporte de gás industrial, especialmente o gás natural, para alimentar indústrias, residências, veículos, etc. Segundo o relatório International Hydrogen Strategies (WEC, 2020), o transporte de hidrogênio em gasodutos apresenta as seguintes vantagens:

- Alta capacidade de transporte;
- Economia para grandes volumes;
- Integração de armazenamento de hidrogênio de longo prazo em grande escala e custo-benefício; e
- Possível remodelação de dutos existentes.

Neste contexto, tendo em vista os desafios técnicos, econômicos e regulatórios que a implementação deste uso traz, os financiamentos públicos, a gestão da transição e a harmonização regulatória com os mercados existentes são essenciais para viabilizar este mercado.

As iniciativas de blending de hidrogênio nas redes de gás existentes tem apresentado crescimento, notadamente em países da Europa, onde 66 distribuidores de gás, de 13 países, propuseram a implementação gradual de hidrogênio, por meio da uma iniciativa, denominada Ready for Hydrogen. A expectativa é que, até fevereiro de 2022, sejam publicados os primeiros relatórios e análises do projeto.

Para mais informações, acesse:

<https://www.ready4h2.com/>

Produção Científica

Avaliação técnica do transporte e do armazenamento de hidrogênio visando a descarbonização do sistema energético de Portugal

Autor: Marcelo Marques do Amaral

Orientador: Daniel Vaz

Para reduzir as emissões de GEE, torna-se necessária a ampliação da participação de fontes de energias renováveis (FER). No entanto, a produção de eletricidade baseada em FER apresenta desafios com relação à sazonalidade destas fontes. Deste modo, o armazenamento de energia é a solução mais adequada para garantir a segurança energética de Portugal, utilizando, para isso, o hidrogênio. Neste contexto, a dissertação da Universidade Nova teve como objetivo avaliar tecnicamente as atuais tecnologias de transporte, armazenamento e distribuição do hidrogênio, relacionando-as com o cenário atual de Portugal. O estudo concluiu que o país, por ter uma política de apoio e investimento tecnológico na transição energética ao hidrogênio, torna-se um forte candidato a estar no topo da produção e do fornecimento na Europa. Do ponto de vista técnico, Portugal possui infraestruturas favoráveis, contando com estradas, gasodutos de transporte e distribuição, cavernas de sal e o Porto de Sines, de águas profundas, que podem ser aprimoradas visando o amadurecimento gradual da economia do hidrogênio.

Produção Científica

O custo de produção e armazenamento de hidrogênio renovável na África do Sul e transporte para o Japão e para a União Europeia até 2050 em diferentes cenários

Autor: Thomas H. Ross

A descarbonização de setores de difícil redução de emissões exigirá volumes significativos de hidrogênio livre de carbono. Desta forma, foi realizado um estudo para determinar o custo a que o hidrogênio pode ser gerado por eletrólise usando eletricidade renovável na África do Sul entre 2020 e 2050, armazenado em transportadores adequados, como transportador de hidrogênio orgânico líquido (LOHC), hidrogênio líquido criogênico ou amônia, e, em seguida, enviado para o Japão e para a União Europeia. O estudo concluiu que o hidrogênio verde é produzido a um custo mais baixo na África do Sul usando eletricidade gerada de forma híbrida e com energia solar e eólica associadas a eletrolisadores alcalinos em grande escala. O hidrogênio é convertido e armazenado pelo menor custo como LOHC, mas entregue ao Japão pelo menor custo como amônia. Além disso, pode ser entregue ao Japão por um custo igual ou inferior ao da meta japonesa de US\$ 3/kg até 2030 através de uma de duas maneiras. Primeiro, reconvertendo o transportador de amônia em hidrogênio gasoso, desde que o financiamento concessionário permita um custo médio ponderado máximo de capital (WACC) de 3% para energia renovável e infraestrutura de eletrolisador. Segundo, como amônia para uso direto (sem reconversão em hidrogênio gasoso), desde que o financiamento concessionário permita um WACC máximo de 6%. Em qualquer caso, o preço-alvo de destino pode ser alcançado para o hidrogênio gasoso até 2040 com um WACC de até 6%.

Para solicitar acesso ao artigo, acesse:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319921034406>

Produção Científica

Análise técnico-econômica da produção de hidrogênio solar produzido por eletrólise no norte do Chile e o caso de exportação do Deserto do Atacama para o Japão

Autor: Felipe Ignacio Gallardo; Andrea Monforti Ferrario; Mario Lamagna; Enrico Bocci; Davide Astiaso Garcia; Tomas E. Baeza-Jeria.

A produção de hidrogênio a partir de eletricidade solar na região do Deserto do Atacama, no Chile, foi identificada como estratégica para a exportação global do gás. Neste contexto, o artigo investiga toda a cadeia de abastecimento de hidrogênio solar para 2018 e faz uma projeção para 2025–2030. Para realizar esta análise, os pesquisadores consideraram dados de perfis elétricos por hora plurianual de usinas fotovoltaicas e a operação de usinas de energia solar concentrada, simuladas com armazenamento de energia térmica, bem como preços de contrato de compra de energia elétrica relatados no mercado chileno. O custo nivelado do hidrogênio (LCOH) de cada rota de produção é calculado por um modelo técnico-econômico MATLAB/Simulink para tecnologias alcalinas e eletrolisadores PEM de grande porte. Sucessivamente, diferentes configurações de distribuição, armazenamento e transporte são avaliadas com base no estudo de caso japonês de 2025, de acordo com a demanda declarada de hidrogênio. O transporte na forma de hidrogênio liquefeito (LH₂) e via transportadora de amônia (NH₃) é comparado do Porto de Antofagasta, no Chile, ao Porto de Osaka, no Japão.

Para acessar o artigo, clique

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319920325842?via%3Dihub>

Considerações Finais

Após a análise, evidencia-se um mercado de hidrogênio mais bem desenvolvido e estabelecido, tanto nacional quando mundialmente, e isto é notado a partir do constante anúncio de projetos e pela crescente importância que tem se dado ao hidrogênio não apenas na pauta internacional, na qual o vetor energético foi ponto chave através da COP 26, como também na escala do Brasil, onde há crescimento das iniciativas de produção e pesquisa.

Assim, avaliando a cadeia de valor do hidrogênio desde a produção até o uso final, percebe-se o papel fundamental das políticas públicas e de financiamento para proporcionar o desenvolvimento da demanda e da oferta desse mercado, além da função da utilização do hidrogênio em gasodutos, que contribui diretamente para proporcionar experiências de desenvolvimento de novos usos para o hidrogênio, bem como ampliar sua aceitação pública e reduzir seus custos.

Consoante ao exposto, observou-se o aumento da demanda pelo *blend* de hidrogênio nos gasodutos, reforçando sua utilização ao invés de gás natural e consolidando gradativamente a transição energética. As principais iniciativas relacionadas no mês de novembro foram de produção, primariamente ligadas ao hidrogênio verde, que possui a tecnologia de obtenção mais limpa dentre as demais.

De maneira geral, deve-se destacar o quanto a economia de hidrogênio vem se desenvolvendo. Os investimentos crescentes, atrelados a projetos de P&D e à implementação de projetos piloto, impulsionarão o mercado do hidrogênio para que os objetivos climáticos sejam alcançados.



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Observatório de Hidrogênio



@geselufrj

Observatório de Hidrogênio

Nº 03

NOVEMBRO
2021



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Observatório de Hidrogênio N° 3

Organizadores

Nivalde de Castro

Sayonara Elizário

Luiza Masseno

Bianca Castro

Equipe de Pesquisa

Allyson Thomas

José Vinicius Freitas

Kalyne Brito

Luana Bezerra

Vinicius Botelho

Novembro

2021

Sumário

| | |
|---|----|
| Introdução..... | 4 |
| 1. Cenário Brasileiro..... | 5 |
| 1.1 Investimentos na Economia do Hidrogênio | 6 |
| 1.2 Aceitação Pública e Formação de Recursos Humanos..... | 7 |
| 1.3 H2 no Plano Nacional de Energia 2050 | 7 |
| 2. Cenário Internacional..... | 9 |
| 2.1 H2 no World Energy Outlook 2021 | 10 |
| 2.2 Global Hydrogen Review 2021 | 14 |
| 2.3 Green Hydrogen Compact Catalogue | 22 |
| 2.4 A Economia de Hidrogênio no Mundo | 25 |
| 2.4.1 Projetos de Hidrogênio | 25 |
| 2.4.2 Uso Final do Hidrogênio..... | 28 |
| 2.4.3 Armazenamento e Transporte | 32 |
| 2.4.4 Políticas Públicas e Financiamentos..... | 35 |
| 3. Considerações Finais..... | 39 |

Introdução

O hidrogênio (H₂) tem sido reconhecido como um importante vetor energético capaz de promover uma profunda descarbonização da economia mundial, especialmente em setores de difícil redução de emissões, como o industrial e o de transportes. Nesse contexto, a transição energética de uma economia composta majoritariamente por combustíveis fósseis para o hidrogênio verde ou de baixo carbono irá transformar significativamente o setor energético e, ainda, atender a dois requisitos centrais do Acordo de Paris: segurança energética e redução de emissões de gases de efeito estufa.

Diante das potencialidades do H₂, diversos países estão estimulando o desenvolvimento da economia do hidrogênio, como pode-se observar pelo crescente anúncio de políticas públicas e projetos demonstrativos em toda cadeia de valor do hidrogênio.

Posto isto e considerando a evolução exponencial da economia do hidrogênio, o presente relatório tem como objetivo central apresentar um estudo analítico do acompanhamento sistemático do setor, apresentado no [Informativo Setorial de Hidrogênio do GESEL](#), atentando para as principais políticas públicas, diretrizes, projetos, inovações tecnológicas e regulatórias de toda cadeia de valor do hidrogênio.

Destaca-se que este Observatório de Hidrogênio apresenta uma série de documentos lançados em Outubro, com destaque para o Global Hydrogen Review e o World Energy Outlook, da International Energy Agency (IEA)

Cenário Brasileiro

O Brasil possui características singulares, em comparação com o resto do mundo, para se tornar um hub de hidrogênio. Segundo Castro (2021), esta possibilidade está baseada em dois vetores. O primeiro se refere à capacidade de produção total das energias eólica e solar, estimada em 1.300 GW e que, atualmente, possuem 20 GW e 4,7 GW de capacidade instalada, respectivamente, demonstrando o enorme potencial que o país ainda pode atingir. O outro vetor está relacionado à robustez do modelo de contratação e do marco regulatório do Setor Elétrico Brasileiro, os quais proporcionam um baixo risco de investimentos devido à sua fundamentação e segurança.

Diante das perspectivas de desenvolvimento, o potencial de produção de hidrogênio verde (H2V) no Brasil poderá atender a demanda interna de diversos países, notadamente da União Europeia (UE) que, por apresentar um baixo potencial para energias renováveis, terá que importa-lo para atingir a neutralidade de emissão de CO₂, em 2050. Para estruturar esta indústria nascente, o país tem realizado diversas iniciativas, como investimentos em P&D, formulação de intenções, formação de recursos humanos e promoção da aceitação pública por meio de eventos, congressos, webinars e documentos. Dentre estes documentos, destaca-se o Plano Nacional de Energia (PNE) 2050, que apresenta as inúmeras potencialidades e oportunidades para o desenvolvimento da economia de hidrogênio no Brasil.

Cenário Brasileiro

Investimentos na Economia do Hidrogênio

As potencialidades para o Brasil se tornar um dos principais exportadores de hidrogênio do mundo tem chamado atenção dos principais atores desta cadeia produtiva. Estes têm anunciado inúmeros memorandos de entendimento, especialmente em áreas portuárias, para promover, no futuro, a estruturação da economia do hidrogênio no país.

De acordo com notícia veiculada na página Petronotícias, o Ministro de Minas e Energia, Bento Albuquerque, afirmou que o Programa Nacional de Hidrogênio já aponta para cerca de R\$ 30 bilhões de investimentos relacionados à produção de H2V. Deste investimento, grande parte foi anunciado para o Ceará, estado que, com o Porto de Pecém, tem se despontado como um dos principais hubs em estruturação para a produção e exportação de H2V. Outros portos que vêm chamando atenção são os Portos do Açu e de Aratu, localizados nos estados do Rio de Janeiro e da Bahia, respectivamente.

É importante salientar que, apesar das perspectivas serem promissoras, o Brasil precisa acelerar na estruturação de projetos de hidrogênio efetivos, capazes de promover o desenvolvimento de toda a sua cadeia produtiva. Por se tratar de uma economia nascente, inúmeras barreiras e desafios precisam ser rompidos para viabilizar projetos em maior escala e que buscam a exportação. Em suma, para estruturação de uma mercado de exportação forte, o Brasil precisa promover, o mais rápido possível, o desenvolvimento do mercado interno de H2V. Esta é uma iniciativa crucial para que o país se posicione entre os principais players do mundo. Nesta direção, a Chamada Pública Missão Estratégica Hidrogênio Verde, da CTG Brasil em conjunto com SENAI, propôs a prospecção e a priorização de projetos de P&D+I para a avaliação de arranjos técnicos, comerciais e tecnologias de H2V

[Petronotícias - Hidrogênio: Investimentos Anunciados para o Brasil.](#)

[CTG Brasil - Missão Estratégica Hidrogênio Verde.](#)

Cenário Brasileiro

Aceitação Pública e Formação de Recursos Humanos

As iniciativas de promoção da aceitação pública e de formação de recursos humanos continuam sendo desenvolvidas no Brasil. Cabe destacar que este é um aspecto essencial para a utilização ampla do hidrogênio na economia, uma vez que a conscientização sobre os problemas climáticos e suas respectivas soluções serão determinantes para o sucesso deste novo mercado. Neste sentido, o 2º Congresso Brasil-Alemanha de Hidrogênio Verde apresentou o contexto e o progresso das atividades bilaterais e locais, bem como os principais desafios e oportunidades já identificados a partir de projetos pilotos. Outro tema abordado no evento foram os critérios de sustentabilidade e certificações para o H2V, além das principais inovações que podem potencializar a sua competitividade.

Para acessar a gravação do evento, clique em:

[2º Congresso Brasil Alemanha de Hidrogênio Verde](#)

Hidrogênio no PNE 2050

O [Plano Nacional de Energia 2050](#) é um documento que tem como objetivo apresentar um conjunto de estudos e diretrizes para o desenho de uma estratégia de longo prazo para o setor energético brasileiro. Tendo em vista a abundância de recursos energéticos renováveis que o Brasil detém, o PNE possui elevada relevância no que tange ao direcionamento de iniciativas e políticas para os próximos anos.

Nesta ótica, as metas climáticas pautadas na descarbonização dos sistemas energéticos têm norteado o desenvolvimento de novas tecnologias e soluções disruptivas, como o aproveitamento do hidrogênio.

O hidrogênio, como um vetor energético, é visto como uma tecnologia disruptiva por ser capaz de descarbonizar e integrar diversos setores produtivos, promovendo uma mudança profunda no setor energético, em especial nos setores de difícil redução de emissões, como o industrial e o de transportes.

Conciliar todo o potencial de produção e uso do hidrogênio e a sua exportação ao mercado externo será uma tarefa árdua, considerando a premissa de garantia de competição para todas as soluções que atendam às necessidades do sistema. Este será o papel do Programa Nacional de Hidrogênio do Brasil, haja vista que se vislumbra aproveitar as múltiplas rotas de produção e, no que diz respeito ao uso final, todas as alternativas sustentáveis estão sendo propostas.

Para a produção de hidrogênio, o PNE 2050 apresenta a rota do H₂V, produzido através da eletrólise da água com a utilização de energia proveniente de fontes renováveis, como a mais relevante ao país. Todavia, rotas alternativas, como a de resíduos e biomassa, energia nuclear e reforma do metano associada à captura e armazenamento de carbono, também estão sendo analisadas.

No que tange aos usos finais pretendidos para este vetor energético, a aplicação nas indústrias, no transporte, no armazenamento de energia e em aplicações por meio de outros subprodutos, com a rota Power-to-X, são as principais alternativas para o mercado interno. Entretanto, as potencialidades do Brasil para a produção do H₂V a custos competitivos colocam o país como uma dos principais players para exportação, sendo este o grande mercado no futuro.

A estruturação de uma economia de hidrogênio precisa romper diversas barreiras, sendo a econômica uma das principais. A busca pela redução de custos de eletricidade e dos elementos da cadeia produtiva, como eletrolisadores e armazenamento, é um aspecto essencial para que se produza hidrogênio com preços competitivos. Neste sentido, o PNE 2050 indica que a nacionalização da produção de eletrolisadores seria um caminho para atingir esse objetivo, notadamente por meio da rota da eletrolise alcalina, que tem os eletrodos à base de níquel, uma matéria prima abundante no Brasil. Diante do contexto de alternativas apresentado, o PNE 2050 expõe os principais desafios e recomendações para esta temática no país, que são:

1. Elaborar as normatizações para uso, transporte e armazenamento do hidrogênio;
2. Desenhar aprimoramentos regulatórios relacionados à qualidade, à segurança, à infraestrutura de transporte, ao armazenamento, ao abastecimento, ao incentivo e à utilização de novas tecnologias; e
3. Estabelecer cooperações internacionais com outras instituições que tenham iniciativas na área de hidrogênio.

Cenário Internacional

O mundo passa por um processo de transformação dos padrões de produção e consumo em que o principal driver é a descarbonização. Isso se deve ao aumento da conscientização humana sobre os impactos socioambientais advindo das ações antrópicas. Neste sentido, o Acordo de Paris, firmado em 2015, é considerado um marco histórico na busca pelo desenvolvimento sustentável, haja vista que os países tiveram de se comprometer a reduzir, de forma acentuada, as emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Para atingir tais metas se faz necessária uma transição energética profunda, capaz de descarbonizar, inclusive, o setor de transporte e a indústria, responsáveis, em conjunto, por cerca de 46% das emissões de GEE.

Neste contexto, o hidrogênio surge como a principal alternativa para descarbonizar, de forma profunda e transversal, o setor energético. O hidrogênio é um elemento capaz de promover um acoplamento setorial, podendo, gradativamente, substituir o petróleo.

Este movimento de transformação tem sido liderado pelos países da União Europeia, grandes consumidores de energia fóssil, provenientes do gás natural e do carvão, por exemplo. Porém, devido à perspectiva de enorme demanda de hidrogênio de baixo carbono e da falta de potencial para produção deste elemento, emerge o desenvolvimento da economia do hidrogênio.

O desenvolvimento desta economia faz com que surja países produtores e exportadores de hidrogênio, bem como aqueles que, por necessidade, desejam importar o H₂. Destaca-se que esse cenário apresenta uma nova oportunidade para países com elevado potencial de produção de energia renovável, como Brasil, Chile, Austrália, Arábia Saudita, países do norte da África, dentre outros, tendo em vista que podem produzir e exportar hidrogênio verde ou de baixo carbono.

World Energy Outlook 2021

O relatório [*World Energy Outlook 2021*](#), publicado pela Agência Internacional de Energia (IEA), fornece um guia indispensável com as oportunidades, os benefícios e os riscos associados à transição energética, tendo como pano de fundo a 26ª Conferência das Partes (COP 26). O documento fornece percepções críticas sobre a oferta e a demanda global de energia em diferentes cenários e suas implicações para a segurança energéticas, as metas climáticas e o desenvolvimento econômico. As análises realizadas pelo estudo consideram toda a diversidade das circunstâncias do país, bem como os recursos, as tecnologias e as opções de políticas potenciais em seu exame das projeções dos cenários.

Os principais cenários analisados no relatório são:

- Cenário de emissões líquidas zero até 2050 (NZE), que estabelece um caminho estreito, mas viável para o setor de energia global neutralizar as emissões de CO₂ até 2050.
- Cenário de compromissos anunciados (APS), que pressupõe que todos os compromissos climáticos assumidos por governos ao redor do mundo, incluindo Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) e metas de neutralização das emissões a longo prazo, serão cumpridos integralmente e dentro do prazo.
- Cenário de Políticas Declaradas (STEPS), que reflete as configurações de política atuais, com base em uma avaliação setor a setor das políticas específicas em vigor e daquelas que foram anunciadas por governos em todo o mundo.

Hidrogênio de Baixo Carbono

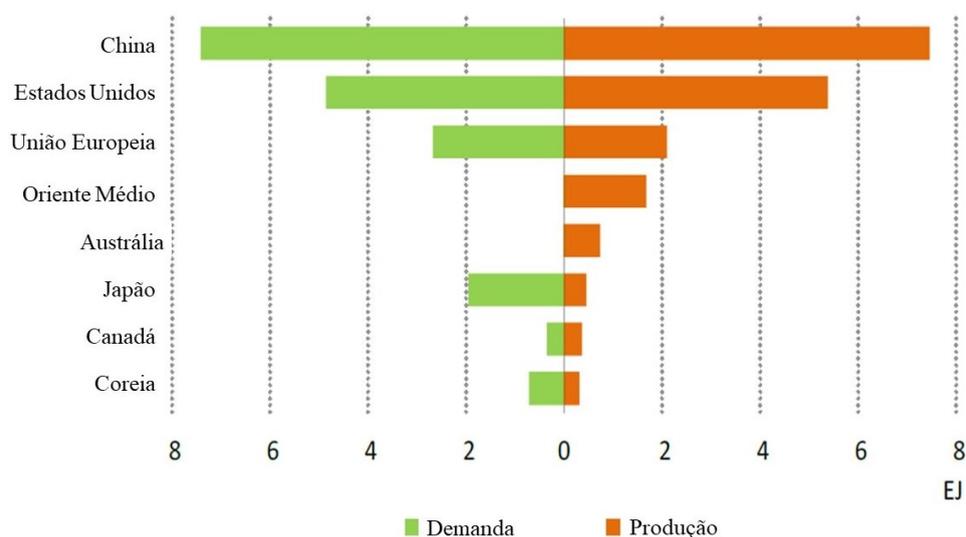
Em 2020, a produção mundial de hidrogênio atingiu 90 Mt, principalmente para uso na indústria química e de refino, com apenas 1% sendo de baixo carbono. O hidrogênio de baixo carbono pode reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) com a substituição dos combustíveis fósseis, de modo a atender nova demanda por combustíveis de baixas emissões e matérias-primas industriais. Além disso, ao converter eletricidade em combustível armazenável, o hidrogênio de baixo carbono auxilia a integração do sistema de energias renováveis, bem como pode ser convertido em outros combustíveis à base de hidrogênio, como metano sintético e amônia.

World Energy Outlook 2021

Considerando os cenários apresentados até 2030, no cenário STEPS, há uma demanda limitada de hidrogênio com baixo teor de carbono. Estima-se que a produção global será de cerca de 0,2 EJ, o equivalente a 0,05% do consumo final de energia ou, aproximadamente, 1,6 Mt de hidrogênio. Destaca-se que a maior parte do hidrogênio produzido advém da eletrólise da água, visando o aproveitamento de recursos de energia renovável. Em 2050, a demanda será equivalente a 15% do uso total de hidrogênio, que, atualmente, é destinado para matérias-primas industriais e para o refino do petróleo.

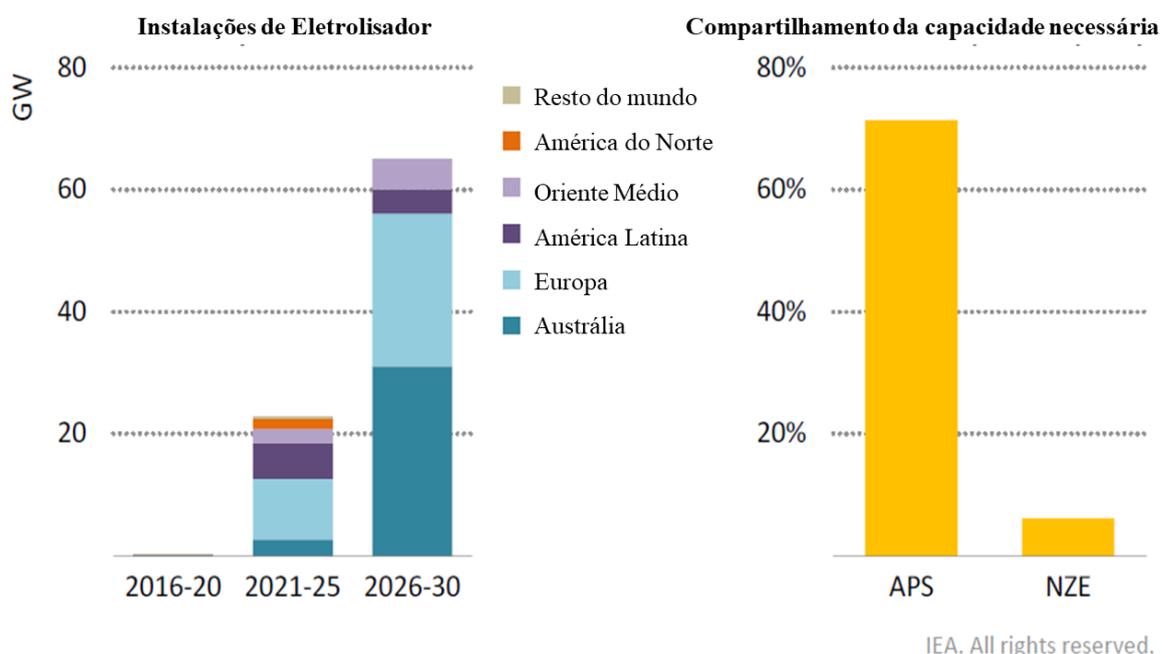
No APS, essa produção teria um aumento significativo, equivalendo a cerca de 2 EJ (16Mt) em 2030. Destes, aproximadamente 40% serão utilizados em setores de transformação, bem como para fornecer flexibilidade para o setor elétrico e para produzir combustíveis à base de hidrogênio. Observa-se, então, uma lacuna entre os dois cenários, que pode ser eliminada por meio de políticas de demanda adicionais. Ainda sobre o cenário APS, em 2030, mais 0,5 EJ é usado na indústria e 0,3 EJ consumido no setor de transporte, principalmente por caminhões pesados. Para atender a demanda de hidrogênio neste cenário, serão necessários mais projetos para desenvolver eletrolisadores. Em 2050, a produção de hidrogênio de baixo carbono aumentará para 20 EJ. Esta demanda de hidrogênio de baixo carbono é centrada, principalmente, no Japão, na Coreia do Sul, na Alemanha e em outros países da Europa. Estes países, mesmo desenvolvendo uma produção doméstica de hidrogênio, ainda dependerão de importações para atender a demanda interna. O Gráfico 1 apresenta a demanda e a produção de algumas regiões em 2050 no cenário APS (compromissos anunciados).

Gráfico 1 - Demanda e produção de hidrogênio de baixo carbono no cenário APS (2050)



Com a busca crescente pelo desenvolvimento sustentável, entre 2020 e 2021, houve um aumento considerável no fluxo de projetos de produção de hidrogênio, de forma que, se todos os projetos de eletrolisador planejados e anunciados fossem concluídos, se teria uma capacidade instalada mundial de cerca de 90 GW até 2030, produzindo 1 EJ de hidrogênio de baixo carbono. Apesar do aumento considerável no nível de produção atual, a capacidade de produção estaria em torno de 50% daquela desejada para o cenário APS e cerca de 5% da produção projetadas para o NZE, conforme apresenta o Gráfico 2.

Gráfico 2 - Instalações planejadas e anunciadas de eletrolisador para 2030 e a sua proporção de adições necessárias (2021-2030)



Fonte: IEA (2021).

No cenário NZE, a produção total de hidrogênio de baixo de carbono aumenta para 17 EJ, em 2030, com cerca de um terço utilizado no setor de energia, 25% na indústria, pouco mais de 15% convertido em combustíveis à base de hidrogênio e o restante empregado em edifícios e transporte. Neste cenário, metade da produção de hidrogênio é proveniente da eletrólise e a outra metade da produção de hidrogênio a partir do carvão e do gás natural com CCUS (captura, armazenamento e uso do carbono). Em 2050, essa produção atingirá 60 EJ, com cerca de 25% convertido de combustíveis à base de hidrogênio. O NZE é o único cenário em que ocorre um aumento notável na produção de metano sintético.

Combustíveis à base de hidrogênio

Os combustíveis de baixo carbono à base de hidrogênio, incluindo amônia, metanol e outros hidrocarbonetos sintéticos produzidos com hidrogênio, oferecem uma alternativa ao uso do petróleo. Atualmente, existem seis projetos de demonstração em construção para a produção de combustíveis sintéticos deste tipo e outros 38 projetos piloto e de demonstração que estão em fase de planejamento. Há uma variedade de projetos que visam a produção da amônia principalmente para uso na indústria de fertilizantes, como combustível e, em alguns casos, para exportação.

No cenário STEPS, até 2030 a absorção global de combustíveis à base de hidrogênio será limitada, pois há poucas políticas que apoiam seu uso. No APS, 0,15 EJ de combustíveis à base de hidrogênio serão consumidos, principalmente no transporte marítimo, na forma de amônia. Com a finalidade de fechar a lacuna de implementação entre os dois cenários, grandes investimentos em inovação serão necessários para reduzir os custos de produção e transporte e, assim, garantir que novos equipamentos e veículos estejam prontamente disponíveis no mercado. No NZE, o consumo de combustíveis à base de hidrogênio no setor de transporte aumentará para 1,3 EJ em 2030, sendo a maior parte utilizada no transporte marítimo.

Após 2030, no STEPS, a implantação ainda permanece a níveis baixos. Contudo, no que se refere aos cenários APS e NZE, políticas e inovações regulatórias serão essenciais para proporcionar a redução de custos e, deste modo, aumentar a produção e o uso dos combustíveis à base de hidrogênio.

No transporte marítimo, a implantação de instalações de produção de amônia e de navios movidos à amônia aumentará substancialmente na década de 2030. Observa-se que a amônia será responsável por quase metade da demanda de energia de transporte no cenário NZE, em 2050. Na aviação, o uso de querosene sintético cresce substancialmente a partir de 2030 e atende a cerca de 30% da demanda total de combustível de aviação, em 2050, no NZE.

Global Hydrogen Review

Este ano, a International Energy Agency (IEA) lançou uma nova publicação, o relatório “Global Review Hydrogen 2021”, visando acompanhar o progresso em todas as áreas relacionadas ao hidrogênio.

O relatório é resultado da Iniciativa Ministerial de Energia Limpa sobre Hidrogênio (CEM H2I) e tem como objetivo informar as partes interessadas do setor de energia sobre a situação e as perspectivas futuras do hidrogênio, contribuindo para as discussões na Reunião Ministerial de Energia de Hidrogênio (HEM) organizada pelo Japão.

O documento acompanha o progresso na produção e demanda de hidrogênio, bem como em outras áreas críticas, como política, regulamentação, investimentos, inovação e desenvolvimento de infraestrutura. Neste sentido, o relatório examina qual será o progresso internacional do hidrogênio necessário para ajudar a abordar as mudanças climáticas e compara os desenvolvimentos do mundo real com as ambições declaradas por governos e indústria e com as principais ações no âmbito da Agenda de Ação Global, lançada no HEM, em 2019.

O documento foi lançado como preparação para a 26^a Conferência das Partes da ONU, a COP 26, na qual vários países estariam discutindo sobre suas metas para atingir emissões líquidas zero de GEE, nas próximas décadas. Destaca-se que o atingimento dessas metas exige uma ação imediata para transformar a década de 2020 em uma década de expansão consistente de energia limpa.

Com foco no uso do hidrogênio para atender às metas climáticas, o relatório objetivou auxiliar os tomadores de decisão no ajuste fino de estratégias para atrair investimentos e facilitar a implantação de tecnologias de hidrogênio, ao mesmo tempo em que cria uma demanda por hidrogênio e combustíveis à base de hidrogênio. Por isso, o documento baseia-se em três indicadores para seguir o progresso na produção e na utilização de hidrogênio:

- (i) Progresso concreto no desenvolvimento da tecnologia do hidrogênio;
- (ii) Ambições governamentais de integrar o hidrogênio em suas estratégias energéticas a longo prazo; e
- (iii) Lacunas entre o progresso realizado, as ambições dos governos e as necessidades de transição energética projetadas.

A revisão da IEA acompanha e relata os progressos nestas áreas, com o objetivo de informar os governos e as partes interessadas sobre o ritmo de mudança necessário na elaboração das políticas que envolvem hidrogênio. O relatório destaca, ainda, as novas políticas a serem adotadas em todo o mundo, avaliando o seu impacto e identificando potenciais lacunas.

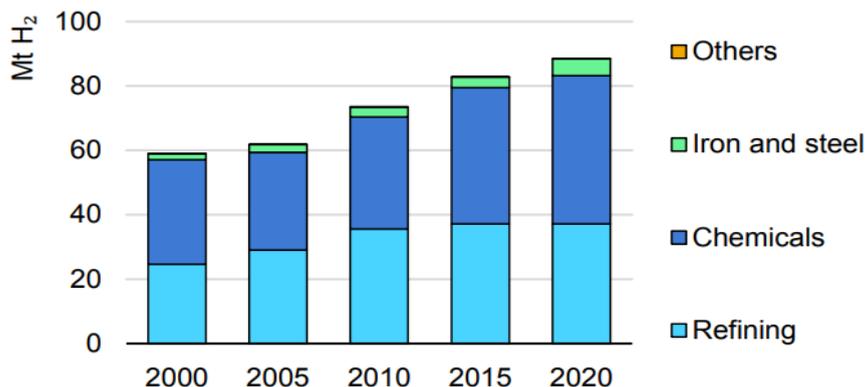
De maneira geral, o estudo relata que, devido ao surgimento de novos projetos, o investimento em projetos internacionais de produção está aumentando significativamente e de forma rápida. Diversos países anunciaram suas estratégias nacionais para o hidrogênio e foi observado como as diferentes nações estão comprometidas. De 2019 até este ano, o número de países que já possui estratégias nacionais para o uso do gás aumentou de três para 17, enquanto mais de 20 outros anunciaram publicamente que estão planejando e trabalhando nos seus planos. Deste modo, para remover as barreiras do desenvolvimento da economia do hidrogênio, alguns países tomaram os primeiros passos para adaptar os seus regulamentos.

Nota-se que a procura de hidrogênio tem crescido fortemente desde 2000, particularmente na refinação e indústria. Mesmo assim, a utilização de combustível à base de hidrogênio ainda deve expandir para atingir objetivos climáticos e energéticos ambiciosos. O caminho para a redução das emissões a zero até 2050 requer uma utilização substancialmente mais ampla de hidrogênio em aplicações existentes e uma significativa absorção de hidrogênio na área de combustíveis para novas aplicações na indústria pesada, no transporte rodoviário pesado, na navegação e na aviação.

Demanda de Hidrogênio

No relatório da IEA, também são discutidos os setores nos quais a inserção do hidrogênio deve aumentar ou necessita de maior atenção. Em geral, pode-se classificar a demanda de hidrogênio como usos existentes ou futuros, de modo que os usos existentes são aqueles que já possuem maturidade tecnológica e mercado, mas precisam converter suas matrizes produtivas para reduzir as emissões de carbono. De 2000 a 2020, a demanda de hidrogênio refere-se, majoritariamente, a dois grandes mercados, a indústria química e as refinarias. Em 2020, a demanda de hidrogênio foi de, aproximadamente, 90 Mt e, quando comparada ao início do século, apresentou pouco crescimento e quase nenhuma diversificação no mercado, como mostra a Figura 1.

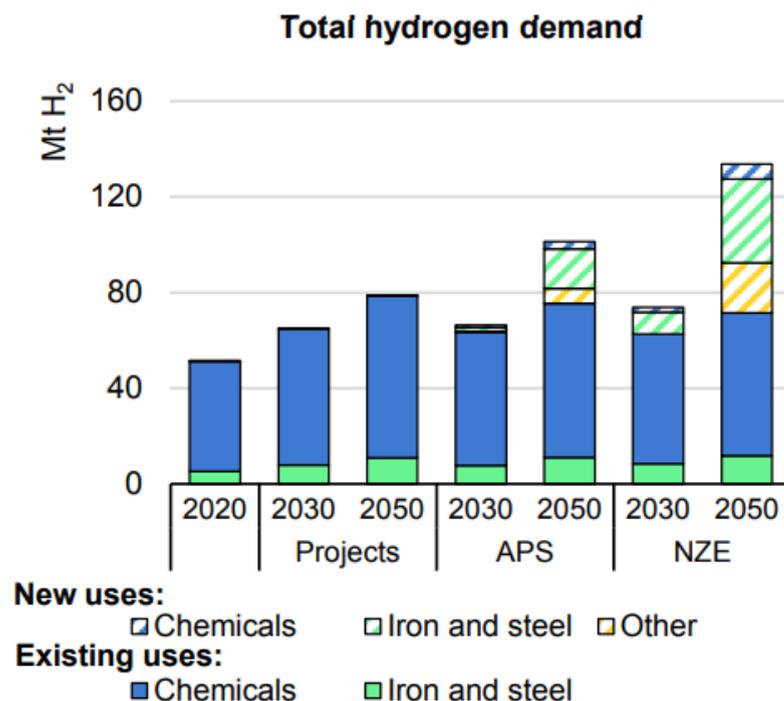
Figura 1 - Demanda de hidrogênio de 2000 a 2020



Fonte: IEA (2021).

Portanto, considerando que se trata de uma indústria nascente e com inúmeras barreiras de implementação, no curto prazo a produção deverá ter como principais destinos os setores da indústria química e refinarias. Destaca-se que, na indústria química, a principal destinação do hidrogênio é a produção de amônia. Para o longo prazo, há perspectivas de introdução de novos usos, o que é essencial para promover uma descarbonização profunda da economia. A Figura 2 apresenta as perspectivas de evolução da demanda total de hidrogênio para 2030 e 2050, nos cenários anteriormente descritos.

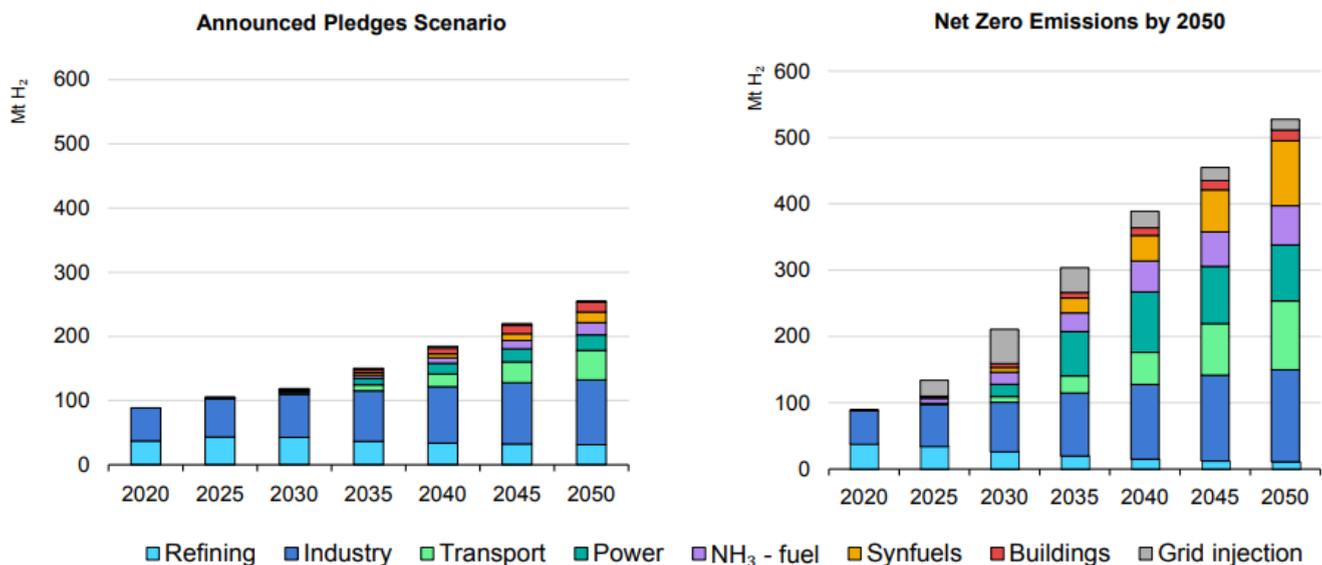
Figura 2 - Perspectivas da demanda total de hidrogênio para os três cenários (2030 e 2050)



Fonte: IEA (2021).

Já a Figura 3 apresenta, até 2050, a demanda de forma mais detalhada, demonstrando a importância dos setores de amônia, metanol e aço, no curto prazo, para os diferentes cenários, e o surgimento de novas alternativas com o passar dos anos.

Figura 3 – Demanda de hidrogênio detalhada por uso final até 2050



Fonte: IEA, 2021.

Para os novos usos, destaca-se a importância da contribuição que o hidrogênio pode fornecer ao setor de transportes, notadamente os pesados. Contudo, para o longo prazo, também há a projeção de uso nos transportes médios e leves, como apresentado ao cenário atual no Observatório de Hidrogênio nº 2. Outro setor que se projeta como um mercado futuro é o setor de combustíveis sintéticos, vistos como essenciais para a descarbonização do transporte marítimo e da aviação.

Mesmo com essas projeções, o cenário de demanda anunciado é menor do que o esperado em quase todos os setores, sendo o refino a única a exceção. No caso da indústria, uma vez que a maior utilização de hidrogênio é como matéria-prima, o crescimento da demanda é robusto em ambos os cenários, embora seja 30% menor do que a determinada pela IEA para alcance das emissões líquidas zero (cenário NZE). Portanto, o maior esforço para promoção da economia do hidrogênio deverá ser para aumentar a sua utilização como novo vetor energético, pois pode demorar décadas para que um novo combustível seja significativamente capaz de penetrar no setor energético. Assim, são necessárias ações imediatas para facilitar o processo de escalonamento e a criação de condições para assegurar que as tecnologias do hidrogênio possam ser amplamente difundidas até 2030 e sejam realmente utilizadas, a longo prazo, na transição de energia limpa.

Produção de Hidrogênio

Atualmente, o principal obstáculo para uma maior implementação do hidrogênio verde no mercado ainda é o custo de sua produção, intimamente relacionado ao custo da eletricidade, que deve ter origem em fontes de energias renováveis. O custo dos eletrolisadores também compromete o preço final do hidrogênio e esta tecnologia precisa ganhar escala para estimular a redução do CAPEX. Neste sentido, a capacidade global de eletrolisadores evoluiu consideravelmente e dobrou nos últimos cinco anos.

Se todos os projetos de eletrolisadores atualmente em desenvolvimento forem realizados, o suprimento global de hidrogênio alcançaria 8 milhões de toneladas em 2030, muito maior do que é hoje produzido (50.000 toneladas). De qualquer forma, o nível ainda permaneceria bem abaixo do esperado pela IEA, que afirma que 80 milhões de toneladas são necessárias para auxiliar no alcance da neutralidade climática até 2050, devendo ocorrer um crescimento de mais de 10 vezes após 2030.

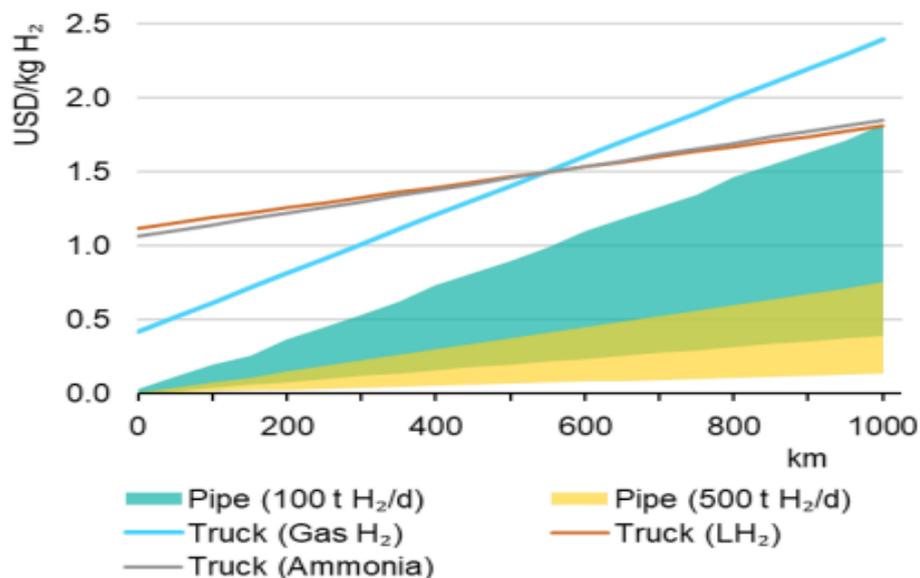
A competitividade em termos de custos para aplicação de hidrogênio com baixo teor de carbono é determinada principalmente pelos gastos de capital e custos de energia, com uma disputa entre o gás natural e a eletricidade. Tanto para a amônia, a redução direta de ferro ou a geração de energia, o hidrogênio pode ser produzido com baixo teor de carbono utilizando gás natural ou eletricidade. Destaca-se que, atualmente, a eletrólise não consegue competir nem com o gás natural, uma vez que o preço desse está na faixa de US\$ 2-10/MBtu com CCUS, devido aos seus custos a US\$ 20-40/MWh. Dependendo dos seus preços regionais, o custo nivelado do hidrogênio a partir do gás natural varia entre US\$ 0,5 e 1,7/kg. Contudo, a utilização de tecnologias CCUS para reduzir as emissões de CO₂ aumenta o custo de produção nivelado para cerca de US\$ 1 a 2/kg. Por fim, a utilização de eletricidade renovável para produzir hidrogênio custa de US\$ 3 a 8/kg. Estes valores corroboram a necessidade de criação de uma precificação de carbono efetiva, capaz de estimular as inovações e a respectiva redução das emissões de GEE.

Transporte e Armazenamento de Hidrogênio

O relatório da IEA também realiza uma estimativa dos custos dos diferentes tipos de transporte por unidade de hidrogênio. Atualmente, o hidrogênio é geralmente armazenado como gás comprimido ou na sua forma liquefeita em tanques para uso local em pequena escala.

No entanto, será necessária uma maior variedade de operações de armazenamento para se conseguir viabilizar um comércio internacional ininterrupto. Neste sentido, espera-se que, nos terminais de importação, o armazenamento de hidrogênio seja provavelmente necessário como medida de precaução em caso de rupturas de abastecimento, semelhante à abordagem para o GNL. Considerando que os custos de armazenamento e transporte são elevados e impactarão diretamente no LCOH (custo nivelado do hidrogênio), o relatório apresenta uma estimativa desses custos, apresentada na Figura 4.

Figura 4 - Estimativa dos custos de diferentes tipos de transporte por unidade de hidrogênio



Fonte: IEA, 2021.

Na Figura 4, observa-se que, conforme há uma variação na distância entre a produção e o consumo, diferentes rotas se tornam mais ou menos competitivas. Em geral, os custos de transporte via gasodutos demonstram-se menos impactantes, porém nem sempre é uma alternativa viável do ponto de vista técnico e ambiental. Assim, analisando as outras alternativas, percebe-se que, para menores distâncias, o uso do transporte de hidrogênio gasoso é mais viável. Já, para longas distâncias, o transporte via hidrogênio liquefeito ou amônia se mostra mais competitivo, notadamente para usuários finais que estejam a mais de 600 km.

Experiência Internacional

Além de questões técnicas e econômicas, o relatório da IEA aborda as iniciativas e os avanços de países com destaque. Em um cenário de comércio internacional desta nova commodity, os países que têm capacidades nacionais limitadas para produzir hidrogênio com baixo teor de carbono a partir de energias renováveis, energia nuclear ou combustíveis fósseis com CCUS, ou que considerem estes processos demasiadamente caros, podem se beneficiar da importação. Por outro lado, para países com excelente disponibilidade de recursos renováveis e infraestrutura adequada, o comércio internacional pode proporcionar uma oportunidade de exportar recursos renováveis que, de outra forma, não poderiam ser explorados. Do mesmo modo, os países produtores de gás ou de carvão podem entrar no mercado exportando hidrogênio produzido a partir de combustíveis fósseis com CCUS.

Estados Unidos

Os EUA têm intensificado os esforços para desenvolver as tecnologias do hidrogênio devido às suas grandes demandas nos setores de refino (dois terços) e indústria química (um terço). Atualmente, o país já é um dos maiores produtores e consumidores de hidrogênio, que é produzido majoritariamente a partir da reforma do gás natural, representando 13% da procura global. Destaca-se que os EUA têm sido, desde o início do século, um defensor relevante da aplicação do hidrogênio como um vetor energético e do desenvolvimento tecnológico necessário para a estruturação da sua economia.

União Europeia

Em 2020, a Estratégia de Hidrogênio da União Europeia (UE) estabeleceu as bases do vetor para o bloco. Porém, para o cumprimento dos objetivos de emissões líquidas zero, uma ação ambiciosa na próxima década é necessária. Atualmente, a UE conta com diversos projetos pilotos e demonstrativos, que estão estimulando o desenvolvimento de vários elos da cadeia produtiva do hidrogênio. Dentre as principais avaliações estão o blending de hidrogênio na rede de gás e o transporte com veículos de célula a combustível.

Destaca-se que, em maio 2021, a Alemanha anunciou um fundo de financiamento de € 8 bilhões, no escopo dos Projetos Importantes de Interesse Comum Europeu (IPCEI), destinado a 62 grandes projetos, para a promoção do desenvolvimento da economia do hidrogênio e a realização de avaliações mais detalhadas de barreiras e oportunidades.

Experiência Internacional

Outros Países

O Japão, a China, que tem centrado os seus objetivos no setor de transporte, e o Canadá anunciaram novos projetos e trazem metas ambiciosas, com um papel crítico para as emissões líquidas zero e para o crescimento econômico através do mercado de exportações. O relatório da IEA também destaca outras regiões com grandes potenciais e que estão caminhando para entrar na economia do hidrogênio, como a Austrália, com um vasto histórico de projetos ambiciosos e diversos acordos com outros países. Ademais, países da África, a Coreia do Sul, a Índia, países da América Latina, como o Brasil e o Chile, e países da região do Mena também apresentam uma combinação de fatores promissores que podem criar complementaridades e sinergias no mundo. Neste sentido, será importante estabelecer uma cooperação eficaz entre os países em busca de soluções para os desafios da adoção do hidrogênio como combustível limpo atrelado ao crescimento econômico.

Recomendações de Políticas para o Hidrogênio

Por fim, para auxiliar os tomadores de decisões, é apresentado uma série de marcos norteadores que deveriam ser estabelecidos pelos governos e precisam de ser alcançados até 2030, a fim de estimular ao máximo o potencial do hidrogênio. Estes marcos cobrem a cadeia de valor do hidrogênio em sua totalidade, incluindo produção, infraestrutura, transformação em combustíveis e usos finais. Os marcos irão auxiliar na criação de confiança entre investidores, indústrias, cidadãos e países, incitando colaborações para desencadear a adoção do hidrogênio de forma conjunta.

Observa-se que, para atingir as metas climáticas, os governos devem assumir um papel de liderança na facilitação da transição para energia limpa, através do estabelecimento de quadros políticos que estimulem ações integradas. Assim, algumas recomendações políticas foram listadas para auxiliar a transição (IEA, 2021):

- (i) Desenvolver estratégias e roteiros sobre o papel do H₂ nos sistemas de energia, com metas e posicionamentos concretos;
- (ii) Criar fortes incentivos para a utilização de H₂ de baixo teor de carbono em substituição aos combustíveis fósseis;
- (iii) Mobilizar o investimento em bens de produção, infraestruturas e fábricas;
- (iv) Fornecer apoio a projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) atrelados à inovação para assegurar que as tecnologias críticas ganhem maturidade; e
- (v) Estabelecer uma certificação, normalização e regulamentação adequadas.

Green Hydrogen Compact Catalogue

Com o aumento da temperatura global, a busca por formas de mitigar as emissões de carbono está se expandindo. Desta maneira, no setor de energia, diversas empresas estão desenvolvendo um portfólio com, cada vez mais, energias renováveis. Em conjunto com as energias renováveis primárias, um vetor energético que está em grande ascensão é o hidrogênio verde, considerado essencial para a transição energética e, mais especificamente, para a descarbonização das matrizes energéticas. Neste contexto, o documento [Green Hydrogen Compact Catalogue](#) teve como principal finalidade analisar como as empresas estão comprometidas com o hidrogênio verde e quais são suas visões para que o mercado deste vetor energético seja desenvolvido ao longo dos próximos anos.

Fortescue Future Industries

A Fortescue Future Industries (FFI) é uma empresa que, no que tange à economia do hidrogênio verde, tem como objetivo maior tornar o vetor energético, produzido de maneira renovável, a commodity de energia mais comercializada do mundo. Para tornar isso realidade, a empresa está atuando em todos os elos da cadeia de valor do H2V, ou seja, em produção, armazenamento e distribuição. Ademais, a FFI também está investindo no avanço de tecnologias que otimizem o processo de produção, para, assim, tornar o preço do hidrogênio mais competitivo e viável no mercado.

A empresa almeja ter uma produção de 15 milhões de toneladas de hidrogênio verde por ano em 2030 e, para tanto, está realizando um aumento contínuo em seu portfólio de energias renováveis. Com o intuito de conquistar suas metas, a FFI está desenvolvendo diversos projetos de hidrogênio verde combinados com a produção de energia renovável, para obter uma capacidade instalada da ordem de 150 GW.

Contudo, apesar de todo o investimento realizado em hidrogênio por parte da FFI, ainda há um entrave no que tange à precificação de carbono da indústria de combustíveis fósseis. A empresa retrata que há uma grande dificuldade do mercado de H2V se desenvolver enquanto os gases de efeito estufa não forem taxados a um preço equivalente ao necessário.

Iberdrola

A Iberdrola é uma empresa espanhola que atua na distribuição de gás natural e na geração e distribuição de energia elétrica. Todavia, com o processo de transição energética atrelado à descarbonização, a companhia está diversificando o seu portfólio e apostando no hidrogênio verde como um vetor energético essencial para a descarbonização da matriz energética na Espanha e no mundo

Iberdrola (continuação)

Atualmente, a Iberdrola está desenvolvendo a cadeia de valor de hidrogênio na Espanha com dois projetos principais: o Projeto TMB e um projeto em conjunto com a Fertiberia em Puertollano I. O Projeto TMB construirá uma planta de hidrogênio com capacidade de eletrólise de 5,5 MW e será alimentada por energias renováveis, para, assim, produzir H₂V, em Barcelona. No que tange ao uso final, o hidrogênio será distribuído para um posto de reabastecimento e utilizado na frota de ônibus urbanos.

O segundo projeto possui a mesma finalidade do projeto anterior: construir uma planta de hidrogênio verde. Em sua fase inicial, esta planta contará com uma capacidade de eletrólise de 20 MW e, com relação ao uso final, o hidrogênio será utilizado na produção de amônia verde.

Haldor Topsøe

A Haldor Topsøe é uma empresa dinamarquesa, fundada em 1940, que atua no desenvolvimento de tecnologias que visam a redução de emissões de carbono. No que diz respeito ao hidrogênio, a Haldor está desenvolvendo catalisadores e eletrolisadores de óxido sólido que trabalham em alta temperatura para a produção de H₂V, proporcionando maior eficiência.

Atualmente, para conseguir estimular o mercado de hidrogênio e se destacar como empresa líder em tecnologia nesta área, a Haldor está desenvolvendo a primeira célula de eletrólise de óxido sólido com uma capacidade de produção de 500 MW. A companhia espera terminar o desenvolvimento deste equipamento ainda em 2023.

RWE

A RWE é uma empresa alemã que fornece soluções de energias renováveis para a promoção da descarbonização. No mercado de H₂V, a RWE está atuando com a rota de produção a partir da eletrólise, destinando o hidrogênio para indústrias eletrointensivas, como as de aço e as petroquímicas.

Neste sentido, destacam-se três projetos de hidrogênio. O primeiro, denominado “Eemshydrogen”, concentra-se no desenvolvimento de um eletrolisador em grande escala para demonstrar o potencial da produção de H₂V e a respectiva redução de emissões de carbono na indústria química. A decisão final de investimentos será tomada em 2022 e, caso seja prosseguido, o projeto possuirá, em 2024, 50 MW de potência em operação. Destaca-se que este é um projeto fundamental para o desenvolvimento de um gasoduto entre Eemshaven e o cluster industrial de Delfzijl.

RWE (continuação)

O segundo projeto, denominado “GET H2 IPCEI”, propõe a construção de uma cadeia de valor transeuropeia de H2V, que compreende um duto dedicado ao hidrogênio, com 360 km de extensão e acesso não discriminatório. O consórcio responsável pelo projeto tem como objetivo impulsionar a economia do hidrogênio e, deste modo, permitir o desenvolvimento crescente desta nova economia. A previsão é que, em 2026, estejam instalados 400 MW de eletrolisadores, com perspectiva de escalabilidade para 2030, atingindo 2 GW. Para a primeira fase, estima-se que a produção seja de até 28 Mt de H2V por ano, reduzindo, anualmente, as emissões de carbono em 530.000 tCO2.

Por fim, o terceiro projeto, “HyTech Harbour Rostock”, propõe transformar a cidade de Rostock e seu porto marítimo em um hub sustentável. Para isso, uma das rotas propostas é a produção de hidrogênio através de uma planta de 100 MW associada à produção de amônia. A amônia verde produzida será transportada para uma instalação de armazenamento existente e utilizada em uma fábrica de fertilizantes local. A perspectiva é que os 100 MW estejam operacionais até 2025, podendo expandir para 1 GW até 2030.

EDP

A EDP é uma empresa do setor energético que está promovendo, a partir de suas metas estratégicas, a descarbonização da produção de energia, bem como investindo em novos negócios, como o hidrogênio.

Atualmente, a EDP está desenvolvendo alguns projetos de hidrogênio, que vão de iniciativas de P&D a projetos piloto e até projetos de grande porte. Como exemplos, pode-se citar o Projeto FlexnConfu, o Projeto BeHyond e o Projeto Pecém H2, este no Brasil. Destaca-se que a empresa pretende alcançar 250 MW de potência instalada de eletrolisadores até 2025.

Conclusão

Portanto, avalia-se que é perceptível o crescente envolvimento das empresas do setor energético na promoção da descarbonização. Neste sentido, o hidrogênio verde tem se destacado como vetor estratégico para se atingir as metas climáticas, de forma que as empresas têm anunciado objetivos ambiciosos já para esta década.

Do ponto de vista prático e de implementação dos projetos pilotos, é unânime que a viabilização desta economia ocorrerá através do ganho de escala, da precificação de carbono, do desenvolvimento de políticas públicas e da regulação adequada.

A Economia de Hidrogênio no Mundo

Projetos de Hidrogênio

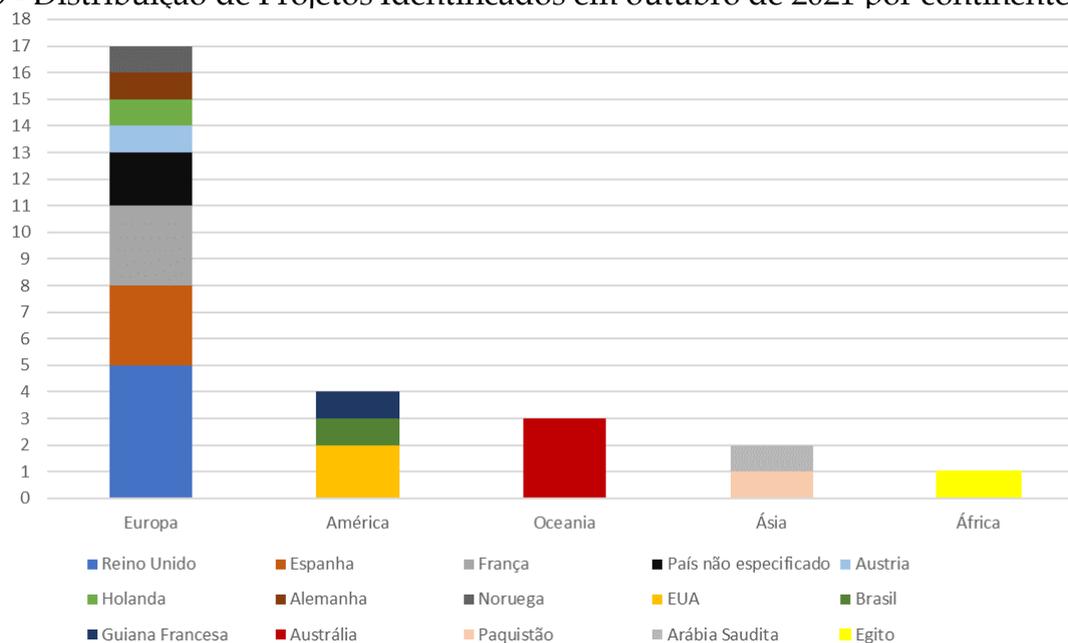
O desenvolvimento do mercado de hidrogênio é de suma importância para o contexto atual de transição energética. Portanto, para que haja a construção da infraestrutura e, conseqüentemente, do mercado de hidrogênio, é necessário que haja o desenvolvimento de projetos que atuem desde a sua produção até os usos finais, promovendo toda a cadeia produtiva.

Ao analisar especificamente o mês de outubro, é possível constatar que o mercado de hidrogênio está cada vez mais próximo de se tornar uma realidade a nível mundial, pois diversos projetos estão sendo desenvolvidos e, até mesmo, já entrando em operação. Dentre os projetos anunciados, os principais objetivos são:

- (i) Demonstrar a produção eficaz, técnica e econômica do H₂;
- (ii) Desenvolver pesquisas e inovação;
- (iii) Proporcionar o desenvolvimento da infraestrutura do hidrogênio; e
- (iv) Descarboxionar os processos industriais.

Contudo, apesar de todos os continentes estarem se comprometendo com o desenvolvimento do hidrogênio, é notável que a maior parte dos projetos vem se realizando na Europa. Outrossim, também é possível analisar que a África é o continente que menos desenvolve projetos de hidrogênio atualmente, como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Distribuição de Projetos Identificados em outubro de 2021 por continentes e países.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O continente europeu merece ser destacado, já que apresentou 17 desenvolvimentos e avanços de projetos de hidrogênio, representando 63% do total identificado no mês de outubro. Apesar do fato de que diversos países situados na Europa não apresentam potencial para a produção de hidrogênio por meios sustentáveis, a região vem sendo, há muito tempo, o continente que mais desenvolve projetos de hidrogênio.

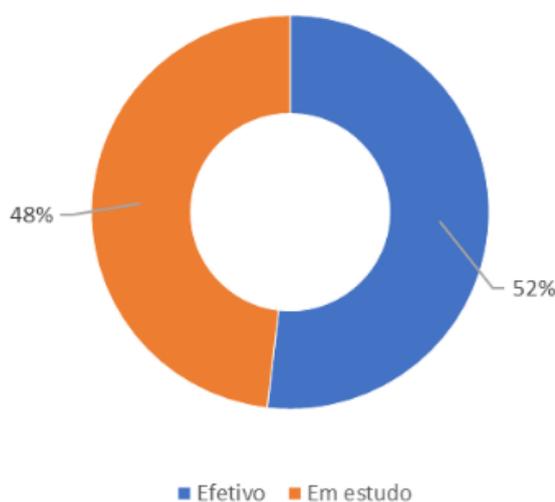
No contexto europeu, um dos países que merece destaque é o Reino Unido. Composto por quatro nações, Inglaterra, Escócia, Irlanda do Norte e País de Gales, foram identificados cinco novos projetos no país. Ademais, é válido salientar que todos os projetos identificados são da rota de produção de H₂V, o que demonstra o comprometimento do país para com a descarbonização e a transição energética.

Desviando-se da realidade europeia, outro continente que merece ser destacado é a América, pois é o segundo com maior número de projetos identificados no mês de referência. O continente apresenta quatro novos projetos, um percentual de quase 15% ao comparar com todo o mundo. Destes projetos, três vão produzir o hidrogênio através de fontes renováveis, particularmente a partir de energia eólica e solar, e o outro produzirá o hidrogênio rosa.

Ainda na América, o Brasil merece destaque por estar apresentando inúmeros memorandos de intenções, bem como projetos efetivos, como o Projeto Pecém H₂, da EDP Brasil. Este cenário tende a ser crescente, haja vista o potencial de produção de hidrogênio por meio de fontes renováveis de energia no país.

Por ser uma economia emergente, muitos projetos limitam-se apenas a memorandos de entendimento ou estudos preliminares, mas há aqueles que já possuem um desenvolvimento concreto. A Figura 6 apresenta a distribuição do percentual de projetos em estudo ou efetivos

Figura 6 - Classificação dos projetos identificados pelo status de desenvolvimento.

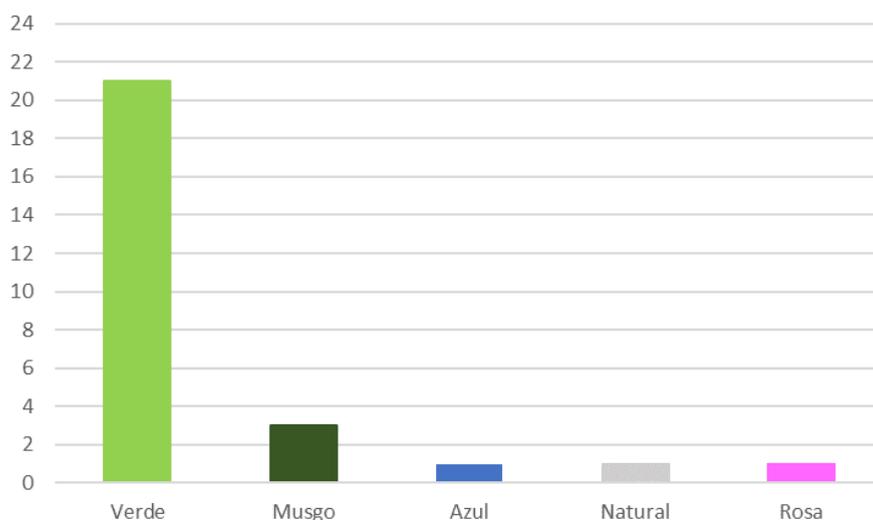


Fonte: Elaborado pelos autores.

No mês analisado, 27 projetos foram identificados, sendo 14 já em fase de efetivação e os restantes ainda em fase de estudo. Ademais, dos projetos efetivos, vale ressaltar que todos são projetos pilotos e o mesmo cabe aos projetos na fase de estudo. Também foi possível identificar a predominância de projetos de hidrogênio verde nas duas fases.

Com o comprometimento mundial na promoção da transição energética, os países vêm desenvolvendo, em sua maioria, projetos que visam produzir o hidrogênio de maneira limpa. Dos novos projetos identificados, todos visam produzir o hidrogênio com uma pegada baixa ou sem emissão de dióxido de carbono. Destes novos projetos, 21 são de hidrogênio verde, três são de hidrogênio musgo, um de hidrogênio azul, um de hidrogênio natural e o último de hidrogênio rosa, como demonstra a Figura 7.

Figura 7 – Classificação da cor do hidrogênio dos Projetos Identificados



Fonte: Elaborado pelos autores.

No que diz respeito aos projetos de hidrogênio verde, a origem da energia é bastante variada, podendo ser hidrelétrica, solar ou eólica, com ênfase, principalmente, às duas últimas. Nos projetos de hidrogênio musgo, por sua vez, a produção é originada da gaseificação da biomassa ou biocombustíveis, com ou sem CCUS. Ademais, no que concerne ao hidrogênio azul, foi utilizado o gás natural submetido ao processo de reforma a vapor com a posterior captura de carbono pelo método do CCS, que captura uma quantia de, aproximadamente, 90% do carbono que a reforma a vapor emite.

Outros projetos que merecem ser definidos são aqueles que visam a produção do hidrogênio natural e do hidrogênio rosa. O hidrogênio natural, também conhecido como hidrogênio geológico, é aquele que pode ser obtido sem o gasto de energia, pois já é encontrado de forma isolada em cavernas. Já o hidrogênio rosa é produzido a partir da tecnologia de eletrólise em alta temperatura, alimentada por energia nuclear.

Uso Final do Hidrogênio

O hidrogênio é um vetor energético essencial para promover a descarbonização da economia, notadamente em setores de difícil redução de emissões, como a indústria e o transporte. Segundo dados da [IEA \(2020\)](#), cada um desses setores é responsável por cerca de 23% das emissões de CO₂ a nível mundial, ficando atrás apenas do setor de eletricidade, responsável por 40% das emissões. Desta forma, para que as metas firmadas no Acordo de Paris sejam cumpridas, faz-se necessária a utilização ampla do hidrogênio no setor energético, especialmente nos mencionados setores.

No mês de outubro, foram identificados alguns desenvolvimentos notórios no que diz respeito às aplicações de hidrogênio, com destaque aos projetos apresentados anteriormente e a outras aplicações no setor de transporte e da indústria.

Cenário Internacional de Mobilidade com H₂ - FCEVs

Iniciativas em Destaque

Estados Unidos

Califórnia ganhará mais cinco ônibus de célula a combustível de hidrogênio

Diante do cenário de eventos climático extremos em todo mundo, foi anunciado que serão fornecidos [cinco novos ônibus](#) movidos a hidrogênio no estado da Califórnia. Os veículos movidos à células a combustível ajudarão a descarbonizar o setor de transporte público, já que não emitem gases de efeito estufa. O modelo [Xcelsior CHARGE H₂™](#) é um ônibus elétrico à bateria que utiliza hidrogênio comprimido como fonte de energia, junto com a tecnologia de célula a combustível da Ballard Power Systems. Os veículos serão entregues ao Departamento de Serviços Gerais da Califórnia, uma vez que a agência pretende cumprir seu plano de lançamento de ônibus com emissão zero, com a esperança de ter uma frota com 100% de emissão zero até 2040. Nota-se o grande esforço do governo para incentivar, cada vez mais, a inserção de hidrogênio na mobilidade local, garantindo a redução das emissões de gases poluentes.

Suécia

Revelados planos de estação de hidrogênio para uma cidade no país

Foram divulgados planos de uma [nova estação de abastecimento de hidrogênio](#) em Borlänge, na Suécia, no dia 30 de setembro, para apoiar veículos pesados, denominada H2Station™. A Nel Hydrogen Fueling fornecerá a estação, tendo recebido um pedido do transportador e construtor sueco MaserDrakt, como parte dos objetivos de descarbonização da empresa para expandir a rede de estações do país. A H2Station™ será capaz de abastecer veículos pesados em menos de quinze minutos e estará operacional no quarto trimestre de 2022.

Mundo

As células de combustível Ballard PEM têm alimentado veículos rodoviários por mais de 100 milhões de quilômetros

A empresa Ballard Power Systems atingiu um marco significativo no mês de outubro, tendo em vista que as suas células a combustível de membrana de troca de prótons (PEM) alimentaram veículos por mais de 100 milhões de quilômetros nas estradas em todo o mundo. Este é um número expressivo, pois, em apenas 12 meses, a companhia mais do que dobrou os seus quilômetros rodados em serviços. As células de combustível da empresa atualmente abastecem aproximadamente 3.500 ônibus e caminhões em uma dezena de países.

Para acessar a notícias na íntegra, clique [aqui](#).

A Figura 8 mostra a quantidade de postos de abastecimento de hidrogênio em cada país na Europa.

Figura 8 - Quantidade de postos de abastecimento de hidrogênio na Europa



Fonte: [H2.Live](#).

Nota-se, pela figura 8, o grande esforço dos governos europeus para ministrar incentivos econômicos e regulatórios, com a finalidade de que a iniciativa privada invista, cada vez mais, nas tecnologias de uso final do hidrogênio. A disponibilidade crescente do vetor energético para a mobilidade europeia, reduzindo seu preço, implica na sua maior utilização e, conseqüentemente, no melhor estado da matriz energética, de modo a aumentar a sua segurança e diminuir as suas emissões.

Cenário Internacional de Mobilidade com H2 - Trens Iniciativas em Destaque

Europa

Trem de hidrogênio Talgo chegará aos mercados em 2023

Um novo [trem movido a hidrogênio](#) deve chegar aos mercados em 2023, com demonstrações programadas para começar em 2022. A fabricante de trens de passageiros Talgo está por trás da inovação e, no dia 12 de outubro, a empresa fechou um novo acordo que utilizará os serviços da Ballard Power Systems para produzir oito módulos de célula a combustível FCmove™-HD de 70 kW cada. A implantação de trens a hidrogênio irá melhorar a mobilidade e gerar um impacto positivo no meio ambiente ao substituir a tecnologia do diesel. A iniciativa é apenas uma de várias espalhadas pela Europa que foram anunciadas no mês seguinte, durante a COP26, marcando um avanço para a eletrificação da mobilidade e a conseqüente redução de emissões deste setor.

Estônia

40 locomotivas a diesel serão reformadas para utilizar energia de célula de combustível

Na Estônia, [40 locomotivas de carga a diesel serão convertidas em elétricas de célula a combustível-hidrogênio](#), com o objetivo de entregar trens de emissão zero no país. A empresa Stargate Hydrogen realizará o processo conversão para a proponente Operail. Como parte deste processo, os grupos geradores a diesel que atualmente movem as locomotivas serão substituídos por um *powertrain* de emissão zero movido por uma célula a combustível de membrana de eletrólito de polímero, o que ajudará a descarbonizar o setor de transporte ferroviário.

A parceria está planejada em duas fases, com um protótipo inicial de uma locomotiva de célula a combustível planejada para ser construída até o final de 2022. Na segunda fase do projeto, as partes pretendem converter mais 40 locomotivas em células de combustível, com cada trem definido para economizar 370 toneladas de emissões de carbono por ano.

Uso Industrial

Iniciativas em Destaque

Reino Unido

MPA e Hanson UK experimentam com sucesso o hidrogênio em um forno de cimento

Um forno de cimento do Reino Unido operou com sucesso utilizando a tecnologia de hidrogênio, para se tornar o primeiro do mundo a empregar esta tecnologia para produção de cimento, segundo a Associação de Produtos Minerais (MPA). Liderado pela MPA e pela Hanson UK e apoiado com £ 3,2 milhões (US\$ 4,32 milhões) pelo Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial (BEIS), o teste abre com sucesso o caminho para a operação zero líquido mediante a utilização de hidrogênio.

Observa-se que, ao utilizar hidrogênio para a fabricação de cimento em escala comercial, a mistura no teste consistia em hidrogênio entregue por caminhão-tanque, bem como farinha de carne e ossos (MBM) e glicerina. Se o hidrogênio for totalmente implementado para todo o sistema do forno, estima-se que cerca de 180.000 toneladas de dióxido de carbono poderiam ser economizadas, a cada ano, apenas no local de Ribblesdale.

Austrália | Coreia do Sul

BHP e POSCO pesquisam em conjunto a tecnologia de redução direta à base de hidrogênio na produção de aço

A BHP e a POSCO assinaram um [novo acordo](#) para descarbonizar a indústria siderúrgica, por meio de compartilhamento de pesquisas em várias tecnologias de carbono zero, como o hidrogênio. A BHP investirá até US\$ 10 milhões nos próximos cinco anos para o progresso das tecnologias de produção de aço com carbono zero, o que poderia ajudar a acelerar a adoção do transportador de energia limpa. A empresa anunciou recentemente uma meta de buscar emissões líquidas zero do Escopo 3 até 2050 e está comprometida em trabalhar com os líderes da indústria de produção de aço para lidar com este setor difícil de redução.

Reino Unido

Teste de hidrogênio para aquecer residências e universidades foi um sucesso.

A mistura de hidrogênio está se tornando uma tecnologia cada vez mais popular para alimentar sistemas domésticos e eletrodomésticos. No Reino Unido, os pesquisadores por trás do projeto *HyDeploy*, o primeiro a propor a mistura nos gasodutos no país, realizaram um estudo e apontaram que um *blend* de até 28,3% de hidrogênio não causaria a necessidade de alterar a infraestrutura, ainda sendo segura a sua utilização nas redes.

Este resultado, assomado à realização de projetos em outros países com uma mistura composta por até 23% de hidrogênio, garantiu que o *HyDeploy* obtivesse uma [permissão para uma mistura de 20%](#) de hidrogênio com 80% de metano na rede de gás da Keele University. Com 18 meses, [o projeto](#) entregou mais de 42.000 m³ de hidrogênio a 130 casas e prédios de professores.

Os técnicos mediram o desempenho de eletrodomésticos comuns, como fogões e aquecedores de parede, quando alimentados com uma mistura de hidrogênio e gás natural, e foram aprovados. Destaca-se que a uma mistura de 20% de hidrogênio para 23 milhões de casas e edifícios que são aquecidos a gás em todo o Reino Unido evitaria cerca de 6 milhões de toneladas de emissões de dióxido de carbono, ou 7% de suas emissões atuais.

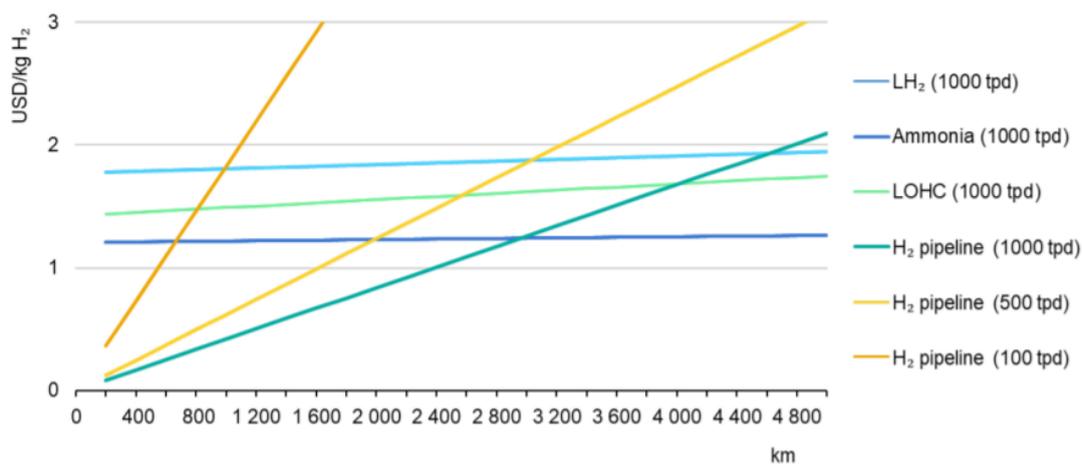
Armazenamento e Transporte

O armazenamento e o transporte do hidrogênio é de extrema importância para o desenvolvimento desta economia, de forma que romper os desafios técnicos e econômicos para viabilizar a exportação e promover a transição gradual do suprimento de gás natural a partir do blending com o hidrogênio verde são essenciais. Neste contexto, esta seção apresenta o estágio atual de desenvolvimento setor destes segmentos, com destaque para alguns projetos e iniciativas.

Transportador de hidrogênio orgânico líquido

Uma análise integrada do sistema é necessária para projetar uma infraestrutura eficiente para produzir hidrogênio e transportá-lo até os usuários finais. Dentre as opções de transporte, tem-se o transportador de hidrogênio orgânico líquido (LOHC), o qual, para distâncias maiores do que 4.000 km, pode vir a ser, em 2030, uma alternativa mais atraente para o transporte, como indica na Figura 9.

Figura 9 – Custos de entrega de H₂V por pipeline e LH₂, LOHC e amônia por navio (2030)



IEA. All rights reserved.

Fonte: IEA (2021).

Os LOHCs são uma opção de transporte de alta densidade, na qual o hidrogênio em moléculas orgânicas possui propriedades semelhantes às do petróleo bruto e dos derivados de petróleo, de forma que sua principal vantagem é a possibilidade de ser transportado sem liquefação. Os processos de conversão, reconversão e purificação são caros e, dependendo da composição molecular básica de um LOHC, os problemas de toxicidade podem ser relevantes. Além disso, as moléculas transportadoras de um LOHC são frequentemente caras e, após serem utilizadas para transportar hidrogênio até o seu destino, precisam ser enviadas de volta ao seu local de origem, o que reduz a competitividade pelo nível de maturidade incipiente desta tecnologia.

É importante ressaltar que os custos apresentados na Figura 9, acima, incluem a conversão no terminal de exportação, a expedição no terminal de importação e a reconversão para cada sistema transportador. Os custos de armazenamento, por outro lado, estão incluídos nas despesas dos terminais de importação e exportação. Por fim, pressupões a construção de um novo gasoduto.

Em 2020, um progresso significativo foi realizado na demonstração do comércio internacional de hidrogênio. A Advanced Hydrogen Power Chain Association for Technology Development produziu e comercializou com sucesso hidrogênio por tecnologia LOHC para uso como combustível em turbinas a gás, transportado de Brunei ao Japão através de contêineres.

Segundo dados do [Global Hydrogen Review 2021](#), o custo projetado de entrega de LOHC, da Austrália para o Japão e do Oriente Médio para a Europa, contando com a produção até a reconversão, ficaria por volta de US\$ 3 a 4/kg de hidrogênio. Este valor fica ainda atrás do transporte por amônia, porém possui vantagens sob o transporte de hidrogênio liquefeito. Ademais, de acordo com o Global Hydrogen Review 2021, a tecnologias de LOHCs possui um nível de maturidade tecnológica intermediária (5), de modo que ainda precisa avançar para ganhar competitividade.

Armazenamento Subterrâneo

Em futuros sistemas de energia renovável, o hidrogênio pode desempenhar um papel fundamental no transporte e no armazenamento de energia. O armazenamento se tornará mais importante em decorrência das características das fontes de energia renováveis, como a eólica e solar, uma vez que nem sempre estão disponíveis quando necessárias. Neste contexto, o hidrogênio produzido pelas fontes renováveis intermitentes poderia ser armazenado no subsolo em grandes quantidades e por um longo tempo para ser utilizado posteriormente, quando necessário.

O hidrogênio já está armazenado no subsolo em cavernas de sal em alguns lugares no Reino Unido e nos Estados Unidos, mas esses locais não foram testados para se verificar se o gás poderia ser injetado e extraído rapidamente conforme variam o vento e a luz do sol.

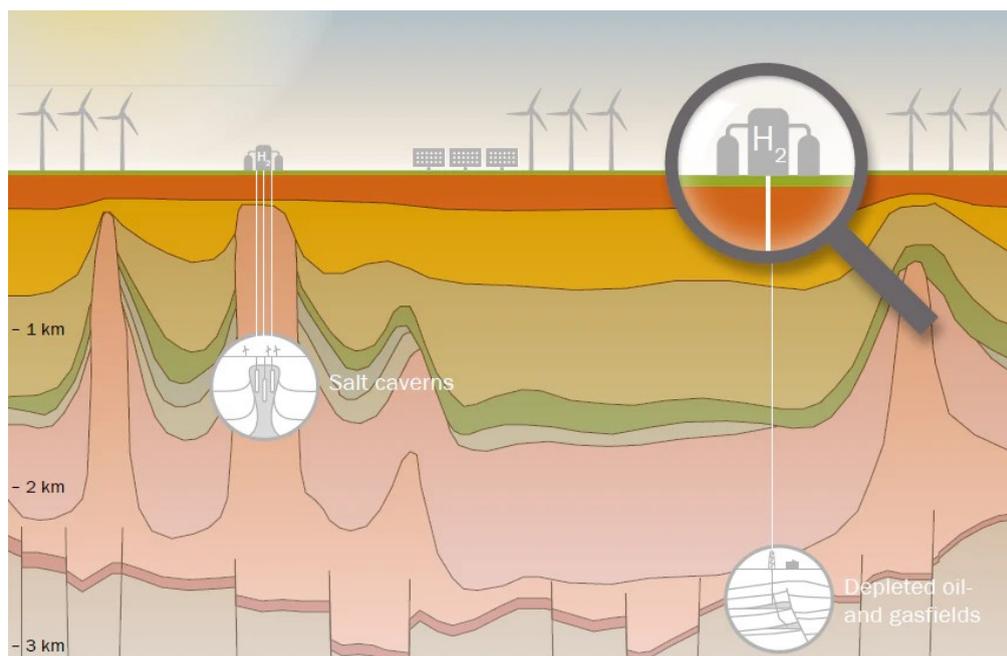
Diante deste contexto, o projeto Hydrogen TCP foca na demonstração das viabilidades técnica, econômica e social do armazenamento subterrâneo de hidrogênio (UHS). O projeto apoia a aceleração da implementação segura do UHS por meio da colaboração coordenada e da disseminação de conhecimento, reunindo organizações de pesquisa e indústria em todo o mundo e vinculando disciplinas científicas industriais e sociais relacionadas.

Três projetos pilotos já estão sendo testados no âmbito desta iniciativa, o HyStock, na Holanda, o Sun Storage (RAG), na Áustria, e o Hychico, na Argentina. Nestes projetos, pretende-se responder as seguintes questões centrais:

- (i) Como o hidrogênio interage quimicamente com as rochas nas quais está armazenado?
- (ii) Os micróbios nos reservatórios subterrâneos consumirão o hidrogênio, introduzindo impurezas?
- (iii) Como o hidrogênio se move nos poros do reservatório subterrâneo?
- (iv) Quanto hidrogênio é perdido quando é injetado e extraído?

Essas e outras questões são centrais na busca da compreensão do real potencial desta rota tecnológica para armazenamento e das condições em que ela apresenta aplicações. A Figura 10 apresenta uma ilustração do processo de armazenamento em cavernas.

Figura 10 - Seção transversal da subsuperfície mostrando formações onde o hidrogênio pode ser armazenado com segurança



Fonte: IEA (2021).

Para ler a pesquisa na íntegra, acesse:

- [Artigo: Provando a viabilidade do armazenamento subterrâneo de hidrogênio](#)

- [Vídeo sobre o projeto](#)

Políticas Públicas de Incentivo

A economia de hidrogênio está em estágio inicial de desenvolvimento e, portanto, o seu sucesso dependerá de ações conjuntas entre a iniciativa privada e os governos. O setor privado é responsável, principalmente, pelo desenvolvimento tecnológico e sua respectiva produção e implementação. Já com relação ao papel público, os governos devem atuar como um agente catalisador do mercado, garantindo incentivos adequados e reduzindo, assim, incertezas de caráter técnico, econômico e socioambiental (VIEIRA et al., 2021). Apesar dessa interação e do reconhecimento do hidrogênio como um vetor energético fundamental para a descarbonização, atualmente, os seguintes fatores são identificados como as principais barreiras para o desenvolvimento da sua economia:

- (i) Aspectos normativos e regulatórios;
- (ii) Alto custo de investimento;
- (iii) Incertezas tecnológicas; e
- (iv) Infraestruturas incipientes em toda a sua cadeia de valor.

Diante disso, políticas públicas de incentivo são essenciais para viabilizar o desenvolvimento da economia do hidrogênio.

Alemanha

Segundo o [World Energy Outlook 2021](#), publicado pela IEA em outubro, embora o governo alemão esteja focado em uma expansão massiva de energias renováveis, a eliminação gradual da geração nuclear e de carvão aumentará a demanda do país por gás natural na geração de energia, inclusive como fonte de combustível reserva para energias renováveis. Por isso, o hidrogênio derivado de fontes renováveis possui o potencial de representar uma solução de longo prazo.

Esta situação proporciona, como uma forma de transição, a oportunidade de desenvolvimento de projetos de hidrogênio azul. Neste sentido, a Revisão de Políticas Energéticas da Alemanha, publicada em 2020 pela IEA, destaca que há seis projetos de demonstração em construção que irão produzir combustíveis à base de hidrogênio com baixo teor de carbono e outros 38 projetos piloto e de demonstração que estão em fase de planejamento. Existe, também, um grande número de iniciativas visando a produção de amônia, principalmente para uso como fertilizante, mas também como combustível, incluindo alguns que buscam o desenvolvimento do mercado externo a partir da sua exportação.

É importante salientar que a Alemanha está explorando opções para expandir o apoio aos combustíveis à base de hidrogênio, como na exigência de que 2% do uso de combustível na aviação seja baseado em hidrogênio até 2030. Isso mostra um grande comprometimento da nação para com a descarbonização da matriz energética e da futura neutralidade carbônica, utilizando o hidrogênio como ferramenta para atingir tais objetivos.

Ainda no que tange aos incentivos ao desenvolvimento da economia de hidrogênio, porém em escala mundial, no mês de outubro, o governo alemão apresentou as [diretrizes de financiamento](#) para apoiar projetos internacionais de hidrogênio, nas áreas de produção e processamento de H₂V, bem como armazenamento, transporte e uso de hidrogênio em países fora da eu, por meio de uma subvenção de investimento para as usinas. Os objetivos da iniciativa são promover o uso de tecnologias alemãs no exterior, contribuir para o desenvolvimento oportuno e direcionado de um mercado global de H₂V e preparar estruturas para a importação de hidrogênio. Para esta iniciativa, está disponível um financiamento de € 350 milhões a ser utilizado até o final de 2024. Destaca-se a importância dos investimentos estatais, uma vez que garantem o crescimento da economia do hidrogênio, o qual, por ser um vetor energético limpo, contribui para a redução da emissão de gases de efeito estufa, diminuindo, assim, os efeitos do aquecimento global. Para acessar o documento na íntegra, clique [aqui](#).

Tratando especificamente da parceria Brasil-Alemanha, merece ser destacado o anúncio realizado pela Agência Alemã de Cooperação Internacional (GIZ), durante o evento [3º Dia de Energia Brasil-Alemanha](#), organizado pela Câmara Brasil-Alemanha (AHK), sobre o investimento de € 34 milhões para o desenvolvimento de projetos de produção de H2V no Brasil. A iniciativa, chamada H2 Brasil, disponibilizará recursos ao longo dos próximos dois anos para a construção de uma planta piloto de eletrólise com capacidade de 5 MW. Além disso, o governo alemão espera colaborar na instituição de um marco regulatório de H2V no Brasil, dando prosseguimento ao Programa Nacional de Hidrogênio do Ministério de Minas e Energia (MME). O compromisso de reduzir suas emissões de carbono em 55% nos próximos cinco anos e ser neutra até 2045 tem levado o país europeu a investir pesado no desenvolvimento do mercado de H2V, com especial interesse pelo Brasil. Com a destinação de € 9 bilhões para desenvolvimento de tecnologias ligadas ao vetor energético, sendo € 2 bilhões para parcerias internacionais, a Alemanha deixa cada vez mais clara a importância do hidrogênio para a sustentabilidade mundial.

Austrália

A Austrália constantemente aprova novas políticas públicas e financiamentos para desenvolver o seu mercado de hidrogênio, sendo um dos países que já possui uma estratégia nacional sobre o tema. Neste sentido, o governo de Nova Gales do Sul (NGS) revelou uma estratégia estadual de hidrogênio, que espera gerar mais de AUD\$ 80 bilhões (US\$ 51 bilhões) de investimento para estabelecer a região como uma superpotência de energia limpa. Incluído na estratégia está um sistema de incentivos que pode fornecer até AUD\$ 3 bilhões (US\$ 2,2 bilhões) para apoiar as empresas que procuram fazer a transição da energia de combustível fóssil para o hidrogênio. O governo estadual acredita que auxiliará o país a alcançar vários alvos principais que apoiarão a Estratégia Nacional de Hidrogênio da Austrália, como a redução do custo do H2V em AUD\$ 5,80/kg de hidrogênio (US\$ 4,26/kg) na próxima década e o alcance da meta de entregar 110.000 toneladas de H2V até 2030, ao mesmo tempo em que fornece um meio de descarbonização dos setores de transportes, industriais e energéticos, considerados como de difícil redução de emissões.

No mesmo caminho, o [Território do Norte da Austrália](#) deve receber um grande impulso para o seu ecossistema de hidrogênio, uma vez que o governo territorial lançou um [Plano Diretor de Hidrogênio Renovável](#) para orientar o seu desenvolvimento e desbloquear AUD\$ 3,5 bilhões (US\$ 2,5 bilhões) para a economia. O interesse pela região se deve, principalmente, às grandes áreas de terra da região, à alta irradiância solar, à proximidade de mercados de exportação e a uma produção de energia e indústria de exportação já estabelecidas.

O Plano é dividido em duas partes: lançar as bases e estruturar a cadeia produtiva para exportação de hidrogênio renovável. A primeira parte construirá a vantagem competitiva do Território e identificará as áreas que requerem maior desenvolvimento para otimizar o investimento do governo e do setor privado. A segunda parte será baseada em uma avaliação detalhada do mercado internacional de hidrogênio e de suas cadeias de abastecimento. Espera-se que o Plano se baseie na visão estratégica de hidrogênio renovável do governo, realizada em 2019, com o Território do Norte bem posicionado na vanguarda desta economia.

Por fim, destaca-se que o [Australian Hydrogen Council](#) (AHC) aprofundou o debate sobre políticas de energia renovável com seu primeiro [White paper](#), documento de referência que traça o caminho para o país alcançar emissões líquidas zero, com a ajuda da indústria emergente de hidrogênio. O documento afirma que a indústria australiana possui a capacidade, intenções e matérias-primas em abundância, de forma que cabe ao governo federal providenciar os planos e a entrada dos benefícios futuros para que se desenvolva completamente a economia do hidrogênio no país. É preciso de um órgão nacional para fornecer informações de planejamento líquido zero, com a finalidade de auxiliar os setores privado e o público a tomar decisões informadas sobre a indústria de hidrogênio da Austrália.

Considerações Finais

Após a análise, é perceptível a evolução do setor de hidrogênio e isto é corroborado pelo constante anúncio de projetos e pela crescente importância que tem se dado ao hidrogênio nas publicações das agências internacionais, bem como a nível nacional, as considerações feitas no Plano Nacional de Energia 2050, publicado pelo Ministério de Minas e Energia.

Em linhas gerais, cabe salientar a importância do desenvolvimento de toda cadeia de valor do hidrogênio, da produção ao uso final. Neste sentido, o desenvolvimento de projetos pilotos é visto como essencial para proporcionar experiências de desenvolvimento de novos usos para o hidrogênio, bem como estimular a substituição do hidrogênio cinza pelo hidrogênio verde nos processos em que o uso do hidrogênio é já feito.

Em consonância a estes direcionamentos, foi possível observar o anúncio de projetos relacionados à mobilidade, aço, cimento e aquecimento, todos considerados como novas aplicações de hidrogênio. Ainda em nível de maturidade mais baixo também é possível verificar iniciativas como o desenvolvimento do armazenamento subterrâneo e o transporte por meio de LOHCs. Salienta-se que todos estes desenvolvimento serão essenciais para o desenvolvimento dos mercados internos e de exportação.

De maneira geral, deve-se destacar o quanto a economia de hidrogênio vem se desenvolvendo. Os investimentos crescentes, atrelados a projetos de P&D e à implementação de projetos piloto, impulsionarão o mercado do hidrogênio para que os objetivos climáticos sejam alcançados.



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Observatório de Hidrogênio



@geselufrj



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Observatório de Hidrogênio

Nº 02

OUTUBRO

2021



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Observatório de Hidrogênio N° 2

Organizadores

Nivalde de Castro

Sayonara Elizário

Luiza Masseno

Bianca Castro

Equipe de Pesquisa

Allyson Thomas

José Vinicius Freitas

Kalyne Brito

Luana Bezerra

Vinicius Botelho

Outubro

2021

Sumário

| | |
|---|----|
| Introdução..... | 4 |
| 1. Cenário Brasileiro..... | 5 |
| 1.1 Aceitação Pública e Formação de Recursos Humanos..... | 6 |
| 2. Cenário Internacional..... | 7 |
| 2.1 A Economia de Hidrogênio no Mundo | 8 |
| 2.2.1 Projetos de Hidrogênio | 8 |
| 2.2.2 Uso Final do Hidrogênio..... | 11 |
| 2.2.3 Armazenamento e Transporte | 16 |
| 2.2.3 Políticas Públicas e Financiamentos..... | 18 |
| 3. Considerações Finais..... | 23 |

Introdução

O hidrogênio (H₂) tem sido reconhecido como um importante vetor energético capaz de promover uma profunda descarbonização da economia mundial, especialmente em setores de difícil redução de emissões, como o industrial e o de transportes. Nesse contexto, a transição energética de uma economia composta majoritariamente por combustíveis fósseis para o hidrogênio verde ou de baixo carbono irá transformar significativamente o setor energético e, ainda, atender a dois requisitos centrais do Acordo de Paris: segurança energética e redução de emissões de gases de efeito estufa.

Diante das potencialidades do H₂, diversos países estão estimulando o desenvolvimento da economia do hidrogênio, como pode-se observar pelo crescente anúncio de políticas públicas e projetos demonstrativos em toda cadeia de valor do hidrogênio.

Posto isto e considerando a evolução exponencial da economia do hidrogênio, o presente relatório tem como objetivo central apresentar um estudo analítico do acompanhamento sistemático do setor, apresentado no [Informativo Setorial de Hidrogênio do GESEL](#), atentando para as principais políticas públicas, diretrizes, projetos, inovações tecnológicas e regulatórias de toda cadeia de valor do hidrogênio.

Destaca-se que este Observatório de Hidrogênio apresenta duas análises relevantes para a economia do hidrogênio, sendo:

- i. O Panorama de desenvolvimento e políticas públicas do setor de transportes com os veículos à células a combustível (FCEVs); e
- ii. Iniciativas relacionadas ao *blending* de hidrogênio em gasodutos.

Cenário Brasileiro

Em comparação com o resto do mundo, o Brasil possui características singulares para se tornar um hub de hidrogênio. Segundo [Castro \(2021\)](#), esta possibilidade por decorre de dois vetores. O primeiro se refere à capacidade de produção total de energia eólica e solar, estimada em 1.300 GW, considerando que, atualmente, o país possui 20 GW e 4,7 GW de capacidade instalada destas fontes, respectivamente, o que demonstra o enorme potencial que ainda pode atingir. O outro vetor está relacionado à robustez do modelo de contratação e do marco regulatório do setor elétrico, o que determina um baixo risco de investimentos devido à sua fundamentação e segurança.

Diante das perspectivas de desenvolvimento, o potencial de produção de hidrogênio verde (H2V) no Brasil poderá atender a demanda interna de diversos países, notadamente da União Europeia (UE), que, por apresentar um baixo potencial para energias renováveis, terá que importar este insumo para atingir a neutralidade de emissão de CO2 até 2050. Dentre os países da UE, destaca-se a Alemanha como potencial mercado da commodity hidrogênio. O país é o maior emissor de CO2 da região e estima-se que 90% da necessidade de H2V para 2050 deverá ser importada, com o objetivo de garantir a estruturação de um economia de baixo carbono e a segurança do fornecimento de energia.

Cenário Brasileiro

Aceitação Pública e Formação de Recursos Humanos

Com as iniciativas de construção de uma economia de hidrogênio ganhando força, ações que promovem a aceitação pública e a formação de recurso humanos estão se tornando cada vez mais frequentes. Cabe salientar que este é um aspecto essencial para a utilização ampla do hidrogênio na economia, uma vez que a conscientização sobre os problemas climáticos e suas respectivas solução são fatores essenciais para o sucesso deste novo mercado.

Neste sentido, destacam-se dois cursos de hidrogênio realizados no mês de setembro: o curso “Hidrogênio e Transição Energética”, promovido pela Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha (AHK), em parceria com o Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL), e o curso “Introdução ao Hidrogênio Verde” ministrado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). Os cursos visam contribuir para desmistificar aspectos relacionados à segurança e ao transporte do hidrogênio, bem como abordar questões voltadas para os aspectos técnicos, econômicos, regulatórios e de experiências internacionais desta nova economia.

O curso da AHK, que já está em sua segunda turma, foi realizado com o objetivo de fomentar a mão de obra especializada. Este curso foi dividido em seis blocos, os quais abordaram o contexto da transição energética, o desenvolvimento da economia do hidrogênio, os modelos regulatórios e as políticas públicas, assim como a experiência nacional e internacional com o hidrogênio. Durante o curso, foram debatidas as principais tendências das economias mundiais na implementação do mercado do hidrogênio, além de seus principais benefícios, barreiras e desafios.

A iniciativa do SENAI, por sua vez, é um curso de iniciação profissional que visa fornecer uma visão abrangente de toda a cadeia de valor do hidrogênio e apresentar as oportunidades deste novo mercado. Os principais conteúdos abordados envolvem o hidrogênio na transição energética, a tecnologia de célula a combustível, a definição e explicação do conceito Power-to-X, a integração do hidrogênio com as energias renováveis, os veículos movidos por células a combustível e abastecimento de hidrogênio, as tecnologias de transporte sustentável do hidrogênio, entre outros.

Cenário Internacional

O mundo passa por um processo de transformação dos padrões de produção e consumo em que o principal driver é a descarbonização. Isso se deve ao aumento da conscientização humana sobre os impactos socioambientais advindo das ações antrópicas. Neste sentido, o Acordo de Paris, firmado em 2015, é considerado um marco histórico na busca pelo desenvolvimento sustentável, haja vista que os países tiveram de se comprometer a reduzir, de forma acentuada, as emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Para atingir tais metas se faz necessária uma transição energética profunda, capaz de descarbonizar, inclusive, o setor de transporte e a indústria, responsáveis, em conjunto, por cerca de 46% das emissões de GEE.

Neste contexto, o hidrogênio surge como a principal alternativa para descarbonizar, de forma profunda e transversal, o setor energético. O hidrogênio é um elemento capaz de promover um acoplamento setorial, podendo, gradativamente, substituir o petróleo.

Este movimento de transformação tem sido liderado pelos países da União Europeia, grandes consumidores de energia fóssil, provenientes do gás natural e do carvão, por exemplo. Porém, devido à perspectiva de enorme demanda de hidrogênio de baixo carbono e da falta de potencial para produção deste elemento, emerge o desenvolvimento da economia do hidrogênio.

O desenvolvimento desta economia faz com que surja países produtores e exportadores de hidrogênio, bem como aqueles que, por necessidade, desejam importar o H₂. Destaca-se que esse cenário apresenta uma nova oportunidade para países com elevado potencial de produção de energia renovável, como Brasil, Chile, Austrália, Arábia Saudita, países do norte da África, dentre outros, tendo em vista que podem produzir e exportar hidrogênio verde ou de baixo carbono.

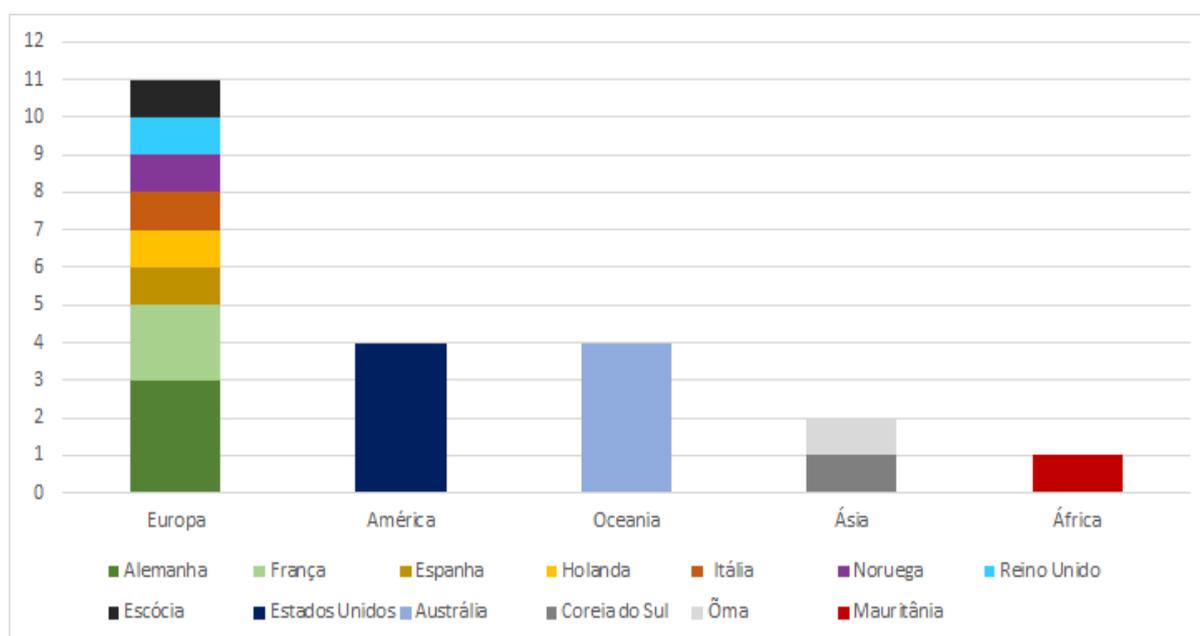
A Economia de Hidrogênio no Mundo

Projetos de Hidrogênio

O hidrogênio vem se estabelecendo como um vetor indispensável para a transição energética, de forma que todos os continentes estão em busca de criar um mercado deste gás. Considerando que se trata de uma economia nascente e de tecnologias disruptivas, capazes de impactar inúmeros setores produtivos, para que um mercado seja criado, devem ser executados projetos que promovam o desenvolvimento tecnológico e das infraestruturas necessárias, além de aspectos regulatórios.

Apesar de todos os continentes estarem se comprometendo com o desenvolvimento do hidrogênio, é notável que a maior parte dos projetos está sendo realizada na Europa, conforme demonstrado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Distribuição de Projetos Identificados em agosto de 2021 por continentes e países.



Fonte: Elaborado pelos autores.

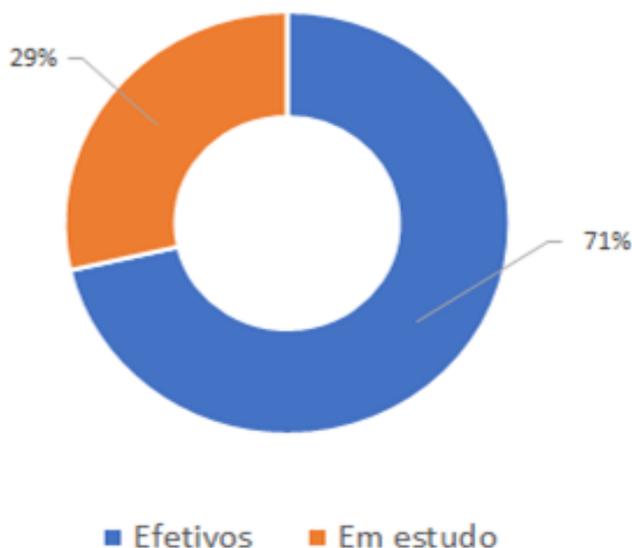
No continente europeu, a Alemanha é um país que constantemente está em destaque. Com três novos projetos identificados no mês analisado, o país continua a desenvolver a infraestrutura do gás na sua localidade. Ademais, é válido salientar que todos os projetos são de hidrogênio verde, o que demonstra o comprometimento da Alemanha com a descarbonização e o meio ambiente.

Desviando-se da realidade europeia, outros países que merecem destaque são os Estados Unidos e a Austrália. Em relação aos Estados Unidos, o país já contém uma infraestrutura e um mercado de hidrogênio bastante desenvolvidos, porém atrelados ao consumo de hidrogênio cinza. Todavia, com o anúncio de incentivos renováveis nos últimos meses, é perceptível a crescente busca por projetos mais sustentáveis. Dos quatro novos projetos identificados no mês de setembro, três são de hidrogênio verde.

Em relação à Austrália, um país que contém grande potencial para a produção de energia renovável, foram identificados quatro novos projetos, sendo o único país da Oceania a estar presente no Gráfico 1. O país vem se comprometendo rigorosamente com o desenvolvimento do mercado de H₂V e, por isso, todos os novos projetos que foram identificados correspondem com esta classificação.

Por ser uma economia emergente, muitos projetos limitam-se apenas a memorandos de entendimento ou estudos preliminares, mas há aqueles que já possuem um desenvolvimento concreto. O Gráfico 2 apresenta essa distribuição percentual de projetos em estudo ou efetivos.

Gráfico 2 - Classificação dos projetos identificados pelo status de desenvolvimento.

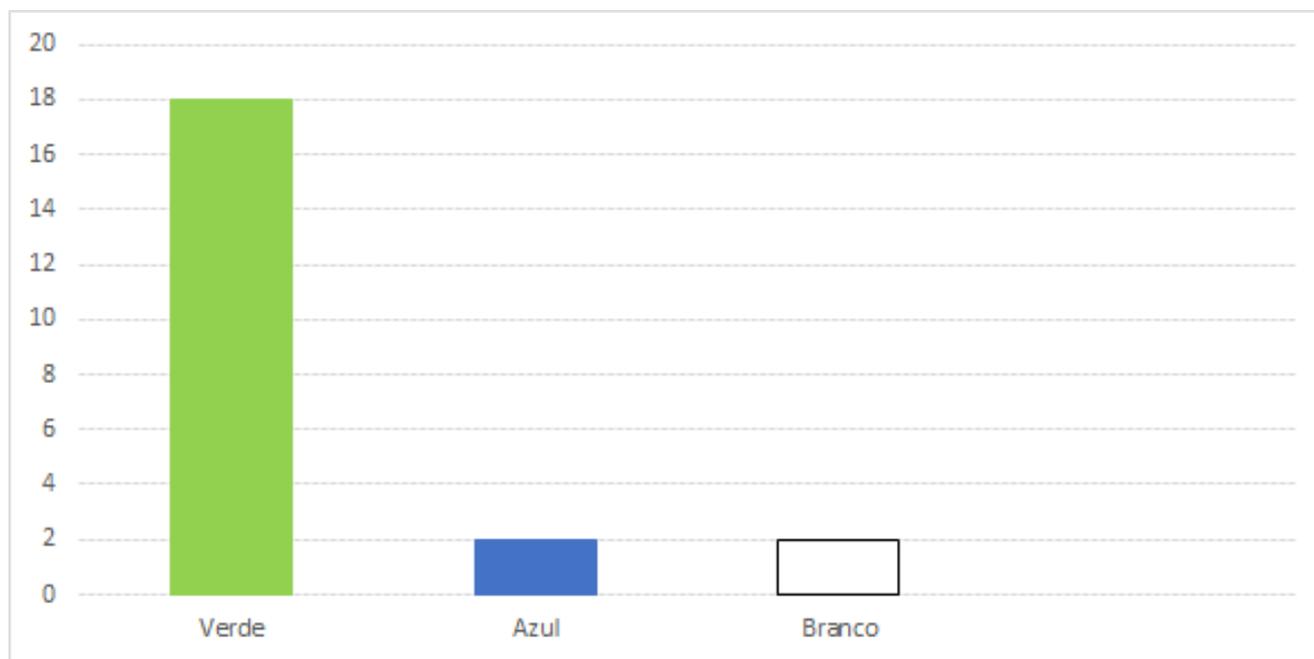


Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se que 22 projetos foram identificados, sendo 14 já em fase de efetivação e os outros 8 ainda em fase de estudo. Ademais, vale ressaltar que, dos projetos efetivos, todos são projetos-piloto, o que também é observado nos projetos na fase de estudo. Foi possível identificar, ainda, a predominância de projetos de hidrogênio verde nas duas fases.

Tendo em vista o comprometimento mundial com a transição energética atrelada à descarbonização, os países vêm desenvolvendo, em sua maioria, projetos de hidrogênio verde. Neste sentido, dos 22 novos projetos, 18 tem como objetivo principal produzir o gás de maneira renovável a partir de fontes limpas de energia e com emissões nulas de gases de efeito estufa, ou seja, o hidrogênio verde. No entanto, ainda há projetos que visam a produção de hidrogênio de maneira não renovável, com a rota do hidrogênio azul ou utilizando processos de reforma de resíduos, com a rota do hidrogênio branco, como mostra o Gráfico 3.

Gráfico 3 – Classificação da cor do hidrogênio dos Projetos Identificados



Fonte: Elaborado pelos autores.

Consoante aos projetos de hidrogênio verde, é importante informar sobre a origem da energia, que é bastante variada. Nestes projetos, verifica-se energia hidrelétrica, biomassa, solar e eólica, com ênfase, principalmente, às duas últimas. Ademais, ainda sobre a energia eólica, alguns projetos estão investindo em usinas *offshore*, especialmente no Mar do Norte, as quais, apesar do maior custo, são uma alternativa para os países que já esgotaram todo ou quase todo o potencial desta fonte *onshore*.

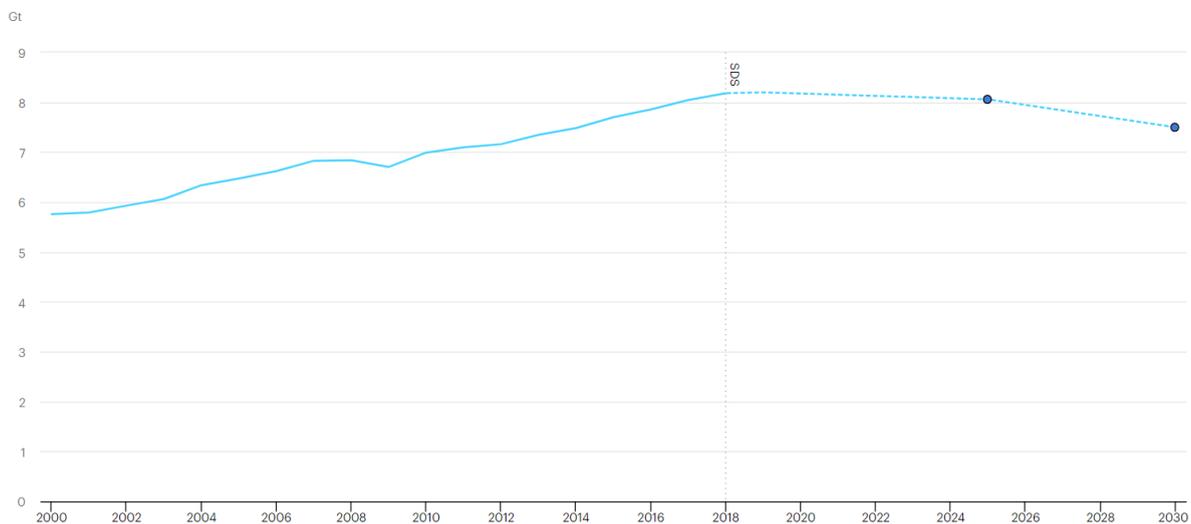
Por fim, no que diz respeito aos outros projetos, vale salientar o método de produção que foi utilizado, a matéria prima e a fonte de energia. Em relação ao hidrogênio azul, foi utilizado o gás natural submetido ao processo de reforma a vapor do metano, com a posterior captura de carbono pelo método do CCS, que captura uma quantia de aproximadamente 90% do carbono emitido. Por sua vez, no caso do hidrogênio branco, produzido a partir de rejeitos de plásticos, também foi utilizada a tecnologia de reforma a vapor.

Uso Final do Hidrogênio

O hidrogênio é vetor energético essencial para a promoção da descarbonização da economia, notadamente em setores de difícil redução de emissões, como a indústria e o transporte. Segundo dados da IEA de 2020, cada um desses setores é responsável por cerca de 23% das emissões de CO₂ a nível mundial, ficando atrás apenas do setor de energia elétrica, responsável por 40% das emissões. Desta forma, para que as metas firmadas no Acordo de Paris sejam cumpridas, faz-se necessária a utilização ampla do hidrogênio nesses setores. Foram identificados alguns desenvolvimentos notórios no que diz respeito às aplicações de hidrogênio, com destaque para o setor de transportes.

Este setor é considerado altamente estratégico para a descarbonização da sociedade, pois emite quantidades expressivas de gases do efeito estufa, haja vista que suas tecnologias dependem, quase que exclusivamente, de combustíveis fósseis. Neste sentido, as emissões diretas de CO₂ do setor de transportes estão representadas no Gráfico 4 e demonstram que, apesar da possibilidade de uma redução considerável do gás produzido e lançado para a atmosfera, ainda haverá mais de 7 Gt por volta de 2030, mesmo seguindo um caminho de desenvolvimento sustentável (IEA, 2020).

Gráfico 4 – Emissões diretas de CO₂ do setor de transporte no cenário de desenvolvimento sustentável (2000–2030).



Fonte: [IEA \(2020\)](#).

Assim, tendo em vista que o hidrogênio é um vetor energético capaz de descarbonizar o setor de transportes, em especial o transporte pesado, investimentos devem ser realizados para que sejam desenvolvidas as infraestruturas de recarga, as inovações e os aprimoramentos tecnológicos.

Atualmente, o cenário de desenvolvimento do transporte de Fuel Cell Vehicle (FCEVs ou Veículos Elétricos de Célula a Combustível) está em estágio inicial, porém em crescimento, como detalhado na seção seguinte.

Cenário Internacional de Mobilidade com H2 - FCEVs

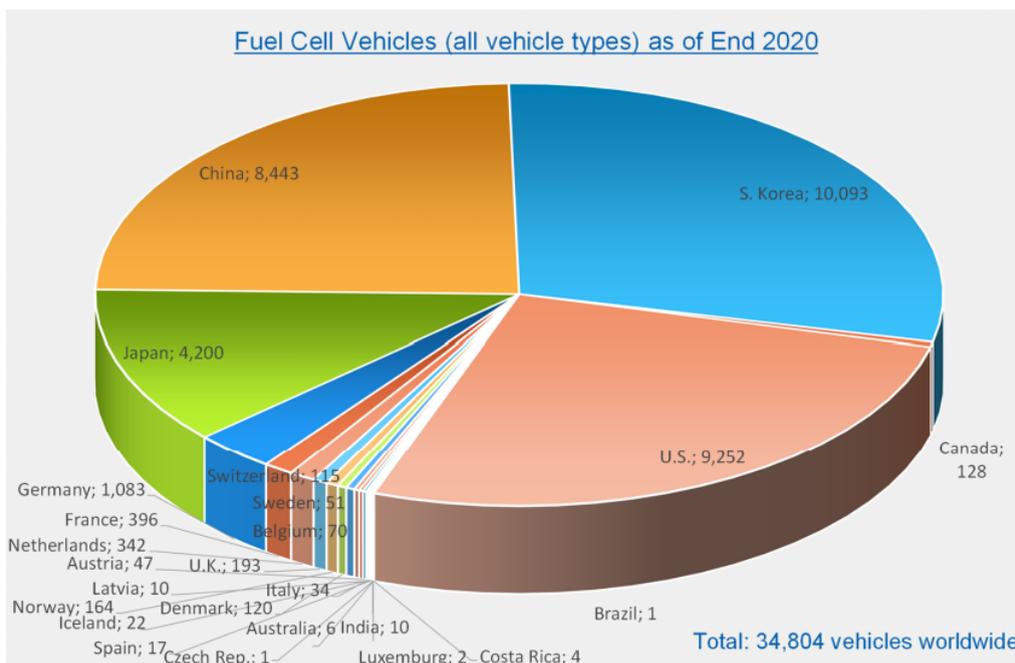
As tecnologias de células a combustível permitem a conversão altamente eficiente de hidrogênio em calor e energia. Destaca-se que, no setor de transportes, elas podem ampliar o portfólio de veículos elétricos, contribuindo para o processo de transição das frotas de veículos à combustão, especialmente os pesados.

Os FCEVs possuem algumas vantagens quando comparados aos veículos puramente elétricos, de forma que são tecnologias que se complementam e que somarão esforços para descarbonizar o setor de transportes. De maneira geral, sabe-se que os FCEVs são capazes de realizar o reabastecimento em curto espaço de tempo, assim como os veículos atuais, sendo uma vantagem direta aos veículos puramente elétricos. Além disso, a maior autonomia e a redução do peso são aspectos que viabilizam a transição de transportes mais pesados, caracterizados pelas longas viagens e pelo carregamento de cargas diversas.

Status de desenvolvimento dos veículos de célula a combustível no Mundo

Uma análise dos dados coletados até o final de 2020 indica que 34.804 veículos de célula a combustível (FCEVs) de todos os tipos estavam em operação. Este total inclui automóveis de passageiros, ônibus, veículos comerciais leves e médios e caminhões de serviço pesado. O Gráfico 5 apresenta o número de veículos em diferentes países.

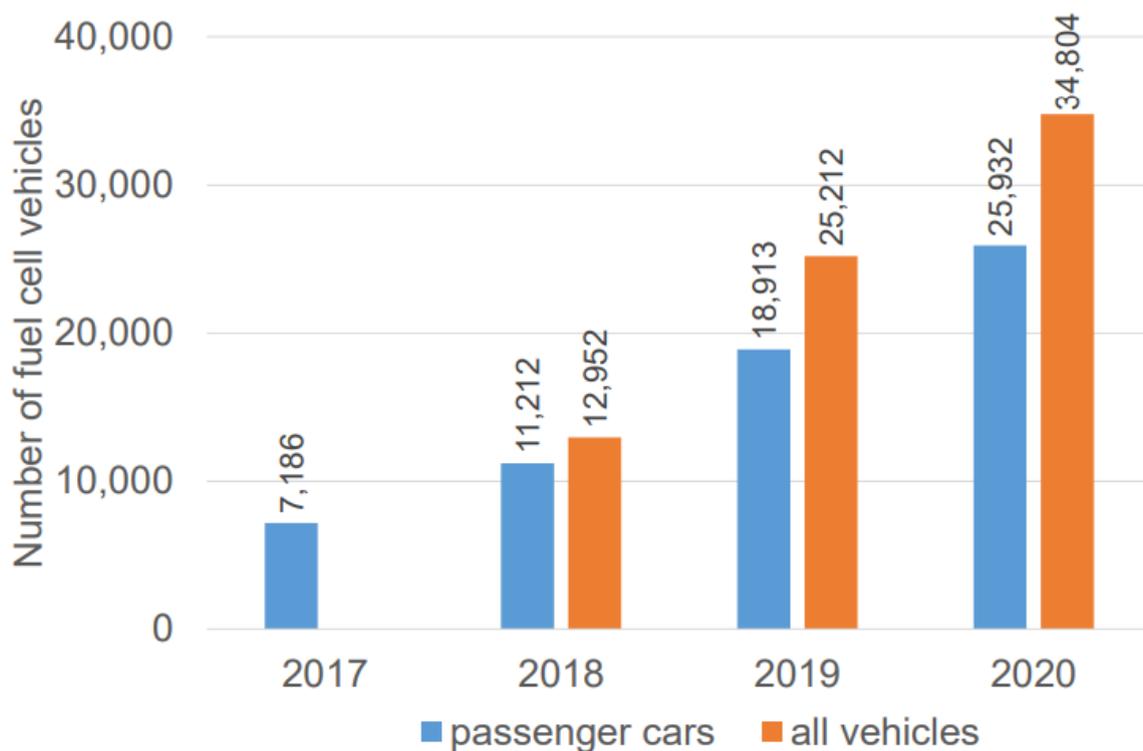
Gráfico 5 – Quantidade de FCEVs por país no final de 2020.



Fonte: [IEAfuelCell \(2021\)](#).

Percebe-se que a maior parte dos veículos se encontra na Coreia do Sul, seguida por EUA, China e Japão. Em termos de distribuição continental, 65% dos veículos estão na Ásia, seguidos de 27% na América do Norte e 8% na Europa. O mix de veículos é dominado por automóveis de passageiros (74,5%), seguidos por ônibus (16,2%) e caminhões médios (9,1%). No que tange a característica da evolução nos últimos anos, o Gráfico 6 apresenta, além dos dados gerais, a parcela de FCEVs de passageiros em relação ao todo, caracterizando a priorização do mercado atualmente.

Gráfico 6 - Evolução do mercado de FCEVs



Fonte: [IEAfuelCell \(2021\)](#).

Diante deste cenário de utilização de veículos de passageiros, foram identificados os principais FCEVs do mercado mundial e suas características, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Veículos FCEV de passageiro mais comercializados.

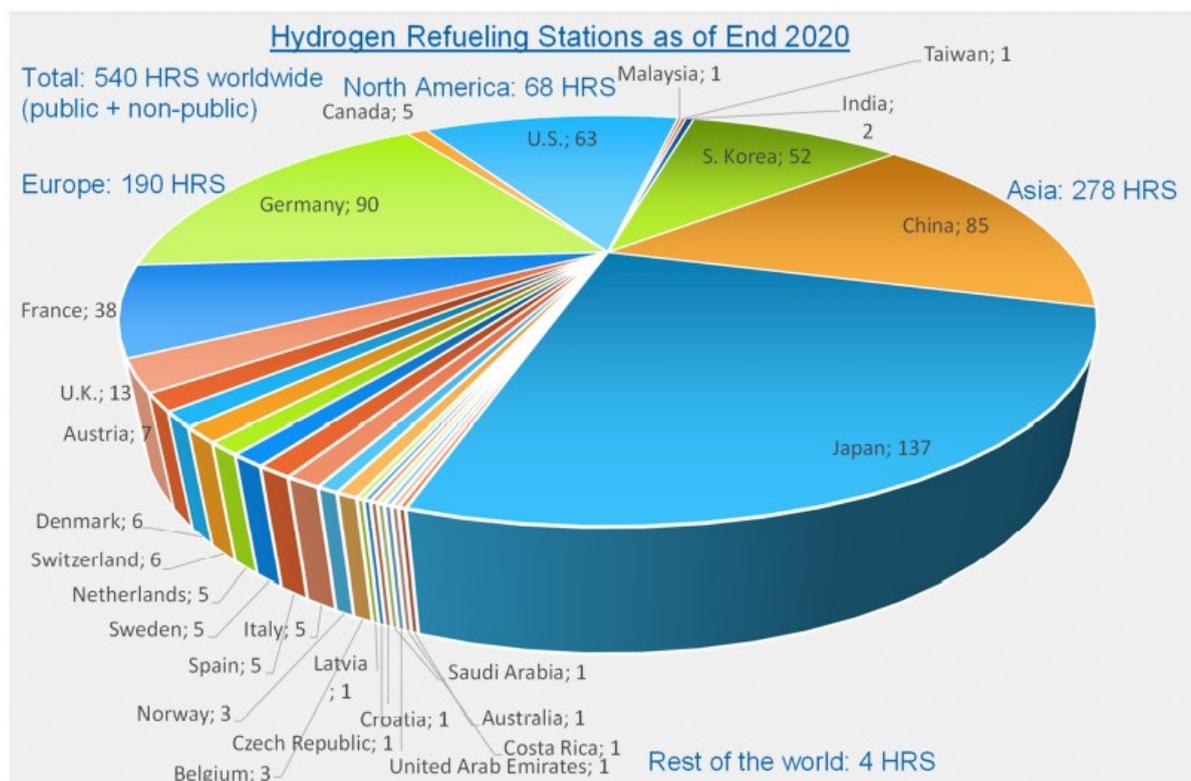
| FCEV | Toyota Mirai | Hyundai Nexo | Honda Clarity | Mercedes-Benz GLC |
|---------------------------|--------------|-------------------|---------------|-------------------|
| Autonomia (km) | 650 | 700 | 650 | 500 |
| Capacidade do Tanque (kg) | 5,5 | 6,33 | 5,46 | 4,4 |
| Pressão (bar) | 700 | - | 700 | 700 |
| Bateria | Lítio-íon | Lítio-íon Polymer | Lítio-íon | Lítio-íon |

Fonte: [IEAfuelCell \(2021\)](#).

Status de Desenvolvimento da Infraestrutura de Recarga de Hidrogênio

No final de 2020, 540 Hydrogen Refueling Stations (HRSs) estavam em operação, incluindo instalações públicas e privadas. Uma análise baseada em continente revela que a maioria dos HRSs está concentrada na Ásia, com um total de 278, seguida pela Europa, com 190, e pela América do Norte, com 68. O Gráfico 7 apresenta a distribuição de HRSs por país, sendo perceptível essa distribuição.

Gráfico 7 – Evolução do mercado de FCEVs.



Fonte: [IEAfuelCell \(2021\)](#).

Observa-se que o Japão lidera em número de HRSs, seguido por Alemanha e China. Destaca-se que esses são os países com maior participação de HRSs públicas, sendo 100% das estações do Japão e da Alemanha e 77% da China. Do ponto de vista técnico, a maioria das estações para abastecimento de veículos leves opera com pressão de 700 bar, sendo as de 350 bar voltadas, principalmente, para o abastecimento de ônibus. A título de exemplo, a Europa possui 145 estações públicas, das quais 127 operam a 700 bar para veículos leves e 16 a 350 bar para ônibus. Salienta-se que há, ainda na União Europeia, 46 estações de 350 bar para abastecimento de veículos leves, sendo que algumas estão em conjunto com aquelas de 700 bar.

A Figura 1 apresenta um mapeamento europeu com a atualização, em tempo real, das estações de abastecimento de hidrogênio. No mapa, é possível observar as estações que estão em operação ou não, além de informações referentes à quantidade de abastecimento.

Figura 1 – Mapa das HRS presentes na Europa em 2021.



Fonte: H2.live (2021).

Diante deste contexto da mobilidade de FCEVs ao redor do mundo e considerando que o setor de transportes é essencial para o atingimento das metas climáticas, inovações em toda a cadeia produtiva têm ocorrido, notadamente no que tange ao aprimoramento das células a combustível e ao desenvolvimento de infraestruturas de recarga.

Algumas notícias em destaque foram selecionadas para apresentar as principais inovações e iniciativas no setor.

Europa

Lançamento de nova geração de módulos de potência 40% mais eficientes

Uso final: Uso de H2 em a Células a Combustível

Uma nova geração de módulos de potência de célula a combustível a hidrogênio para serviços pesados foi lançada pela empresa Ballard Power Systems, com o objetivo de melhorar a eficiência dos ônibus e dos caminhões médios e pesados. A nova geração da linha FCmove™ da companhia possui uma potência de 100 kW e fornece aos ônibus e caminhões um sistema menor, mais leve, mais eficiente e com menor custo de integração. Além disso, a linha também foi desenvolvida para ter uma melhoria de 40% no custo do ciclo de vida geral, fornecendo um incentivo à transição para o novo módulo de energia da Ballard.

Para mais informações sobre essa notícia, acesse:

[Ballard](#)

Estados Unidos

Relatório aponta que a Califórnia pode ter 100 estações de hidrogênio até o final de 2023.

Uso final: Uso de H2 em a Células a Combustível

O relatório anual de hidrogênio do California Air Resources Board (CARB) aponta que o estado da Califórnia pode cumprir sua meta de ter 100 estações de hidrogênio até o final de 2023, além de possuir mais de 176 postos de hidrogênio abertos até 2026. Esta capacidade de abastecimento seria suficiente para cerca de 250.000 veículos elétricos à célula a combustível a hidrogênio no estado. De acordo com os planos de implantação, até 2027, a expectativa é que se tenham cerca de 61.100 FCEVs, sendo um quarto da capacidade de atendimento diários dos postos de HRSs.

Para mais informações sobre essa notícia, acesse:

[Relatório de Hidrogênio CARB](#)

Armazenamento e Transporte

O armazenamento e o transporte do hidrogênio é de extrema importância para o desenvolvimento desta economia, de forma que romper os desafios técnicos e econômicos para viabilizar a exportação e promover a transição gradual do suprimento de gás natural a partir do blending com o hidrogênio verde são essenciais. Diante disso, esta seção apresenta o estágio atual de desenvolvimento deste setor, com destaque para alguns projetos e iniciativas.

Gasodutos

Os gasodutos são tubulações utilizadas no transporte de gás industrial, especialmente o gás natural, para alimentar indústrias, residências, veículos, etc. Segundo o relatório [WEC \(2020\)](#) o transporte de hidrogênio em gasodutos apresenta as seguintes vantagens:

- Alta capacidade de transporte;
- Economia para grandes volumes;
- Integração de armazenamento de H2 em grande escala e custo-benefício;
- Possível remodelação de dutos existentes.

Neste contexto, tendo em vista os desafios técnicos, econômicos e regulatórios que a implementação deste uso traz, os financiamentos públicos, a gestão da transição e a harmonização regulatória com os mercados existentes são essenciais para viabilizar este mercado.

A mistura de hidrogênio é geralmente considerada no nível da rede de distribuição, embora haja uma tendência para blending ou construção de dutos dedicados para a rede de transporte. Destaca-se que os operadores de transporte de gás sinalizaram que partes substanciais da atual infraestrutura do gasoduto podem ser adaptadas para transportar hidrogênio (WEC, 2020).

Alguns países, como a Holanda, consideram a criação de uma espinha dorsal de dutos de hidrogênio, inclusive para o trânsito a países vizinhos na próxima década, aproveitando a sua infraestrutura existente (WEC, 2020). O [estudo de caso da ASEAN](#) mostra que para o setor de energia de Cingapura, o hidrogênio comprimido via gasodutos é mais favorável, com uma redução de carbono de 54% a 59%, a um preço de US\$ 0,3/kg de CO2 evitado.

Além disso, a mistura de hidrogênio na rede de gás natural, principalmente no nível de distribuição, é considerada por estratégias de alguns países, como Alemanha, Reino Unido, Austrália e Holanda, uma opção adicional para integrar o hidrogênio na infraestrutura de gás existente. Em contraste, a mistura de hidrogênio na rede de gás no nível de transporte de alta pressão é explicitamente excluída ou adiada pela estratégia britânica e australiana, devido a problemas técnicos operacionais e de segurança esperados (WEC, 2020).

Atualmente, diversos projetos de transporte do hidrogênio a partir de gasodutos estão sendo colocados em pesquisa, construção e operação.

Europa

EP Infrastructure, Eustream, NAFTA e RWE assinam memorando para desenvolvimento de transporte de hidrogênio por dutos.

Uso final: Transporte de hidrogênio por dutos

As empresas assinaram um memorando de ação conjunta para explorar o desenvolvimento da instalação que poderia apoiar as importações de hidrogênio azul para a Europa Ocidental através de um sistema de dutos. Previsto para ser transportado para a Alemanha por meio de um gasoduto reaproveitado da Eustream, o projeto apoiará o desenvolvimento do hidrogênio no país e, também, na Eslováquia, além de impulsionar a economia na Europa. As empresas estão criando um grupo de trabalho conjunto, com um roteiro para a implementação do projeto, e manterão diálogos com as partes interessadas relevantes, principalmente na Ucrânia, na República Tcheca e na Áustria, nos próximos meses.

Para mais informações sobre essa notícia, acesse:

[Eustream](#)

Austrália

Governo de Western está apoiando a pesquisa da APA para avaliar o transporte de hidrogênio por gasoduto.

Uso final: Transporte de hidrogênio por dutos

projeto visa testar o transporte de 100% de hidrogênio em 43 km do Gasoduto Parmelia, para estudar a sua viabilidade e o seu potencial na descarbonização de residências. Se bem-sucedido, a iniciativa poderá abrir outro caminho para o hidrogênio ser transportado por longas distâncias, além de fornecer uma ampla gama de clientes. Com os resultados positivos da primeira rodada de testes, o Governo da Austrália Ocidental está fornecendo um aumento de 220.000 dólares australianos nos esforços de pesquisa na segunda rodada de testes.

Para mais informações sobre essa notícia, acesse:

[APA](#)

Políticas Públicas e Financiamentos

A economia de hidrogênio está em estágio inicial de desenvolvimento e, por isso, o seu sucesso depende da ação conjunta entre as iniciativas públicas e privadas. O setor privado é responsável, principalmente, pelo desenvolvimento tecnológico e sua respectiva produção e implementação. Já com relação ao papel do poder público, este atua como um agente catalisador do mercado, garantindo os incentivos adequados e, assim, reduzindo as incertezas de caráter técnico, econômico e socioambiental (VIEIRA *et al.*, 2021). Apesar dessa interação e do reconhecimento do hidrogênio como um vetor energético fundamental para a descarbonização, atualmente, os seguintes fatores são identificados como as principais barreiras para o desenvolvimento da economia do hidrogênio:

- (i) Aspectos normativos e regulatórios;
- (ii) Alto custo de investimento;
- (iii) Incertezas tecnológicas; e
- (iv) Infraestruturas incipientes em toda a cadeia de valor.

Diante disso, políticas públicas de incentivo são essenciais para viabilizar o desenvolvimento da economia do hidrogênio.

Políticas públicas no setor de transportes – FCEVs

Fonte: [IEAfuelCell \(2021\)](#).

Estados Unidos

Nos EUA, existem diferentes subsídios para promover o uso de veículos movidos à célula a combustível a hidrogênio, dentre os quais se destacam:

- ✓ *Internal Revenue Service (IRS)*, que oferece um crédito fiscal de até US\$ 8.000, em nível federal, para a compra de veículos de célula a combustível leves qualificados. Com base no peso do veículo, os créditos fiscais também estão disponíveis para veículos com células a combustível de serviço médio e pesado.
- ✓ *Clean Vehicle Rebate Project*, uma iniciativa administrada pelo CARB, que oferece descontos para veículos elétricos leves (compra ou aluguel), híbridos *plug-in* novos e outros veículos de emissões. No que tange ao uso de células a combustível, são elegíveis para o desconto de US\$ 4.500 os modelos Honda Clarity Fuel Cell, Hyundai Nexo e Toyota Mirai FCEVs.
- ✓ *Connecticut Hydrogen and Electric Automobile Purchase Program (CHEAPR)*, que oferece descontos contra os custos incrementais de compra ou aluguel de FCEVs, entre outros. Para veículos com célula a combustível, o preço de varejo sugerido pelo fabricante não pode exceder US\$ 60.000 e, em geral, o valor do desconto totaliza US\$ 5.000.

Japão

No Japão, os subsídios para a compra de veículos com célula a combustível variam de JPY 1.173.000 (Toyota Mirai “nova versão”) a JPY 2.100.000 (Honda Clarity Fuel Cell) e alguns governos locais oferecem subsídios adicionais. A saber, o preço de compra de um Toyota Mirai Novo varia entre JPY7.100.000 e JPY8.100.000, enquanto o Clarity Fuel Cell da Honda apresenta um preço de compra de JPY 7.800.000.

Canadá

Os preços dos veículos com célula a combustível disponíveis no Canadá são CAD 73.000 para o Hyundai Nexo e CAD 73.800 para o Toyota Mirai, com um incentivo federal de CAD 5.000 aplicado aos FCEVs. Além disso, vários incentivos estão disponíveis em diferentes regiões. Em Quebec, os incentivos variam entre CAD 3.000 e CAD 8.000, dependendo do preço do veículo.

Europa

Espanha

Os FCEVs recebem um subsídio de até € 6.000 no país, considerando um preço total de cerca de € 72.000.

Itália

O chamado “Eco bônus” varia entre € 10.000 e € 6.000, dependendo se a compra é realizada com ou sem sucateamento. Neste programa, o preço máximo dos automóveis novos adquiridos não deve exceder € 61.000.

França

Recentemente, o incentivo financeiro para a compra de FCEVs foi aumentado de € 6.000 para € 7.000.

Áustria

O Hyundai NEXO está disponível apenas para clientes com uma ligação profissional à indústria do hidrogênio, enquanto o Toyota Mirai é acessível ao público por € 59.900. Verifica-se que há isenção do imposto padronizado sobre consumo, do imposto sobre seguros de motores e do imposto sobre os veículos. Além disso, é aplicada uma redução do imposto à montante se o preço de compra do veículo for inferior a € 40.000. Outros incentivos podem estar elegíveis a depender da região do país.

Dinamarca

Os carros a hidrogênio estão isentos das taxas de registro iniciais no país. O Toyota Mirai está disponível por preços entre DKK 499.990 e DKK 589.990.

Alemanha

A Alemanha possui bônus ambientais que são elegíveis para alguns FCEVs. No país, encontram-se modelos da Hyundai, da Mercedes-Benz e da Toyota. Destaca-se que a primeira versão do Toyota Mirai não é elegível ao benefício, porém a segunda já se enquadra. Os veículos matriculados pelas empresas até 31 de dezembro de 2021 estarão elegíveis, também, ao bônus de inovação.

Veículos que custam até € 40.000 recebem incentivos de € 6.000 do governo federal para compra, € 1.500 para locação de 6 a 11 meses, € 3.000 para locação de 12 a 23 meses e de € 6.000 para locação de período superior a 23 meses.

Além disso, € 3.000 são fornecidos pelos fabricantes, de modo que o incentivo poderá ser da ordem de € 9.000 para a compra de um veículo novo.

Conforme o preço do veículo aumenta, por exemplo de € 40.000 a € 65.000, os incentivos caem, podendo chegar a, no máximo, € 7.500 para automóveis novos.

China

Na China, os incentivos para a compra de FCEVs fornecidos pelo governo foram encerrados em abril de 2020. No entanto, o poder público pretende iniciar um novo programa em cidades selecionadas.

Políticas públicas – outras iniciativas

Reino Unido

Neste contexto de incentivos governamentais ao hidrogênio, a estratégia do Reino Unido, lançada no mês de agosto, continua desenvolvendo mercado e atrai oportunidades e estudos, como foi o caso do evento realizado pela Universidade de Sheffield, denominado “[A Estratégia de Hidrogênio do Reino Unido: Explorando as oportunidades e os desafios de P&D](#)”. A ocasião reuniu líderes da indústria, investidores, inovadores, pesquisadores acadêmicos e formuladores de políticas, para entender os desafios e as oportunidades que surgem da Estratégia de Hidrogênio e do aumento da sua demanda global, além de identificar os principais desafios e oportunidades de P&D que precisam ser enfrentados para impulsionar a indústria do Reino Unido no fornecimento de novos produtos e tecnologias que irão sustentar uma economia de hidrogênio bem-sucedida. Ademais, a força-tarefa do país anunciou que estabelecerá um auxílio para a estratégia do vetor energético, por meio de um novo centro de informações, que conterà os dados a serem compartilhados com formuladores de políticas e autoridades, como forma de difundir as possibilidades em relação à implantação do hidrogênio com baixo teor de carbono.

Estados Unidos

O Governo do Estado de Nova York, nos Estados Unidos, assinou uma nova [lei](#) que banirá veículos movidos a combustíveis fósseis em 2035. Vale mencionar que o estado da Califórnia já havia tomado esta medida anteriormente. Além disso, o Senador Joe Manchin, da Virgínia Ocidental, garantiu [investimentos](#) de, pelo menos, U\$ 3,8 bilhões para o desenvolvimento de centros de produção de hidrogênio, com a intenção de acelerar o mercado e reduzir os custos dos eletrolisadores para chegarem a um custo competitivo. Já a Lei de Infraestrutura de Energia, aprovada pelo Senado no início do mês de setembro, como parte do Projeto de Infraestrutura Bipartidário, pretende atualizar a infraestrutura de energia dos EUA e gera grande expectativa para mais investimentos na indústria do hidrogênio.

Luxemburgo

A [Estratégia Nacional de Luxemburgo](#), visando a descarbonização de setores difícil redução de emissões e ainda apostando na eficiência energética para reduzir a demanda de energia. O país consome anualmente cerca de 450 toneladas de hidrogênio produzido através de fontes fósseis de energia, e o objetivo imediato da estratégia é utilizar a tecnologia de CCUS para reduzir mais de 5 mil toneladas de emissões de gases do efeito estufa, com a etapa seguinte sendo a utilização do hidrogênio para a descarbonização gradual de setores estratégicos.

Austrália

A [IRENA](#) assinou um acordo de parceria com o Conselho de Hidrogênio da Austrália (Hydrogen Council), que possui mais de 120 membros de toda a cadeia de valor do hidrogênio, para promover, conjuntamente, o H2V no sistema de energia australiano e realizar uma contribuição significativa para as metas de zero emissões globais líquidas. Ademais, de acordo com o [Unlocking Australia's Hydrogen Opportunity](#), documento publicado pelo *Hydrogen Council* em 27 de setembro, a indústria emergente do hidrogênio exige uma abordagem regulatória adequada para se desenvolver, com flexibilidade para atuar em todos os setores e jurisdições. A tarefa, portanto, precisará de um planejamento de toda a economia que trate da produção, distribuição e vários usos de hidrogênio, e modo a estabelecer a base para desenvolvimentos regulatórios e a participação da comunidade, necessitando de financiamentos.

Coreia do Sul

Foi fundado, no dia 8 de setembro, o [Conselho Nacional de Hidrogênio](#), cujo objetivo é desenvolver a cadeia de valor do hidrogênio e apoiar o seu crescimento na Coreia do Sul. Atualmente, com um total de 15 empresas sediadas no país, o desenvolvimento deverá ocorrer em todos os elos da cadeia: produção, transporte, armazenamento e uso do hidrogênio.

Considerações Finais

Após a análise, é concluído que novos projetos de hidrogênio estão sendo desenvolvidos constantemente, principalmente relacionados à produção do gás de maneira renovável, o hidrogênio verde. Neste cenário, a Europa é o continente que mais se compromete com novos projetos, entretanto outros países estão em constante desenvolvimento e também precisam ser destacados, como os Estados Unidos e a Austrália.

Considerando o estágio emergente da economia do hidrogênio, usos finais existentes, como o transporte a partir de FCEVs, são considerados essenciais, primeiro, para descarbonizar este setor extremamente poluente e, segundo, para promover o ganho de escala e a inovação necessária na cadeia produtiva de H₂V e de baixo carbono. É perceptível como tem avançado, mesmo que a passos lentos quando comparado aos veículos elétricos puros, o mercado de veículos elétrico à célula a combustível. Neste novo mercado, apesar de atualmente a maior parcela ser de veículos leves, há grandes perspectivas de maior aplicação de células a combustível em veículos pesados, como caminhões, ônibus, trens, dentre outros veículos e máquinas de grande porte.

Ademais, assim como o uso em mercados existentes é relevante, o transporte de hidrogênio por meio de gasodutos é, hoje, uma alternativa importante. O *blending* de hidrogênio em até 20%/vol. tem sido considerado uma alternativa viável para as redes de distribuição de gás para indústrias e aquecimento. Em paralelo, outras alternativas para exportação, como o desenvolvimento de navios para transporte de amônia ou de hidrogênio liquefeito, amadurecem.

De maneira geral, deve-se destacar o quanto a economia de hidrogênio vem se desenvolvendo nos últimos anos. Os investimentos crescentes, atrelados a projetos de P&D e à implementação de projetos piloto, impulsionarão o mercado do hidrogênio para que os objetivos climáticos sejam alcançados.



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Observatório de Hidrogênio



@geselufrj



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Observatório de Hidrogênio

Nº 01

SETEMBRO

2021

Observatório de Hidrogênio n° 1

Organizadores

Nivalde de Castro
Sayonara Elizário
Luiza Masseno

Equipe de Pesquisa

Allyson Thomas
Bruno Gonçalves
José Vinicius Freitas
Kalyne Brito
Luana Bezerra
Vinicius Botelho

Revisão Geral

Bianca Castro

Setembro de 2021

Sumário

| | |
|--|----|
| Introdução..... | 5 |
| 1. Cenário Brasileiro..... | 6 |
| 1.1. Programa Nacional de Hidrogênio..... | 7 |
| 1.2. Aceitação Pública e Formação de Recursos Humanos..... | 10 |
| 1.3. Oportunidades para o Brasil..... | 11 |
| 2. Cenário Internacional..... | 13 |
| 2.1. Relatório IEA: <i>Hydrogen in Latin America</i> | 14 |
| 2.2. Economia de Hidrogênio no Mundo | 19 |
| 2.2.1. Projetos de Hidrogênio..... | 19 |
| 2.2.2. Uso Final do Hidrogênio..... | 24 |
| 2.2.3. Políticas Públicas e Financiamentos..... | 27 |
| 3. Considerações Finais..... | 29 |

Introdução

O hidrogênio (H₂) tem sido reconhecido como um importante vetor energético, capaz de promover uma profunda descarbonização da economia mundial, especialmente em segmentos de difícil redução de emissões, como os setores industrial e o de transportes. Neste contexto, a transição energética de uma economia composta majoritariamente por combustíveis fósseis para o hidrogênio verde ou de baixo carbono irá transformar significativamente o setor energético e, ainda, atender a dois requisitos centrais do Acordo de Paris: segurança energética e redução de emissões de gases de efeito estufa.

Diante das potencialidades do H₂, diversos países estão estimulando o desenvolvimento da economia do hidrogênio, como se pode observar pelo crescente anúncio de políticas públicas e projetos demonstrativos em toda a cadeia de valor deste vetor.

Posto isto e considerando a evolução exponencial da economia do hidrogênio, o presente relatório tem como objetivo central apresentar um estudo analítico do acompanhamento sistemático do setor, atentando para as principais políticas públicas, diretrizes e projetos, bem como inovações tecnológicas e regulatórias de toda a cadeia de valor do hidrogênio.

Destaca-se que este Observatório de Hidrogênio apresenta duas análises relevantes para a economia do hidrogênio:

- i. Diretrizes do Programa Nacional de Hidrogênio Brasileiro
- ii. Relatório da IEA “*Hydrogen in Latin America*”.

Cenário Brasileiro

O Brasil possui características singulares, a nível mundial, para se tornar um *hub* de hidrogênio. Neste sentido, após a publicação da Resolução CNPE nº 6/2021, que estipulou um prazo de 60 dias para a definição das diretrizes do Programa Nacional de Hidrogênio (PNH₂), o trabalho tem se intensificado tanto na esfera pública, como na privada.



No que tange a atuação do Estado, o Ministério de Minas e Energia (MME) apresentou ao Conselho Nacional de Políticas Energética (CNPE) o documento “Programa Nacional de Hidrogênio - Proposta de Diretrizes”.

O estudo desenvolvido pelo MME foi realizado em conjunto com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), o Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR) e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

A Proposta de Diretrizes pode ser acessada em: [Diretrizes PNH₂](#)

Fonte: MME, 2021.

Cenário Brasileiro

Programa Nacional de Hidrogênio: PNH2

A estruturação e o desenvolvimento da economia de hidrogênio em um determinado país estão atrelados, essencialmente, às potencialidades de produção, uso doméstico ou exportação do H₂. Deste modo, a disponibilidade de recursos energéticos, renováveis ou não, a infraestrutura existente, a capacidade de financiamento, dentre outras características, são aspectos centrais para o correto posicionamento do país nesta economia.

Tratando especificamente do Brasil, a abundância de recursos energéticos, bem como a possibilidade de uso doméstico ou para exportação, faz com que o país tenha maior flexibilidade no que tange à escolha das melhores rotas de produção de H₂, podendo, assim, acelerar o desenvolvimento desta economia (MME, 2021). Reconhecendo o papel que o hidrogênio terá na busca pelo desenvolvimento sustentável e, mais especificamente, no alcance das metas de neutralidade climática, o Brasil tem como objetivo aumentar a competitividade e a participação do hidrogênio na matriz energética nacional. Para isso, considerando as potencialidades nacionais e as expectativas de desenvolvimento internacional, o Brasil irá estruturar seu programa com base nas seguintes características:

1. Potencial de recursos energéticos (renováveis e não renováveis);
2. Alta participação de fontes renováveis na matriz energética nacional;
3. Infraestrutura de transporte de energia (Sistema Interligado Nacional);
4. Disponibilidade hídrica;
5. Base instalada de potencial consumo na indústria, nos transportes, no comércio ou serviços e nas residências, bem como seu potencial de expansão;
6. Exportação: infraestrutura portuária e logística favorável para inserção global;
7. Base de capacitação tecnológica e de recursos humanos já estabelecida e com considerável potencial de expansão;
8. Disponibilidade de fundos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação – PD&I; e
9. Condições diversas de financiamento para renováveis e projetos de hidrogênio.

Cenário Brasileiro

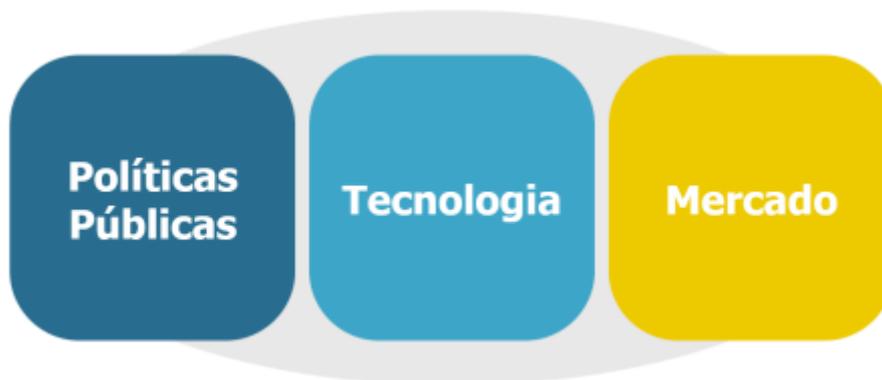
Programa Nacional de Hidrogênio: PNH2

A estruturação do PNH2 mostra-se alinhada aos principais documentos publicados por agências internacionais de energia. De acordo com a *International Energy Agency* (IEA), as recomendações centrais atreladas a ações políticas são:

- Desenvolvimento de estratégias e roteiros sobre o papel do hidrogênio no sistema energético;
- Criação de fortes incentivos para o uso de hidrogênio de baixo carbono para deslocar combustíveis fósseis;
- Mobilização de investimentos em ativos de produção, infraestrutura e fábricas;
- Fornecimento de forte apoio à inovação para garantir o rápido alcance da comercialização de tecnologias críticas; e
- Estabelecimento de regimes de certificação, padronização e regulamentação apropriados.

Sucintamente, conforme apresentado na Figura 1, o Programa Nacional de Hidrogênio Brasileiro será estruturado sobre três pilares:

Figura 1 – Pilares de estruturação do PNH2



Fonte: Programa Nacional do Hidrogênio (2021).

Destaca-se que são pilares interdependentes e que precisam evoluir de forma síncrona para que possam promover uma aceleração na obtenção dos resultados almejados.

Cenário Brasileiro

Programa Nacional de Hidrogênio: PNH2

Devido às características do Brasil, entende-se que o PNH2 e as suas respectivas diretrizes devem estar pautadas em princípios capazes de valorizar o potencial de recursos energéticos, renováveis e não renováveis, na abrangência e no alinhamento às ambições globais e nacionais de descarbonização, no desenvolvimento de um mercado doméstico e de exportação competitivos, bem como no desenvolvimento da indústria nacional e na busca de sinergias internacionais.

Diante disso e considerando os três pilares definidos no Programa, as diretrizes foram divididas em seis eixos principais (Figura 2) e um transversal, que é a promoção da aceitação pública do hidrogênio.

Figura 2 - Eixos temáticos do PNH2



[MME, 2021.](#)

Fonte: Programa Nacional do Hidrogênio (2021).

Cenário Brasileiro

Aceitação Pública e Formação de Recursos Humanos

Com as iniciativas de construção de uma economia de hidrogênio ganhando força, ações que promovem a aceitação pública e a formação de recursos humanos estão se tornando cada vez mais frequentes. Cabe salientar que este é um aspecto essencial à utilização ampla do hidrogênio na economia.

Por ser um elemento que apresenta características particulares de manuseio, aplicação e utilização, conforme há o desenvolvimento técnico, econômico e regulatório, ações específicas devem ser feitas para que se promova o aumento da confiança, pautada em aspectos técnicos, experimentais e regulamentados.

Neste sentido, o projeto de cooperação técnica H2 Brasil, desenvolvido pela *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH* (GIZ), em parceria com o MME, visa não apenas apoiar a implementação do PNH2, mas também tem como um de seus objetivos promover eventos e campanha de sensibilização, com a intenção de esclarecer o papel das empresas no desenvolvimento do mercado de hidrogênio.

Ademais, dentre os cinco objetivos propostos pelo H2 Brasil, encontra-se também a qualificação da mão de obra. Segundo Bernd dos Santos Mayer, coordenador do componente inovação hidrogênio verde da GIZ Brasil, o SENAI e o Ministério de Educação (ME) serão os principais parceiros. As instituições irão criar *hubs* de educação em hidrogênio no Brasil, assim como apoiar a construção de laboratórios e a capacitação do público nos temas de hidrogênio, Power-to-X, entre outros. Durante o evento [Inovações em Energias Renováveis](#), organizado pela Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha (AHK), Bernd comentou que o projeto estava previsto para iniciar em setembro de 2021.

Em agosto, o Grupo de Estudo do Setor Elétrico (GESEL) anunciou o Curso de Extensão “Hidrogênio e Transição Energética”, realizado em parceria com a AHK Rio. O curso tem como objetivo fomentar o aumento da mão de obra especializada, bem como esclarecer dúvidas sobre o tema, visando ampliar a aceitação pública acerca do hidrogênio.

As inscrições para a nova turma estão abertas através do link: [2ª Turma](#)

Cenário Brasileiro

Oportunidades para o Brasil

O Brasil tem um enorme potencial para geração de energias renováveis, permitindo que o país seja capaz de fornecer hidrogênio verde e de baixo carbono por diferentes rotas. Por esta razão, a EPE defende a estratégia “hidrogênio arco-íris”, resumida na Figura 3.

Figura 3 – Classificação da produção de hidrogênio em cores

| Cor | Classificação | Descrição |
|------------|----------------------|---|
| ■ | Hidrogênio Preto | Produzido por gaseificação do carvão mineral (antracito), sem CCUS |
| ■ | Hidrogênio Marrom | Produzido por gaseificação do carvão mineral (hulha), sem CCUS |
| ■ | Hidrogênio Cinza | Produzido por reforma a vapor do gás natural, sem CCUS |
| ■ | Hidrogênio Azul | Produzido por reforma a vapor do gás natural (eventualmente, também de outros combustíveis fósseis), com CCUS |
| ■ | Hidrogênio Verde | Produzido via eletrólise da água com energia de fontes renováveis (particularmente, energias eólica e solar). |
| ■ | Hidrogênio Branco | Produzido por extração de hidrogênio natural ou geológico |
| ■ | Hidrogênio Turquesa | Produzido por pirólise do metano, sem gerar CO ₂ |
| ■ | Hidrogênio Musgo | Produzido por reformas catalíticas, gaseificação de plásticos residuais ou biodigestão anaeróbica de biomassa ou biocombustíveis, com ou sem CCUS |
| ■ | Hidrogênio Rosa | Produzido com fonte de energia nuclear |

Fonte: EPE (2021).

O potencial brasileiro atrai a atenção do mercado europeu. De acordo com o que foi apresentado por Ansgar Pinkowski, gerente de inovação e sustentabilidade na AHK, durante o evento [Rotas de Hidrogênio: Energia do Futuro e Oportunidades para o Rio](#), a Alemanha será capaz de atender apenas 10% da sua demanda de hidrogênio, tendo que importar os 90% restantes.

Cenário Brasileiro

Este cenário abre portas para que o Brasil se torne um exportador de hidrogênio, visando atender a demanda do mercado europeu. Pinkowski também comentou, durante o *webinar* “Rotas de Hidrogênio: Energia do Futuro e Oportunidades para o Rio”, que cerca de 90% das empresas que fazem parte do *Hydrogen Council* têm subsidiária no Brasil. Isso significa que o país já tem acesso às melhores tecnologias de geração, distribuição e uso de hidrogênio.

Segundo a IEA, o H₂ pode ser utilizado para descarbonizar a indústria de refino de petróleo do Brasil, uma vez que o setor representa 83% da demanda de hidrogênio no país. Usinas híbridas também podem ser uma oportunidade para expandir a produção de hidrogênio verde, utilizando o excedente noturno da geração eólica de parques do Nordeste.

Oportunidades para o Hidrogênio Verde no Rio de Janeiro

O estado do Rio de Janeiro tem características singulares que o posicionam de forma vantajosa para a produção e a exportação de hidrogênio verde. Dentre elas, destacam-se as bases acadêmica e industrial fortes, garantindo mão de obra qualificada e promovendo investimentos contínuos em transição energética.

Além disso, o Programa Rio Capital da Energia pode contribuir para impulsionar o mercado de hidrogênio no estado, uma vez que visa consolidar o Rio de Janeiro como referência em segurança no abastecimento nacional, bem como torná-lo protagonista na transição energética do Brasil.

Outro ponto favorável para o estado é a existência de infraestrutura de exportação, como o Porto de Açu. O Porto está localizado em uma posição estratégica que proporciona o desenvolvimento de projetos de usinas eólicas *off-shore*, sendo que alguns já estão em fase de estudo. Estes projetos terão grande relevância para o desenvolvimento da indústria de hidrogênio verde.

Para saber mais: [Firjan](#)

Cenário Internacional

O mundo passa por um processo de transformação dos padrões de produção e consumo, cujo principal *driver* é a descarbonização, em razão do aumento da conscientização humana sobre os impactos socioambientais advindo das ações antrópicas. Neste sentido, o Acordo de Paris, firmado em 2015, é considerado um marco histórico na busca pelo desenvolvimento sustentável, haja vista que os países tiveram de se comprometer a reduzir, de forma acentuada, as emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Para atingir tais metas, se faz necessária uma transição energética profunda, capaz de descarbonizar, inclusive, o setor de transportes e a indústria, responsáveis, em conjunto, por cerca de 46% das emissões de GEE.

Neste contexto, o hidrogênio surge como a principal alternativa para descarbonizar, de forma profunda e transversal, o setor energético, uma vez que é capaz de promover um acoplamento setorial, de modo a, gradativamente, substituir o petróleo.

Este movimento de transformação tem sido liderado pelos países da União Europeia, grandes consumidores de energia fóssil, provenientes do gás natural e do carvão, por exemplo. Porém, devido às perspectivas de enorme demanda de hidrogênio de baixo carbono e reduzido potencial para produção deste elemento, emerge o desenvolvimento da economia do H₂.

Deste modo, surgem países produtores e exportadores de hidrogênio, bem como aqueles que, por necessidade, desejam importar o H₂. Destaca-se que este cenário apresenta uma nova oportunidade para países com elevado potencial de produção de energia renovável, como Brasil, Chile, Austrália, Arábia Saudita, países do norte da África, dentre outros, tendo em vista que podem produzir e exportar hidrogênio verde ou de baixo carbono.

Diante do potencial e das intenções declaradas pelos países da América Latina, a IEA publicou um relatório intitulado [Hydrogen in Latin America](#), apresentado a seguir.

Hydrogen in Latin America

A América Latina é, hoje, uma das regiões do mundo com maior potencial para produção de energia a partir de fontes renováveis e pode desempenhar um papel importante no impulso internacional para o hidrogênio de baixo carbono, especialmente pela possibilidade de ser grande exportadora de H₂.

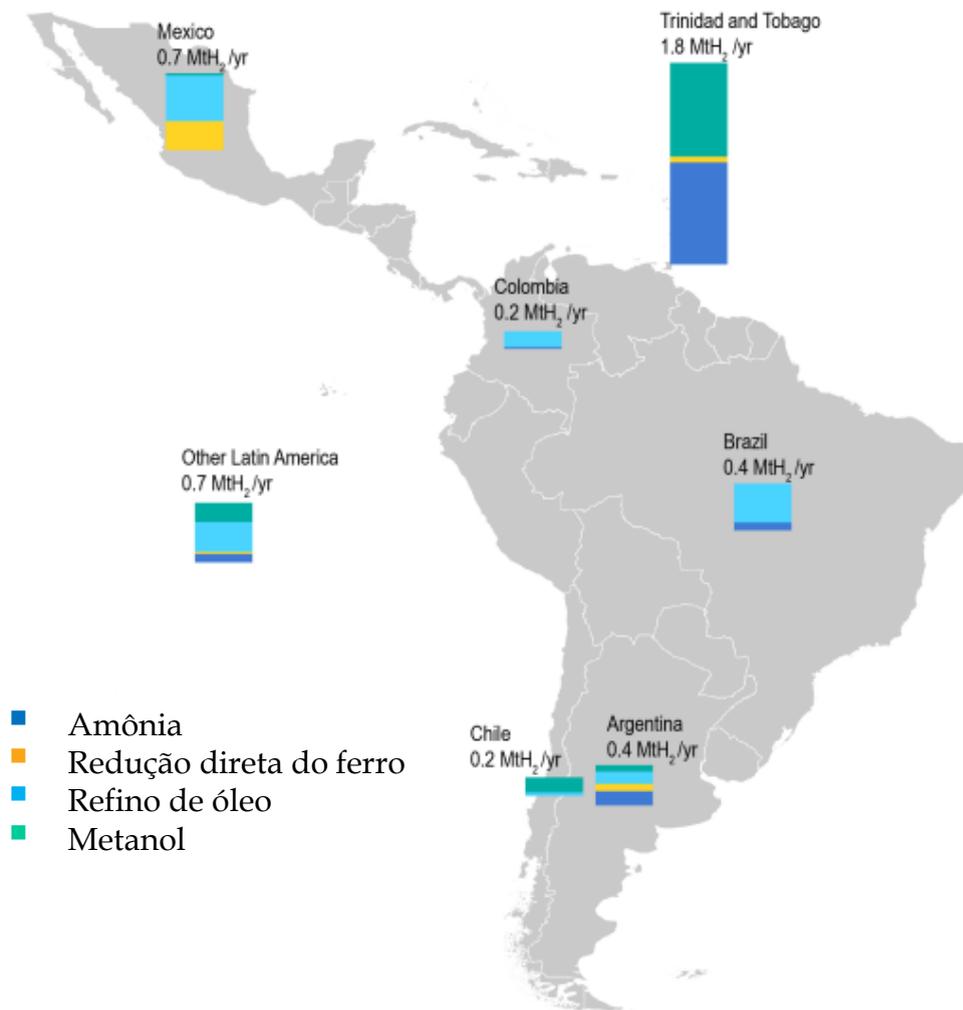
Até o momento da elaboração do estudo, foram identificados 11 países, na região, que publicaram ou estão atualmente preparando estratégias e roteiros nacionais para o desenvolvimento da economia do hidrogênio. Além disso, foram mapeados mais de 25 projetos de hidrogênio de baixo carbono que estão nos estágios iniciais de desenvolvimento.

Na América Latina, assim como em outros lugares do mundo, o hidrogênio já é, atualmente, um elemento utilizado em diversos processos, todavia a obtenção deste gás ocorre via fontes fósseis. Por isso, o uso do hidrogênio é responsável, indiretamente, por elevadas emissões de GEE na região. Os setores industriais e de refino de petróleo da América Latina exigiram mais de 4 Mt de hidrogênio em 2019 (cerca de 5% da demanda global), principalmente para produzir amônia, metanol, aço e produtos de petróleo refinados.

Em 2019, a produção de hidrogênio na região demandou mais gás natural do que o fornecimento total do Chile e liberou mais CO₂ na atmosfera do que todos os veículos rodoviários da Colômbia. Quase 90% da demanda de hidrogênio desta porção do continente, em 2019, estava concentrada nas cinco maiores economias da região (Argentina, Brasil, Chile, Colômbia e México) e em Trinidad e Tobago (Caribe), que sozinho respondeu por mais de 40% da demanda total de H₂ ([IEA, 2021](#)). A Figura 4 apresenta, para o ano de 2019, a demanda de hidrogênio na América Latina.

Hydrogen in Latin America

Figura 4 – Demanda de hidrogênio da América Latina (2019)



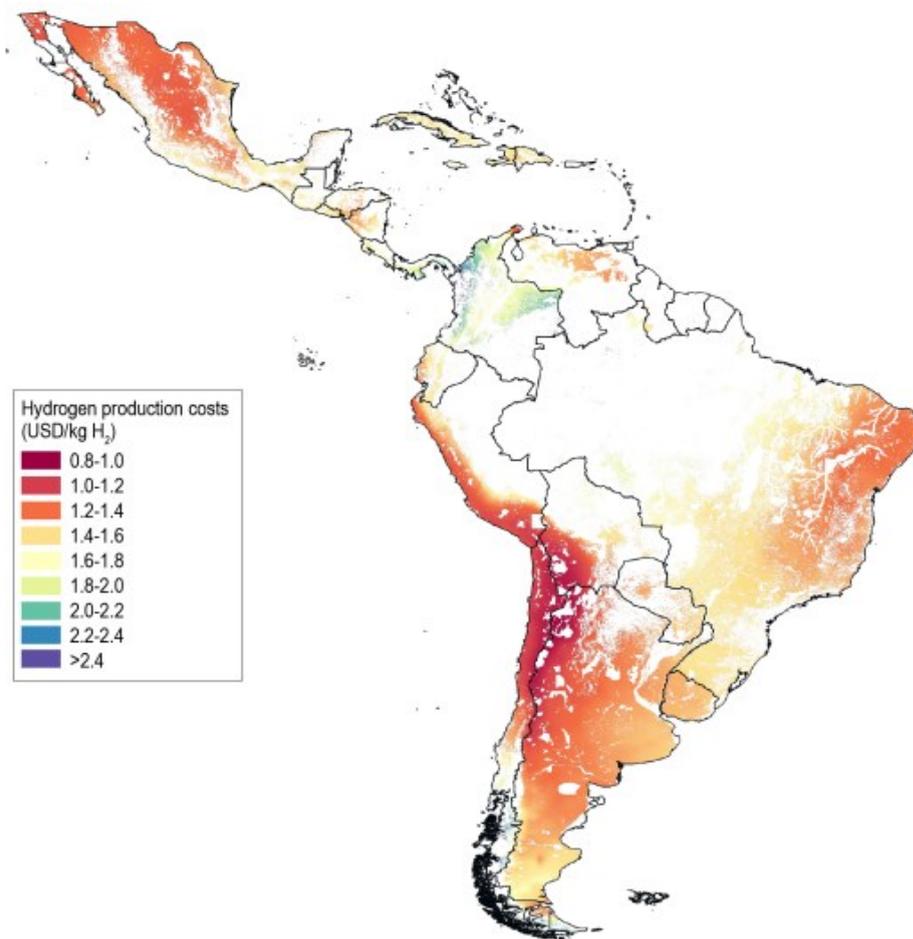
Fonte: IEA (2021).

Observa-se pelo gráfico que, no Brasil, a demanda de hidrogênio se dá na produção de amônia e fertilizantes e no refino de óleo. Destaca-se que, desses mercados, o setor de amônia vem se destacando como um potencial mercado de médio e longo prazo, tendo em vista que há usos existentes para o H₂, bem como há perspectivas de novos usos finais para amônia. Isso abre um cenário de expansão do uso desse produto seja em processos químicos, como transportador de hidrogênio ou combustível para o transporte ou produção de energia.

Outro aspecto relevante no que se trata do potencial da região na economia do hidrogênio, são as potencialidades de geração de energia renovável a baixos custos, refletindo diretamente em menores custos para o H₂, como mostra a Figura 5.

Hydrogen in Latin America

Figura 5 – Custo Nivelado de Hidrogênio produzido a partir de eletrólise, alimentada por geração híbrida solar mais eólica *on-shore*, na América Latina (2050)



Fonte: IEA (2021).

Na figura, é possível observar o elevado potencial da América Latina para produção de hidrogênio verde, com destaque para o Chile e para o Brasil. Segundo a escala, ambos os países serão capazes de produzir hidrogênio abaixo de US\$ 2/kg H₂, que é a meta almejada para viabilização do mercado.

Para realização desta projeção, algumas premissas foram utilizadas com a finalidade de estimar a redução de custos dos sistemas. A Tabela 1 apresenta os dados utilizados no relatório.

Hydrogen in Latin America

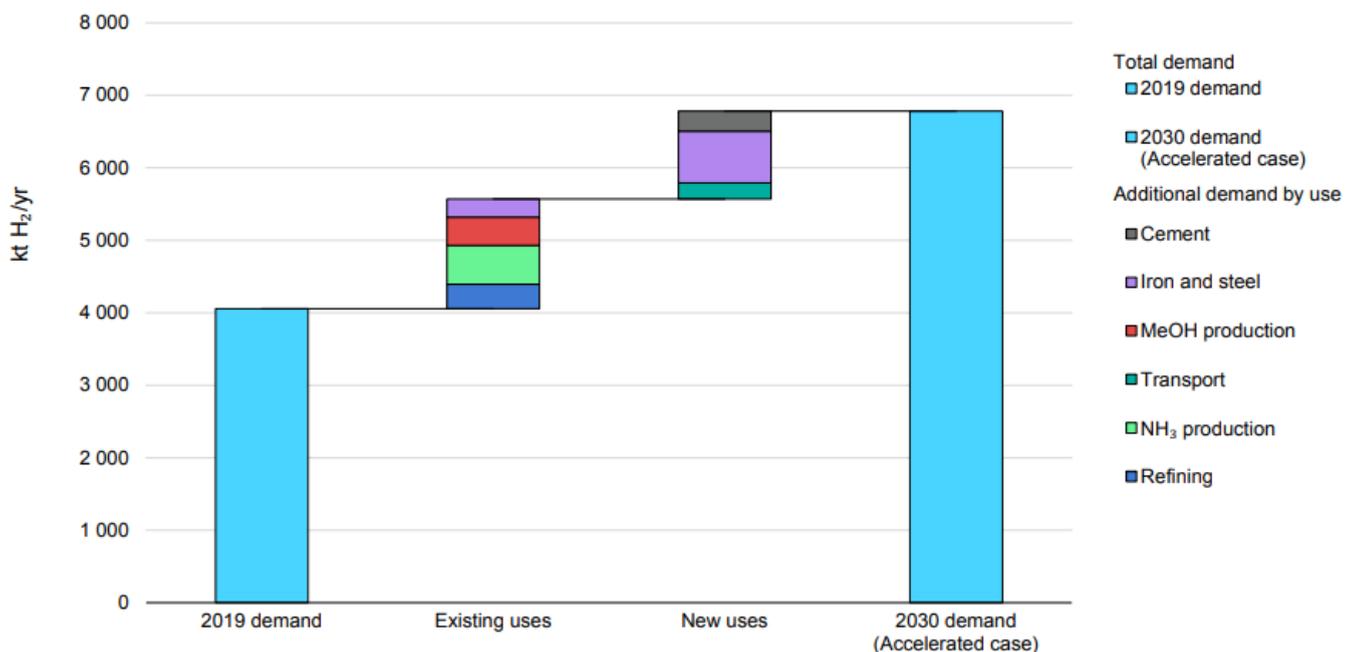
Tabela 1 - Premissas utilizadas para projeção do Custo Nivelado de Hidrogênio na América Latina (2050)

| Parâmetros | Unidades | Valores |
|------------------------------|-------------------------|-----------|
| CAPEX Eletrolisador | [US\$/kW] | 232 - 341 |
| CAPEX Sistema Fotovoltaico | [US\$/kW] | 325 |
| CAPEX Eólica <i>On-shore</i> | [US\$/kW] | 1200 |
| OPEX Eletrolisador | [% CAPEX Eletrolisador] | 3 |
| Eficiência do Eletrolisador | [%] | 74 |
| Vida Útil | [anos] | 33 |
| Taxa de Desconto | [%] | 6 |

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados da IEA (2021).

Diante da análise e da perspectiva da IEA, o ganho de escala da economia do hidrogênio tende a ampliar a demanda tanto dos usos já existentes, como também de novos usos, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Crescimento da demanda de H₂ por setores, para um cenário acelerado



Fonte: IEA (2021).

Hydrogen in Latin America

As projeções indicam um crescimento significativo do uso do H₂ no setor de ferro e aço, o que é um aspecto importante a nível mundial quando se trata de emissões. Contudo, considerando o aspecto regional, essa perspectiva apresenta um potencial cenário de uso do hidrogênio no mercado doméstico de países como o México e o Brasil, que foram responsáveis, em 2019, por cerca de 80% da produção regional de aço. Além disso, dentre os novos usos, cabe salientar o papel que o H₂ terá na descarbonização do transporte pesado.

Apesar das excelentes perspectivas, a promoção de novos usos necessita de avanços tecnológicos, econômicos e regulatórios, haja vista que, por ser uma indústria nascente e com transversalidade de aplicações na economia, seu desenvolvimento é mais complexo e necessita de ações conjuntas para que os objetivos sejam atingidos. Neste sentido, o estudo da IEA *“Hydrogen in Latin America”* apresenta seis recomendações para os formuladores de políticas:

1. Definição de uma visão de longo prazo para a implementação do hidrogênio no setor energético;
2. Identificação de oportunidades de curto prazo que apoiem a implementação de tecnologias essenciais;
3. Apoio ao desenvolvimento por meio de financiamentos capazes de reduzir o risco de investimento;
4. Desenvolvimento de P&D estratégicos;
5. Incentivo à certificação do hidrogênio de baixo carbono; e
6. Cooperação regional e internacional para posicionar a América Latina no cenário global de hidrogênio.

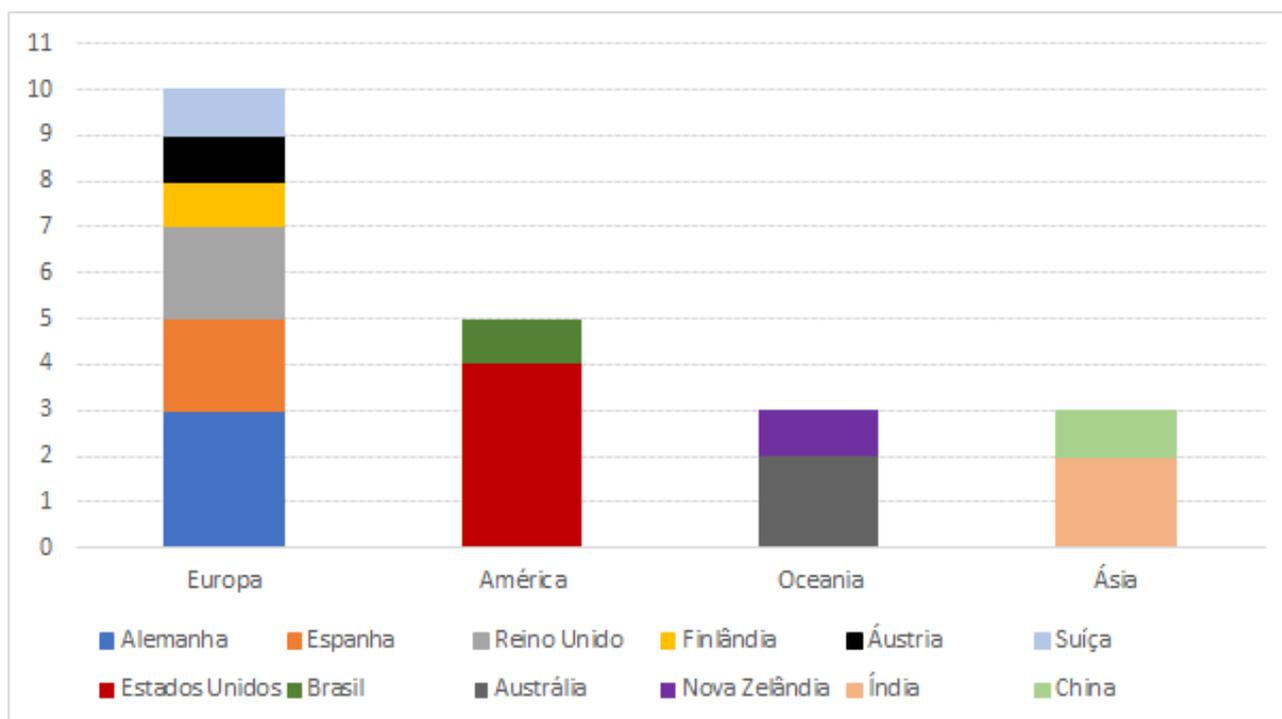
Para acessar o estudo completo, clique: [IEA, 2021](#)

A Economia de Hidrogênio no Mundo

Projetos de Hidrogênio

O desenvolvimento de projetos para a produção do hidrogênio é crescente e acelerado, de forma que é possível observar, cada vez mais, a busca das empresas para se posicionarem estrategicamente nesta área. Um dos mecanismos que mais tem sido utilizado é a assinatura de memorando de entendimento (MoU) entre os setores público e privado, cujo objetivo é declarar o interesse de cooperação e desenvolvimento da cadeia de valor do hidrogênio. Ao mesmo tempo, cresce o número de projetos efetivos, capazes de demonstrar e desenvolver, de maneira prática, a economia do hidrogênio. Apesar de todos os continentes estarem se comprometendo com o desenvolvimento deste vetor energético, é notável que a maior parte dos projetos é realizada no continente europeu, como demonstra o Figura 7.

Figura 7 - Distribuição de projetos identificados em agosto de 2021 por continentes e países



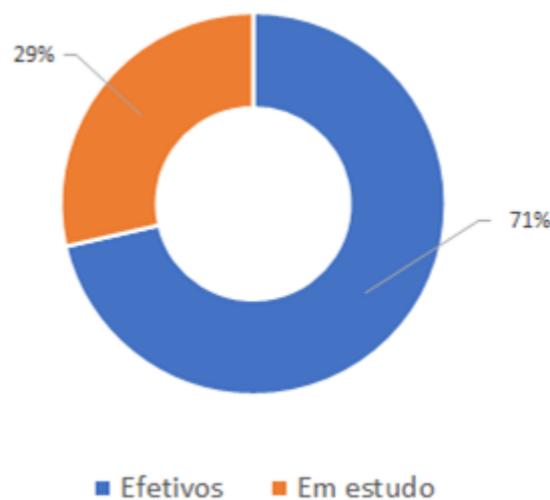
Fonte: Elaboração própria.

Além dos países da Europa, merecem destaque os Estados Unidos, um dos países líderes em hidrogênio, que vem desenvolvendo, há tempos, diversos projetos nesta área. Em agosto de 2021, foram identificados quatro novos projetos de hidrogênio no país e cada um deles produz H₂ com uma classificação de cor diferente.

Ademais, o Brasil também merece ser destacado, pois está firmando diversos memorandos de entendimento e projetos efetivos para o desenvolvimento da cadeia de valor do H₂, especialmente do hidrogênio verde. No mês de agosto de 2021, foi identificado um novo projeto.

Por ser uma economia emergente, muitos projetos limitam-se apenas a memorandos de entendimento ou estudos preliminares, mas há também aqueles que já possuem um desenvolvimento concreto. A Figura 8 apresenta a distribuição percentual de projetos em estudo ou efetivos.

Figura 8 - Classificação dos projetos identificados pelo status de desenvolvimento

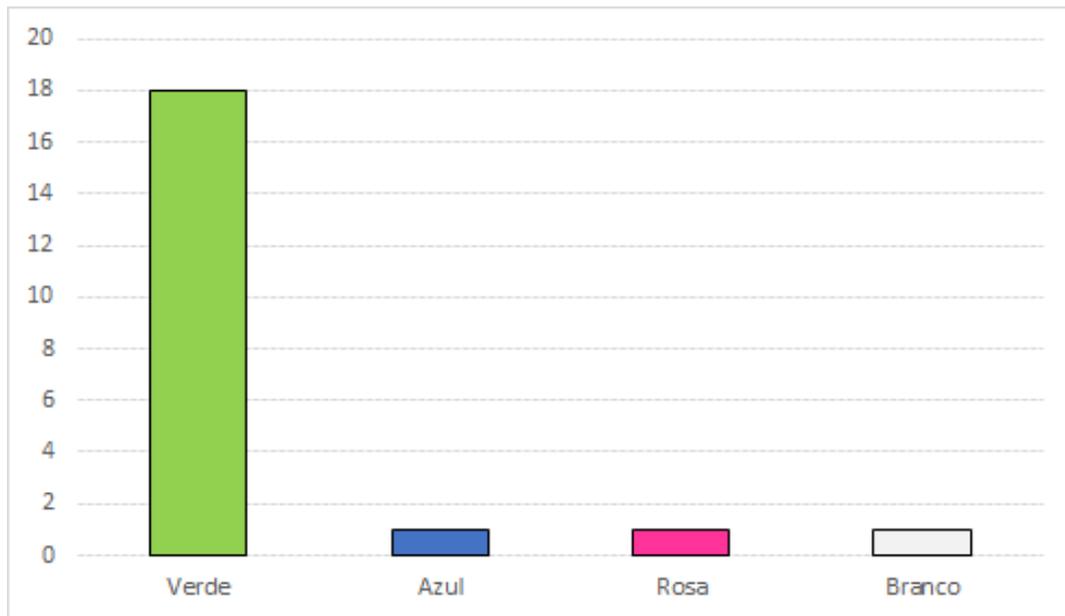


Fonte: Elaboração própria.

No referente mês de análise (Agosto), 21 projetos foram identificados, sendo 15 já em fase de efetivação e o restante ainda em fase de estudo. Ademais, dos projetos efetivos, vale ressaltar que todos eles são projetos pilotos, o que também se verifica nos projetos na fase de estudo. Também foi possível identificar a predominância de projetos de hidrogênio verde nas duas fases.

Apesar da quantidade razoável de novos projetos de H₂ identificados no mês de agosto, é importante destacar que a maioria é de hidrogênio verde. Do total, 18 projetos têm como intuito produzir o H₂ de forma renovável. Ademais, os outros três projetos restantes variam o tipo de tecnologia e a cor do hidrogênio relacionada, assim como mostra o Figura 9.

Figura 9 - Classificação da cor do hidrogênio dos projetos identificados



Fonte: Elaboração própria.

Consoante aos projetos de hidrogênio verde, é relevante a informação quanto à origem da energia. A fonte da energia é bastante variada, contendo, nestes projetos, geração hidrelétrica, solar e eólica, com ênfase principalmente nas duas últimas. Além disso, ao retratar a energia eólica, alguns projetos estão investindo em usinas *off-shore*, as quais, apesar do maior custo, são uma alternativa para países que já esgotaram todo o potencial desta fonte *on-shore*.

Por fim, no que tange a outros projetos, foi identificada a produção de hidrogênio azul, rosa e branco. No primeiro, o gás natural (CH₄) é submetido ao processo de reforma a vapor com, a posterior captura e armazenamento de carbono (CCS). A segunda classificação (rosa) é aquela que utiliza a energia nuclear para a produção do H₂. Por último, a classificação branca é aquela em que o H₂ é produzido a partir de rejeitos plásticos ou de biomassa, utilizando a tecnologia da reforma a vapor.

Projetos em Destaque

Reino Unido

Trafford Green Hydrogen

Uso final: Transporte e aquecimento

A empresa Carlton Power está desenvolvendo, no Reino Unido, uma série de esquemas de *Green Hydrogen*, com planos de mais de 10 projetos a serem implementados nos próximos cinco anos.

O *Trafford Green Hydrogen* é o primeiro projeto desta série, apresentando planos para um centro comercial de hidrogênio de 200 MW em Manchester. Seu objetivo é produzir combustível de hidrogênio verde a partir de energia renovável, com a finalidade de descarbonizar os setores de transporte e aquecimento, fornecendo às empresas na região de Manchester acesso fácil ao combustível de baixo carbono.

Sujeito ao resultado do processo de planejamento e financiamento, a construção do *hub* de hidrogênio no parque de energia de carbono zero de Trafford começará no início do próximo ano e entrará em operação comercial em 2023. Espera-se que o hidrogênio desempenhe um papel importante na redução das emissões de CO₂ do Reino Unido, ajudando-o na jornada em direção ao zero líquido.

Para saber mais detalhes sobre o projeto, acesse: [Trafford Green Hydrogen](#)

Projetos em Destaque

Califórnia (EUA)

Raven SR: Waste into Hydrogen

Uso final: Combustível de baixo carbono

A Raven SR contratou a Power Engineers e a Stellar J Corporation para projetarem instalações de usinas de conversão de resíduos em hidrogênio, que serão construídas na área da Baía de São Francisco, nos Estados Unidos. As usinas transformarão misturas de resíduos orgânicos desviados dos aterros em combustível renovável e, graças à sua tecnologia de não combustão, o processo não produzirá poluentes tóxicos ou partículas.

Dentre os projetos, destaca-se o anunciado pela Republic Services, que consiste em um acordo com a Raven SR para processar, a partir de meados de 2022, mais de 99,9 toneladas de lixo orgânico por dia no aterro sanitário de Richmond, na Califórnia. Este processo será capaz de produzir até 2.000 toneladas ao ano de hidrogênio verde.

Após o ganho de escala, cada *hub* converterá 200 toneladas de resíduos de aterro e produzirá até 10 toneladas de hidrogênio renovável por dia. Em termos de destinação, o hidrogênio será utilizado em veículos, de modo a descarbonizar este setor de difícil redução de emissões. Neste sentido, a perspectiva é de atender cerca de 200 caminhões pesados ou 1.250 veículos de passageiros por dia.

Para saber mais detalhes sobre o projeto, acesse: [Raven SR - Waste to Hydrogen](#)

Uso Final do Hidrogênio

O hidrogênio é um vetor energético essencial à promoção da descarbonização da economia, notadamente em segmentos de difícil redução de emissões, como os setores industriais e de transportes. Segundo dados da IEA (2020), cada um desses setores é responsável por cerca de 23% das emissões de CO₂ a nível mundial, ficando atrás apenas do setor de eletricidade, responsável por 40% das emissões. Desta forma, para que as metas firmadas no Acordo de Paris sejam cumpridas, faz-se necessária a utilização ampla do hidrogênio no setor energético e, especialmente, nessas esferas.

No mês de agosto, foram identificados alguns desenvolvimentos notórios no que diz respeito às aplicações de hidrogênio, com destaque para os projetos apresentados anteriormente e outras aplicações nos setores de transporte e industriais.

Setor Industrial

Oriente Médio e Norte da África

Produção de aço verde

Uso final: Uso de H₂ no Processo de Produção de Aço

De acordo com relatório publicado pela IEA, os setores de aço e ferro atualmente são responsáveis por cerca de 8% da demanda total por energia no mundo e por 7% das emissões de dióxido de carbono do setor energético. Tal perspectiva implica na grande dificuldade de descarbonizar o segmento, por ser tradicionalmente um grande emissor de carbono, se tornando um dos mercados mais estratégicos no quesito de sustentabilidade, uma vez que sua descarbonização reduziria uma grande quantidade global de compostos de carbono.

Dentro dessa realidade, a Emirate Steel e a Abu Dhabi National Energy Company PJSC firmaram uma parceria para desenvolver um projeto de hidrogênio verde que será utilizado para a produção de aço verde nas regiões do Oriente Médio e do Norte da África. A aplicação do hidrogênio na produção de aço, além de reduzir as emissões associadas ao processo, também irá economizar energia.

Recentemente, as empresas também anunciaram o desenvolvimento de uma fábrica de amônia verde em escala industrial e instalação de exportação. A nova usina será alimentada por hidrogênio verde produzido a partir da energia gerada por uma usina solar fotovoltaica de 2 GW.

Para mais informações desses projetos e das perspectivas tecnológicas para o setor de ferro e aço, acesse:

- [Emirates Steel](#)
- [IEA - Iron and Steel Technology Roadmap](#)

Setor Industrial

Brasil

Unigel anuncia construção de fábrica de amônia verde

Uso final: Uso de H2 no Processo de Produção de Amônia

O Brasil é um país que notoriamente possui uma matriz energética com alta porcentagem de fontes renováveis e, neste sentido, está cada vez mais inserido no contexto da transição energética e da sustentabilidade, possuindo um grande potencial na indústria de hidrogênio. Deste modo, o hidrogênio verde, gerado a partir da eletrólise com eletricidade fornecida por fontes renováveis, é uma crescente aposta no território nacional, devido ao alto potencial solar e eólico de diversas regiões do país.

Neste contexto, encontra-se a Unigel, uma das maiores empresas petroquímicas do país. Durante a cerimônia de inauguração de uma unidade de fertilizantes nitrogenados, Henry Slezzynger, fundador da companhia, ressaltou o compromisso da empresa com o meio ambiente, através das melhores práticas de sustentabilidade no controle rigoroso de tratamento de efluentes e da busca de energias renováveis. Além disso, aproveitou para anunciar a construção de uma nova fábrica de amônia verde, com previsão para o início de produção até o final de 2022.

É fundamental enfatizar que o mercado de amônia já é desenvolvido em todo o mundo, emitindo compostos de carbono quando produzida a partir de fontes não limpas. O fato do hidrogênio estar auxiliando na descarbonização dessa cadeia de valor já dá indícios de todo o seu potencial no futuro.

Para mais informações sobre essa notícia, acesse: [UNIGEL - Amônia Verde](#)

Considerações

Apesar das enormes barreiras para a sua utilização ampla, sabe-se que a economia do hidrogênio está em desenvolvimento exponencial e conta com motivações nobres, que remontam, como nunca antes na história, aos objetivos do desenvolvimento sustentável.

Pelos destaques da cadeia de valor identificados no mês de agosto, observa-se a estreita relação entre o setor de produção e o de uso do hidrogênio, tendo em vista que um depende do outro para se sustentar e, assim, promover o desenvolvimento de ambos, especialmente nesta fase emergente. Neste sentido, os projetos deixam claro os esforços que têm sido feitos para viabilizar o uso em grande escala do hidrogênio, especialmente na indústria.

Com este panorama, salienta-se o papel das políticas públicas de incentivo no estímulo à economia do hidrogênio, consideradas essenciais para a redução de barreiras técnicas, econômicas e socioambientais. Diante disso, a próxima seção apresentará o que foi lançado, neste último mês, no que concerne às políticas públicas e financiamentos.

Políticas Públicas e Financiamentos

A economia de hidrogênio está em estágio inicial de desenvolvimento e, assim, seu sucesso dependerá da ação conjunta entre as iniciativas pública e privada. O setor privado é responsável, principalmente, pelo desenvolvimento tecnológico e sua respectiva produção e implementação. Já com relação ao papel do poder público, este atua como um agente catalisador do mercado, garantindo incentivos adequados e reduzindo, assim, incertezas de caráter técnico, econômico e socioambiental (VIEIRA *et al.*, 2021). Apesar dessa interação e do reconhecimento do hidrogênio como um vetor energético fundamental para a descarbonização, atualmente, os seguintes fatores são identificados como as principais barreiras para o desenvolvimento da economia do H₂.

- (i) Aspectos normativos e regulatórios;
- (ii) Alto custo de investimento;
- (iii) Incertezas tecnológicas; e
- (iv) Infraestruturas incipientes em toda cadeia de valor.

Diante disso, políticas públicas de incentivo são essenciais para viabilizar o desenvolvimento da economia do hidrogênio.

Políticas Públicas

Índia

Missão Nacional de Hidrogênio

Governo anuncia plano para acelerar o desenvolvimento do combustível

O Primeiro-ministro indiano, Narendra Modi, anunciou formalmente o lançamento da Missão Nacional de Hidrogênio, com a finalidade de acelerar os planos de gerar combustível livre de carbono a partir de fontes renováveis, ao definir uma meta para a Índia alcançar a autossuficiência energética, uma vez que o país depende de importações para atender a 85% das suas necessidades de petróleo. O Primeiro-ministro afirmou que “o hidrogênio verde dará à Índia um salto quântico na conquista de suas metas”. Nota-se que a Índia é uma nação pobre em infraestrutura e pouco segura em abastecimento energético, além de ter uma população de quase 1,4 bilhão de habitantes e uma economia que cresce mais de 5% há mais de 10 anos, segundo o Banco Mundial. Portanto, verifica-se que o desenvolvimento de fontes alternativas, como o hidrogênio, é fundamental para o abastecimento do país.

Para mais informações, acesse: [Índia - Missão Nacional de Hidrogênio](#)

Ainda sobre as particularidades da Índia, vale ressaltar que, segundo a IEA, 44% da demanda de energia primária do país é proveniente do carvão, fonte altamente poluidora. Portanto, é crucial que sejam desenvolvidas políticas de descarbonização da matriz por outras tecnologias.

Para acessar o estudo sobre a Índia realizado pela IEA, acesse: [India Energy Outlook 2021](#)

Financiamentos

Em 2020, a China foi a maior consumidora de energia primária do mundo, totalizando 145,46 exajoules de uso, seguida pelos Estados Unidos, com 87,79 exajoules ([STATISTA, 2021](#)). Tendo isso em vista, é de extrema importância observarmos os passos políticos e de financiamento dos chineses.

China

Escritório Municipal de Economia e Tecnologia da Informação de Pequim

[País visa criar cadeia de US \\$ 15 bilhões de hidrogênio em Pequim](#)

O Escritório Municipal de Economia e Tecnologia da Informação de Pequim divulgou um roteiro para os próximos cinco anos visando uma cadeia de valor de hidrogênio de 1 bilhão de yuans (US\$ 15 bilhões), até 2025. Dentro do plano de cinco anos, o escritório revelou vários aspectos-chave da cadeia de valor do hidrogênio que devem ser desenvolvidos em Pequim para aprimorar suas capacidades. Com o objetivo de aumentar o desenvolvimento do hidrogênio na capital chinesa, também foram identificadas oportunidades de mostrar suas capacidades de H₂ para o mundo. Ao elevar a produção de hidrogênio, Pequim também será capaz de aumentar rapidamente o desenvolvimento de estações de reabastecimento de H₂, permitindo a descarbonização do transporte rodoviário.

Por isso, a capital chinesa pretende concluir 37 postos de reabastecimento adicionais para melhorar a transição para combustíveis limpos nas estradas. A produção de hidrogênio deve chegar a 135 toneladas por dia em 2025, o que deve levar a uma escassez de consumo de H₂. Para combater esta estimativa, o governo buscará exportar o excesso de hidrogênio para criar uma cadeia de valor.

Considerações Finais

O acompanhamento sistemático do desenvolvimento da economia do hidrogênio por meio do Informativo Setorial de Hidrogênio ([IFE H2 - GESEL](#)) demonstrou a necessidade de avaliações analíticas periódicas, capazes de identificar diretrizes desta economia, notadamente a partir de iniciativas concretas de políticas públicas, projetos, inovações, dentre outras questões relacionadas.

Assim, de forma conclusiva, este relatório mensal pode identificar, através da análise dos documentos e do desenvolvimento da economia do hidrogênio, quais as perspectivas futuras para a América Latina e, em especial, para o Brasil, que está elaborando sua estratégia nacional do H₂. No que diz respeito aos projetos, percebeu-se que, além da Austrália e da Alemanha, os EUA se destacam no anúncio de novas iniciativas.

Tratando especificamente do uso final do H₂, pode-se verificar que o setor industrial apresentou maior relevância, com destaque para as indústrias de aço e de amônia, que são consideradas pelo estudo da IEA como usos finais que aumentarão o consumo de hidrogênio renovável, em um cenário futuro.



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Observatório de Hidrogênio



@geselufrj

Observatório de Hidrogênio

Nº 0

JULHO
2021



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Observatório de Hidrogênio N° 0

Organizadores

Nivalde de Castro

Sayonara Elizário

Luiza Masseno

Equipe de Pesquisa

Vinicius Botelho

Kalyne Brito

Allyson Thomas

Luana Bezerra

José Vinicius Freitas

ISBN: 978-65-86614-29-9

Julho de 2021

Sumário

| | |
|--|----|
| Introdução..... | 5 |
| Cenário Brasileiro..... | 6 |
| Cenário Internacional..... | 7 |
| Projetos de Hidrogênio..... | 7 |
| Austrália: Rio Tinto Pacific Operations Hydrogen Program..... | 9 |
| Austrália/Japão: Central Queensland Green Hydrogen Project.... | 10 |
| Peel NRE's Protos - Plastic Park (Hidrogênio Branco)..... | 11 |
| Uso Final do Hidrogênio..... | 12 |
| Setor de Transporte..... | 12 |
| Setor Industrial..... | 13 |
| Políticas Públicas e Financiamentos..... | 14 |
| Regulação..... | 14 |
| Financiamentos..... | 15 |
| Inovações Tecnológicas..... | 17 |
| Considerações Finais..... | 18 |

Introdução

O hidrogênio (H₂) tem sido reconhecido como um importante vetor energético capaz de promover uma profunda descarbonização da economia mundial, especialmente em setores de difícil redução de emissões, como o industrial e o de transportes. Nesse contexto, a transição energética de uma economia composta majoritariamente por combustíveis fósseis para o hidrogênio verde ou de baixo carbono irá transformar significativamente o setor energético e, ainda, atender a dois requisitos centrais do Acordo de Paris: segurança energética e redução de emissões de gases de efeito estufa.

Diante das potencialidades do H₂, diversos países estão estimulando o desenvolvimento da economia do hidrogênio, como pode-se observar pelo crescente anúncio de políticas públicas e projetos demonstrativos em toda cadeia de valor do hidrogênio.

Posto isto e considerando a evolução exponencial da economia do hidrogênio, o presente relatório tem como objetivo central apresentar um estudo analítico do acompanhamento sistemático do setor, apresentado no [Informativo Setorial de Hidrogênio do GESEL](#), atentando para as principais políticas públicas, diretrizes, projetos, inovações tecnológicas e regulatórias de toda cadeia de valor do hidrogênio.

Cenário Brasileiro

O Brasil possui características singulares, a nível mundial, para se tornar um *hub* de hidrogênio. Neste sentido, diante das enormes expectativas para o desenvolvimento concreto desta economia emergente no Brasil, é importante ressaltar o intenso trabalho que as entidades governamentais e o setor privado estão desenvolvendo.



A expectativa é que até o final de julho o Ministério de Minas e Energia (MME), sob deliberação da Resolução CNPE nº 6/2021, lance as diretrizes para construção do Programa Nacional de Hidrogênio Brasileiro (PNH2).

Apresentação: Diretrizes para do PNH2
Reunião com o Setor Privado

Fonte: [Ministério de Minas e Energia](#)

Data: 05/07/2021

Além disso, o governo lançou o [Pacto Energético Brasileiro sobre Hidrogênio](#), no âmbito do “Dialogo em Alto Nível das Nações Unidas sobre Energia”, que foi a primeira reunião global sobre energia sob a égide da ONU, desde 1981. Neste pacto, consoante ao compromisso firmado para o desenvolvimento da economia do hidrogênio, o país anunciou que está estruturando uma Chamada Estratégica para Projetos de P&D em Hidrogênio e, a partir deste ano, o Plano Decenal de Energia, publicado pela EPE anualmente, contemplará análises para o desenvolvimento da Economia do H₂.

A Economia de Hidrogênio no Mundo

Projetos de Hidrogênio

O desenvolvimento da economia do hidrogênio ao redor do mundo continua em evolução exponencial. Neste sentido, é possível identificar, em vários países, o surgimento de diversos projetos de Pesquisa de Desenvolvimento (P&D), projetos pilotos e demonstrativos. Salienta-se que esses projetos têm como objetivo reduzir incertezas tecnológicas, estimular a inovação regulatória e a redução de custos de implementação de projetos, dentre outros.

Assim, apesar do lançamento de projetos em quatro dos cinco continentes, a Europa continua sendo o polo central de desenvolvimento desta economia, como mostra a Figura 1.

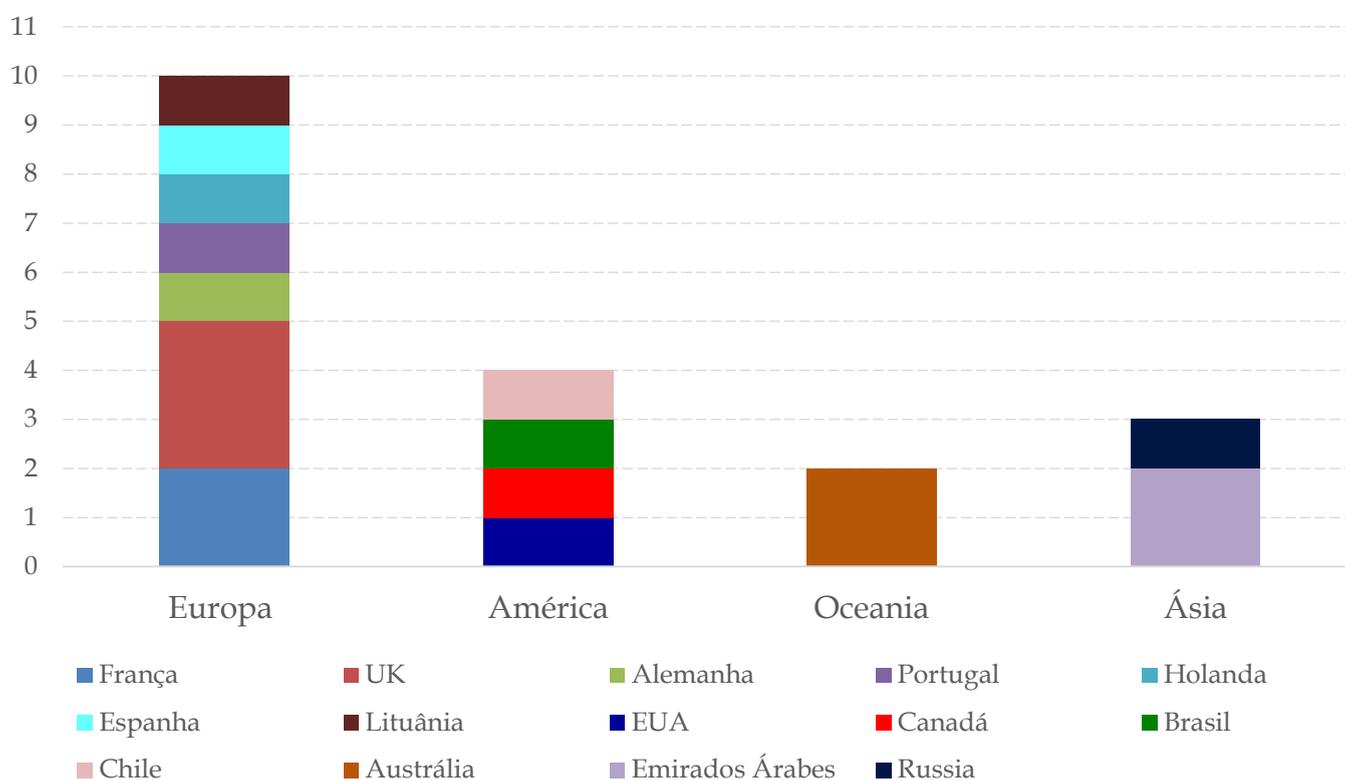


Figura 1 – Distribuição de Projetos Identificados em Junho 2021 por continentes e países.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Além dos países da Europa, merece ser destacado a presença da Austrália com dois novos projetos, mantendo seu crescente incentivo ao desenvolvimento da economia do hidrogênio.

Por ser uma economia emergente, muitos projetos limitam-se apenas a memorandos de entendimento ou estudos preliminares, mas há aqueles que já possuem um desenvolvimento concreto. A Figura 2 apresenta essa distribuição percentual de projetos em estudo ou efetivos

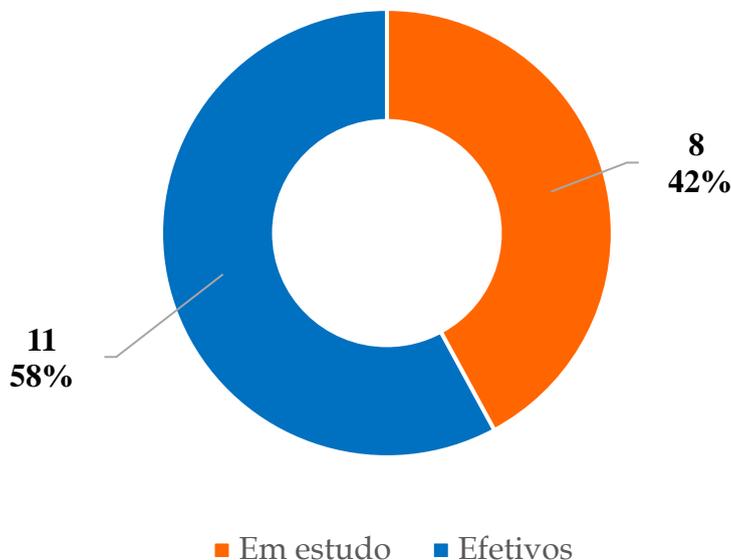


Figura 2 - Classificação dos Projetos Identificados pelo Status de Desenvolvimento.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Desses, foi possível identificar a predominância de projetos de hidrogênio verde (H2V), notadamente nos projetos efetivos. Já com relação aos projetos em estudo destaca-se a presença de um projeto de Hidrogênio Branco, ou seja, aquele produzido a partir de rejeitos plásticos ou biomassa por meio da gaseificação.

Consoante aos projetos efetivos, cabe salientar que dos 11 projetos identificados, 7 são projetos pilotos e 4 são de P&D. Ademais, cabe salientar que devido a maioria dos projetos serem de H2V, esses estão associados a projetos de energia renovável, principalmente energia eólica e solar. No que tange a origem da energia, alguns projetos estão investindo em projeto de usinas eólicas *offshore*, que apesar do maior custo, são uma alternativa para países que já esgotaram todo potencial de energia eólica *onshore*.

Já com relação às aplicações propostas nos projetos efetivos, destaca-se os segmentos de produção de refinarias, amônia, transporte e mistura do H2 nos gasodutos existentes.

Projetos em Destaque

Austrália

Rio Tinto Pacific Operations Hydrogen Program

Uso final: Indústria de Alumina

Fonte: Rio Tinto

A empresa Rio Tinto está realizando um estudo de viabilidade investigando o uso de hidrogênio para descarbonizar parcialmente o processo de refino de alumina em sua refinaria de alumina Yarwun em Gladstone, Queensland.



A produção de alumina, o principal ingrediente do alumínio, requer grandes quantidades de energia. No processo, a etapa final é a calcinação, que aquece o hidrato de alumina da etapa de precipitação anterior a temperaturas superiores a 1.000°C para formar alumina anidra. Atualmente, a calcinação é um processo de uso intensivo de energia, para o qual, atualmente, o combustível predominante é o gás natural.

Diante deste contexto, o projeto proposto irá realizar um estudo de viabilidade que avaliará o uso prospectivo de hidrogênio limpo em substituição ao gás natural no processo de calcinação. Para isso, o desenvolvimento do projeto será feito em duas frentes de trabalho distintas, que são:

1. Simulação do processo de calcinação usando um reator em escala de laboratório no Centro de Desenvolvimento Técnico Bundoora da Rio Tinto em Melbourne, Victoria.
2. Estudos preliminares de engenharia e design conduzidos nas instalações de Yarwun da Rio Tinto para entender os requisitos de construção e operacionais de um potencial projeto de demonstração na refinaria.

Para saber mais detalhes sobre o projeto, acesse:

- [ARENAWire](#)
- [ARENA News](#)
- [ARENA Projects](#)
- [CSIRO HyResource](#)

Projetos em Destaque

Austrália - Japão

Stanwell - Iwatani: Central Queensland Green Hydrogen Project

Fonte: [Stanwell](#)/imagem ilustrativa

A empresa Stanwell, responsável pela geração de cerca de um terço da eletricidade de Queensland (QLD), realizou, em 2019, um estudo de viabilidade que investigou a instalação de um eletrolisador de 10 MW e as possíveis destinações do hidrogênio produzido, avaliando tanto o mercado interno como o externo.



O estudo concluiu que a viabilidade econômica das oportunidades do mercado interno de hidrogênio, ao redor da área central de Queensland, são desafiadoras, embora as oportunidades de exportação são identificadas como factíveis. Assim, diante do cenário potencial vislumbrado, em novembro de 2020, foi anunciada uma parceria entre a Stanwell Corporation e a Iwatani Corporation para progredir no planejamento de uma nova instalação com foco na exportação de hidrogênio para o Japão, em Gladstone - QLD. A proposta é que seja construído um projeto de fases, com objetivo de chegar, em 2030, a uma capacidade de eletrólise de 3 GW, produzindo cerca de 280.000 toneladas por ano de hidrogênio.

Em junho de 2021, foi anunciado que Stanwell realizou a aquisição de uma área de 236 hectares, em Aldoga (Gladstone), para construção da planta proposta. Destaca-se que a região escolhida apresenta vantagens por oferecer infraestruturas essenciais para o desenvolvimento da exportação e ainda estar próxima a um porto da região.

Para saber mais detalhes sobre o projeto, acesse:

- [Stanwell News](#)
- [CSIRO HyResource](#)

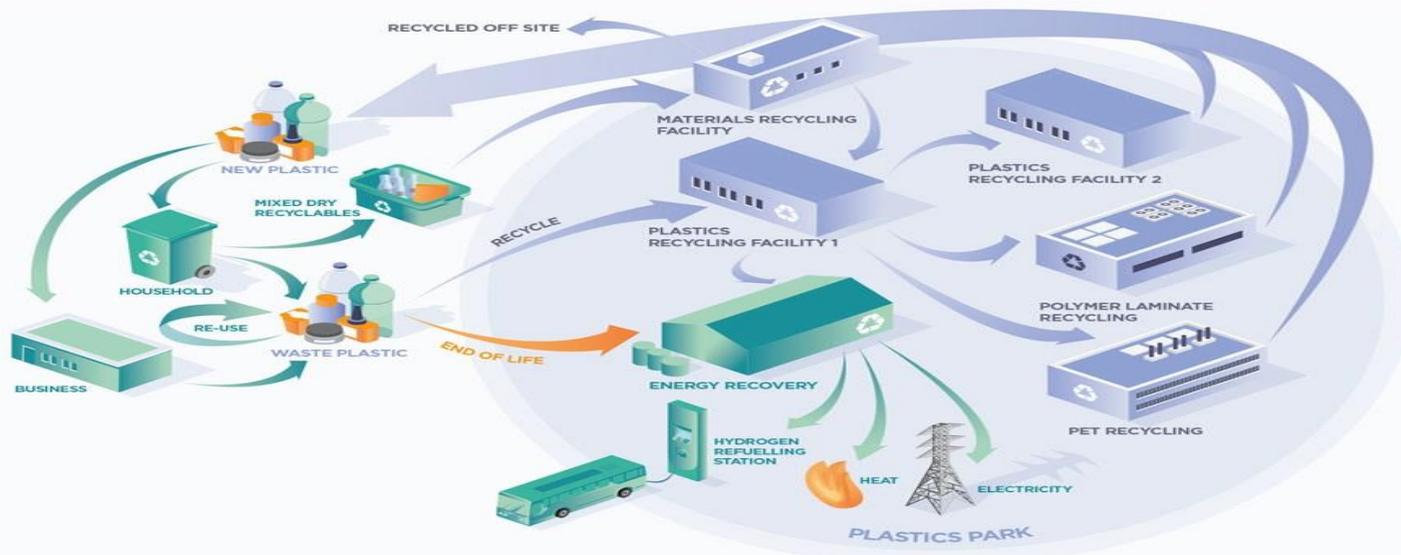
Projetos em Destaque

Reino Unido: Escócia

Peel NRE's Protos - Plastic Park (Hidrogênio Branco)

Uso final: Transporte (carros, ônibus e veículos pesados)

Fonte: [Protos Plastic Park](#)



A Peel NRE, parte da Peel L&P, está planejando construir o *Plastic Park* para processar parte dos 4,9 milhões de toneladas de resíduos plásticos produzidos no Reino Unido a cada ano. O parque reunirá diferentes tecnologias que permitirão a reciclagem de materiais recicláveis e plásticos mistos. Já o plástico impróprio para reciclagem será utilizado para gerar hidrogênio – classificado como H₂ branco – que será utilizado em aplicações no setor de transporte.

Este projeto, que já obteve sua aprovação preliminar, motivou a expansão da tecnologia, que está sendo avaliada para uma segunda instalação, que também destinará o hidrogênio produzido para o setor de transportes. Destaca-se que essa segunda cidade contemplada será *Rothsay Dock*, na margem norte do rio Clyde, em West Dunbartonshire.

Por fim, é importante destacar que a Peel NRE assinou um acordo de colaboração com o *Powerhouse Energy Group* – responsável pela criação da tecnologia utilizada – para desenvolver 11 instalações de produção de hidrogênio a partir de resíduos plásticos em todo o Reino Unido nos próximos anos, com a opção de direitos exclusivos para até 70 instalações.

Para saber mais detalhes sobre o projeto, acesse:

- [Peel NRE News](#)
- [Protos Plastic Park](#)

Uso Final do Hidrogênio

O hidrogênio é vetor energético essencial para promoção da descarbonização da economia, notadamente em setores de difícil redução de emissões, como a indústria e o transporte. Segundo dados da IEA de 2020, cada um desses setores é responsável por cerca de 23% das emissões de CO₂ a nível mundial, ficando atrás apenas do setor de eletricidade, responsável por 40% das emissões. Dessa forma, para que as metas firmadas no Acordo de Paris sejam cumpridas, faz-se necessária a utilização ampla do hidrogênio no setor energético, notadamente nesses setores.

No mês de junho foram identificados alguns desenvolvimentos notórios no que diz respeito às aplicações de hidrogênio, com destaque para os projetos destacados anteriormente e outras aplicações no setor de transporte e da indústria.

Setor de Transportes

Brasil

Nissan – IPEN: Etanol na Economia do Hidrogênio

Uso final: Transporte

Atualmente, o Brasil possui uma robusta infraestrutura no setor de transportes, em que o etanol merece destaque. Com isso, encontrar alternativas sustentáveis que estimulem a manutenção desses ativos existentes é fundamental. Consoante às potencialidades e características no Brasil, no dia 16 de junho de 2021, a Nissan e o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) renovaram seu acordo para o desenvolvimento de veículos movidos a hidrogênio e etanol combinados.

O novo acordo tem o intuito de avaliar e desenvolver componentes que tornem os projetos futuros de tecnologia das Células a Combustível de Óxido Sólido (SOFC) viáveis. No momento, a aplicação da tecnologia em escala tem como um dos principais impasses para o desenvolvimento do protótipo a integração do reformador que receberá o etanol, no qual acontecerá uma reação química responsável por separar o hidrogênio e uma pequena parte de CO₂.

De acordo com a montadora e o IPEN, o primeiro período de testes com o protótipo real do sistema foi realizado no Brasil entre 2016 e 2017. Dois veículos e-NV200 equipados com o sistema SOFC foram testados pela equipe de Pesquisa e Desenvolvimento da Nissan do Brasil. Assim, demonstraram que a tecnologia se adapta perfeitamente ao uso cotidiano e ao combustível brasileiro.

Atualmente, de acordo com os parceiros, os testes seguem em evolução conduzida pela área de Pesquisa e Desenvolvimento da Nissan no Japão.

Para saber mais sobre a parceria, acesse: [IPEN Notícias](#)

Austrália

Rio Tinto Pacific Operations Hydrogen Program

Uso final: Uso de H₂ no Processo de Produção da Alumina

O setor industrial da Austrália é responsável por cerca de 24% das emissões de manufatura da Austrália, sendo identificado como um setor estratégico para promoção da descarbonização. Assim, considerando que o processo produtivo da alumina é intensivo em energia e, atualmente, utiliza gás natural para aquecimento na etapa de calcinação, identifica-se uma grande oportunidade para redução parcial das emissões da produção.

Considerações

Sabe-se que a economia do hidrogênio está em desenvolvimento exponencial e que as barreiras para utilização ampla do hidrogênio são enormes. Todavia, as motivações são nobres e remontam, como nunca antes na história, aos objetivos do desenvolvimento sustentável.

Pelos destaques da cadeia de valor identificados no mês de junho, observa-se a estreita relação entre o setor de produção e o de uso do hidrogênio, haja vista que um depende do outro para se sustentar e assim promover o desenvolvimento, especialmente nesta fase emergente. Neste sentido, os projetos deixam claros os esforços que têm sido feitos para viabilização do uso em grande escala do hidrogênio, notadamente na indústria e no transporte.

Com esse panorama, salienta-se o papel das políticas públicas de incentivo no estímulo à economia do hidrogênio, sendo consideradas essenciais para redução de barreiras técnicas, econômicas e socioambientais. Diante disso, a próxima seção apresentará o que foi lançado nesse último mês no que concerne às políticas públicas e financiamentos.

Políticas Públicas e Financiamentos

A economia de hidrogênio está em estágio inicial de desenvolvimento e, assim, seu sucesso se dará por meio da ação conjunta entre a iniciativa privada e os governos. O setor privado é responsável, principalmente, pelo desenvolvimento tecnológico e sua respectiva produção e implementação. Já com relação ao papel dos governos, esse atua como um agente catalisador do mercado, garantindo incentivos adequados e reduzindo, assim, incertezas de caráter técnico, econômico e socioambiental (VIEIRA et al., 2021). Apesar dessa interação e do reconhecimento do hidrogênio como um vetor energético fundamental para a descarbonização, atualmente, os seguintes fatores são identificados como as principais barreiras para o desenvolvimento da economia do hidrogênio.

- (i) Aspectos normativos e regulatórios;
- (ii) Alto custo de investimento;
- (iii) Incertezas tecnológicas; e
- (iv) Infraestruturas incipientes em toda cadeia de valor.

Diante disso, políticas públicas de incentivo são essenciais para viabilizar o desenvolvimento da economia do hidrogênio.

Regulação

Certificado de Origem do Hidrogênio

Austrália

A Austrália é um país que está se posicionando como um dos principais *players* no desenvolvimento da economia do hidrogênio, notadamente para exportação de hidrogênio verde e de baixo carbono.

Neste sentido, considerando suas potencialidades e as perspectivas de se tornar um dos maiores exportadores de hidrogênio do mundo, o desenvolvimento de uma certificação de origem do hidrogênio – que garanta os interesses e a competitividade global da Austrália neste mercado emergente – é uma prioridade e um objetivo estratégico declarado em sua Estratégia Nacional de Hidrogênio. Diante disso, no dia 21 de junho foi aberta uma consulta pública, que se encerra dia 30 de julho, cujo objetivo é identificar se a Austrália está no caminho correto – aos olhos dos interessados – e quais sugestões para aprimoramento deste projeto estratégico. Acesse o documento de discussão: [Hydrogen Guarantee of Origin Scheme](#)



Hydrogen Guarantee of Origin scheme

Financiamentos

Atualmente, países como a Alemanha, Austrália e Japão são líderes no desenvolvimento de Projetos Pilotos e Demonstrativos para promoção da economia do hidrogênio e, para isso, os financiamentos são essenciais. Abaixo estão listados os principais financiamentos anunciados no mês de junho.

Alemanha

IPCEI - Projetos Importantes de Interesse Europeu Comum

Alemanha anuncia financiamento de € 8 bilhões para 62 Projetos Pilotos em toda cadeia de valor do hidrogênio

Os financiamentos dos projetos foram aprovados no âmbito do programa IPCEI e serão divididos em fundos federais e estaduais. Dos € 8 bilhões, cerca de € 4,4 bilhões vêm do Ministério Federal da Economia, € 1,4 bilhões do Ministério Federal dos Transportes e o restante dos recursos é disponibilizado pelos estados federais.



No que tange a produção de hidrogênio, espera-se que com os projetos anunciados, 40% da meta estabelecida pela Estratégia Nacional Alemã de 5 GW de eletrolisadores até 2030 seja cumprida. Já com relação a infraestrutura de transporte do hidrogênio, está prevista a construção de 1700 km de dutos.

Em termos de destinação final, a prioridade foi em aplicações em setores de difícil redução de emissões, como o setor industrial e de mobilidade. Neste sentido, o Ministério Federal de Transportes financiará 12 projetos, que vão desde o desenvolvimento até a produção de células a combustível e veículos leves e pesados. Em decorrência desses projetos, está prevista a implementação de infraestruturas de reabastecimento de hidrogênio a nível nacional e internacional.

Para saber mais sobre os projetos selecionados, acesse:

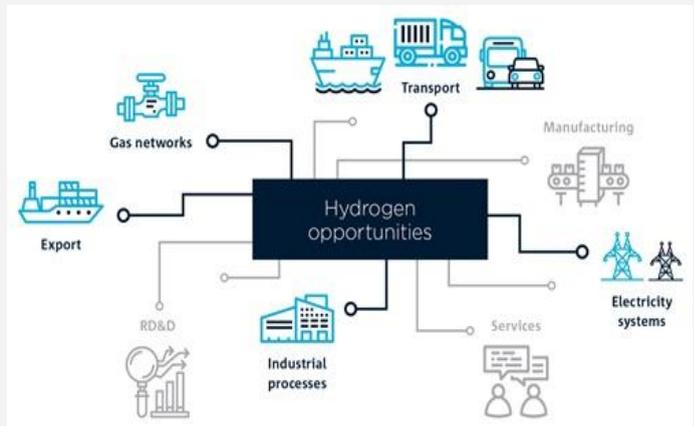
- [Ministério Federal de Transportes - BMVI](#)
- [Visão Geral dos Projetos Selecionados](#)
- [Nomeação e Mapeamento dos Projetos](#)

Austrália

Hydrogen Industry Mission

CSIRO anuncia investimento de \$ 68 milhões para apoiar mais de 100 Projetos de Hidrogênio

A utilização ampla do hidrogênio na economia requer esforços conjuntos do setor público e privado. Por ser uma economia emergente, a governança estratégica do desenvolvimento é essencial, visto que pode promover estímulos coordenados com base na Estratégia Nacional.



Neste sentido, a Missão da Indústria de Hidrogênio é vista como um desenvolvimento estratégico, capaz de contribuir com o objetivo de se obter um hidrogênio abaixo de \$ 2/kg. Para isso, a Missão se concentrará na entrega de quatro programas-chave de trabalho:

- 1. Hydrogen Knowledge Center:** tem como objetivo promover projetos de hidrogênio e desenvolvimentos da indústria em toda a Austrália. O primeiro módulo, HyResource , foi lançado em setembro com a NERA, o Future Fuels CRC e o Australian Hydrogen Council.
- 2. Estudos de viabilidade e estratégia:** tem como objetivo fornecer consultoria confiável ao governo, indústria e comunidade. Isso se baseia em modelagem de custo de hidrogênio recente e análise de barreira, fornecida como parte do desenvolvimento da Estratégia Nacional de Hidrogênio.
- 3. Projetos de demonstração:** tem como objetivo validar as cadeias de valor do hidrogênio e tecnologias facilitadoras de redução do risco.
- 4. Capacitação de ciência e tecnologia:** tem como objetivo, por meio de investimentos em inovação, estimular o desenvolvimento e comercialização de novas tecnologias de hidrogênio.

Dessa forma, observa-se que o investimento proposto, assim como toda estruturação de investimentos na economia do hidrogênio da Austrália, são pautados sob diretrizes estratégicas e coordenadas, capazes de estimular toda cadeia de valor do hidrogênio.

Para saber mais sobre o programa, acesse:

- [CSIRO - Hydrogen Industry Mission](#)

Inovações Tecnológicas

Tendo em vista que a economia de hidrogênio está em estágio inicial de desenvolvimento, inovações tecnológicas capazes de viabilizar a maior utilização do hidrogênio, seja por meio da redução de custos, de melhorias técnicas, dentre outras questões, são essenciais para o ganho de escala.

No campo da indústria de transportes, um dos principais setores de emissão de CO₂, só ficando abaixo do setor de geração de energia, merecem ser destacadas as iniciativas que têm sido desenvolvidas para a descarbonização através do uso das tecnologias de hidrogênio.

Neste sentido, esta seção tem como objetivo apresentar as principais inovações identificadas no mês de junho de 2021.

Veículos a Hidrogênio

Titan hydrogen - Tecnologia inovadora para células a combustível

A busca por sistemas mais eficientes e menores custos é um dos pontos centrais no desenvolvimento de tecnologias para economia do hidrogênio. Neste sentido, a empresa Titan Hydrogen está propondo duas inovações para o setor de transportes, em que a primeira é uma tecnologia inovadora para células a combustíveis, cujo objetivo é se obter maior eficiência, proporcionando maior autonomia. Já a segunda está relacionada ao desenvolvimento de um sistema de injeção de hidrogênio híbrido que estenderá a vida útil dos veículos existentes com motor de combustão interna reduzindo as emissões em até 30% e o consumo de combustível em até 20%, sem grandes modificações no motor.

É importante destacar que inovações como essas reduzem a necessidade de investimentos em infraestruturas de carregamento muito próximas uma das outras, otimizando a destinação de recursos e criando novas possibilidades.

Para saber mais detalhes, acesse:

- [Titan Hydrogen](#)

Considerações Finais

O acompanhamento sistemático do desenvolvimento da economia do hidrogênio por meio do Informativo Setorial de Hidrogênio ([IFE H2 - GESEL](#)) demonstrou a necessidade de avaliações analíticas periódicas, capazes de identificar diretrizes da economia do hidrogênio, notadamente a partir de desenvolvimentos concretos de políticas públicas, projetos, inovações, dentre outras questões relacionadas.

Assim, de forma conclusiva, este relatório mensal pode identificar a quantidade de projetos sendo anunciados ao redor do mundo, não estando somente nos principais polos de desenvolvimento da economia do hidrogênio. Apesar disso, países como a Alemanha e a Austrália continuam sendo destaque pela relevância das atividades propostas, que abrangem toda cadeia de valor de forma coordenada e estratégica.

No âmbito da produção de hidrogênio, sistemas de eletrólise alimentados por fontes renováveis são a maioria, todavia, a produção de hidrogênio a partir de resíduos plásticos chama atenção pela aplicabilidade e capacidade de resolução de múltiplos problemas e desafios da sociedade. Tratando especificamente do uso final do hidrogênio, pode-se perceber que os setores mais atrativos são o de transporte e o industrial, tendo em vista o potencial de redução de emissões que a inovação nesses setores traria. Neste âmbito, as aplicações de aquecimento em indústrias de alumina, bem como a proposição de inovações relacionadas ao transporte, no mês de junho, chamam atenção.



Observatório de Hidrogênio

ISBN: 978-65-86614-29-9



@geselufrj