



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.

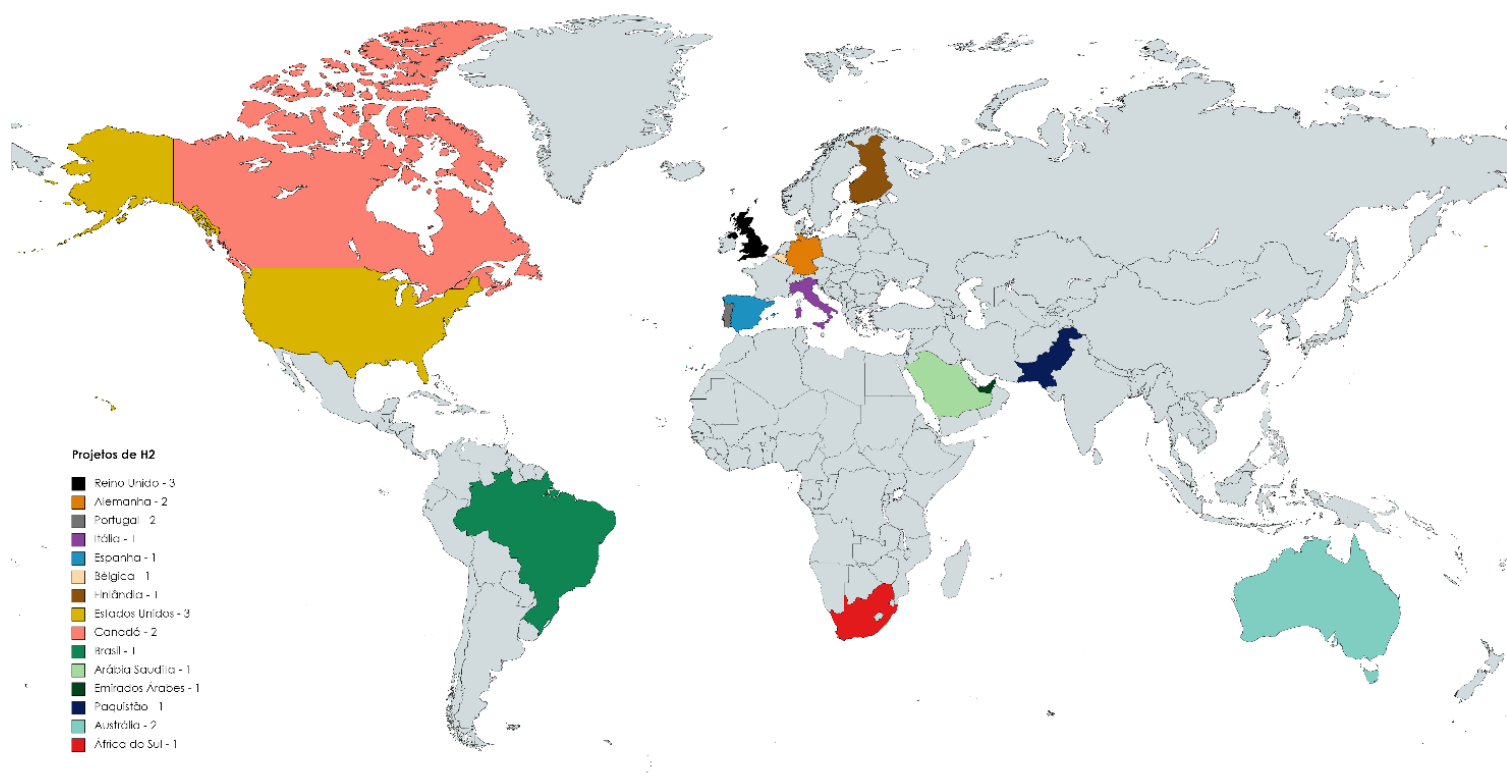


Figura 1: Mapa da distribuição de projetos identificados em dezembro de 2021 no mundo

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.

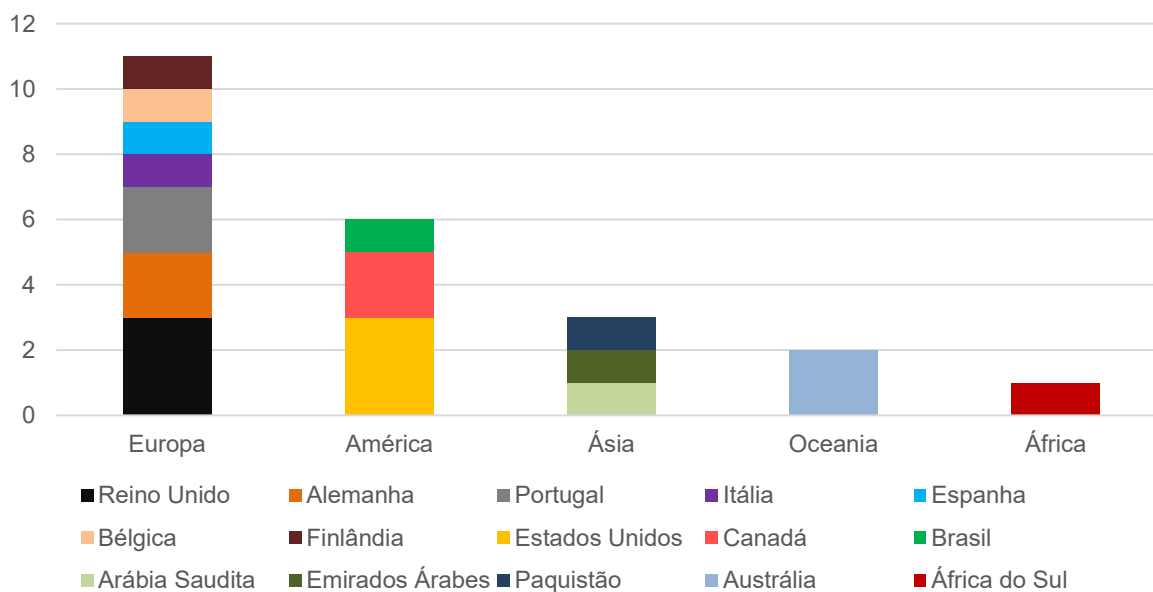


Figura 2: Distribuição de projetos identificados em dezembro de 2021 por continentes e países
Fonte: Elaborado pelos autores.

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.

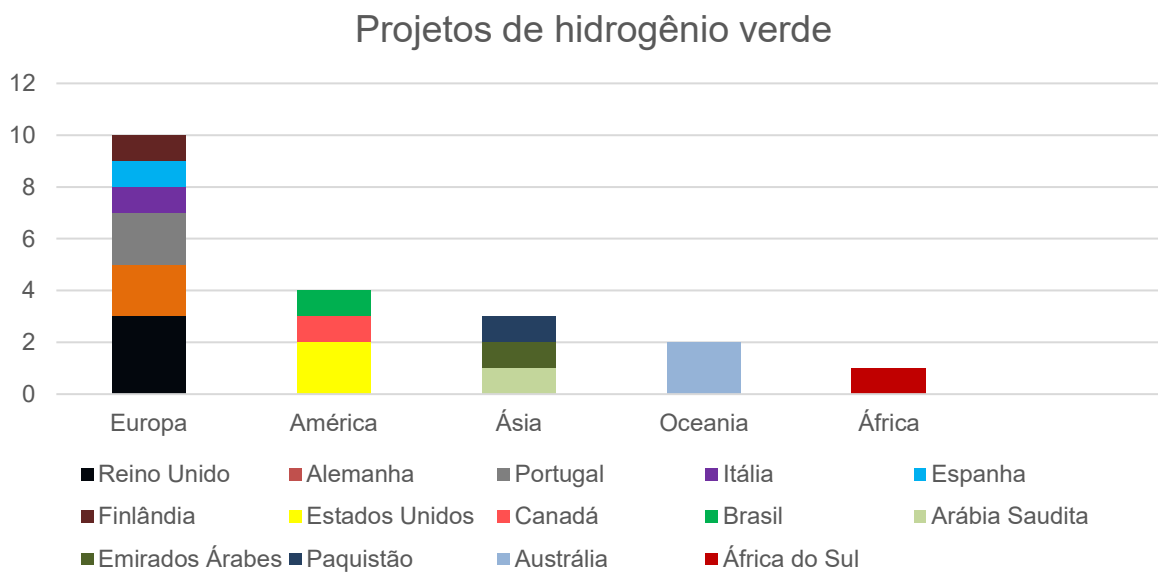


Figura 4: Projetos de hidrogênio verde identificados referente a dezembro
Fonte: Elaborado pelos autores.

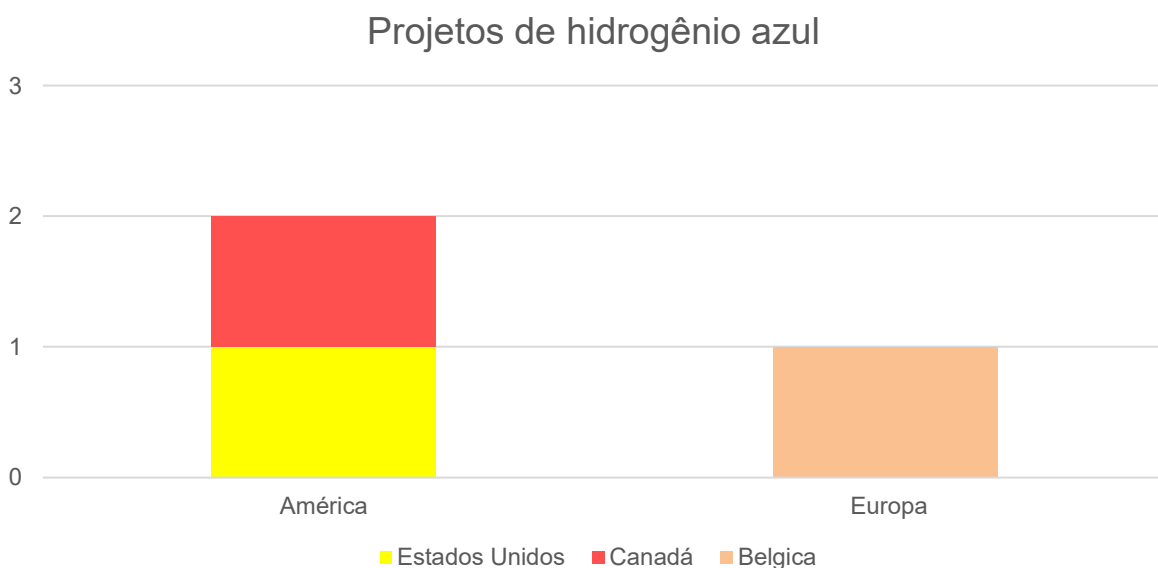


Figura 5: Projetos de hidrogênio azul identificados referente a dezembro
Fonte: Elaborado pelos autores.

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.

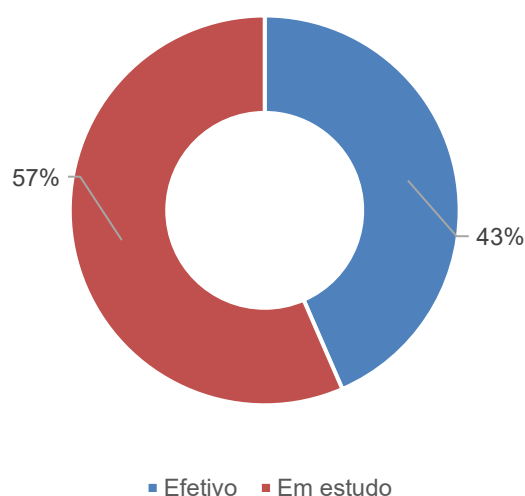


Figura 6: Classificação dos projetos identificados pelo status de desenvolvimento
Fonte: Elaborado pelos autores.

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](#)

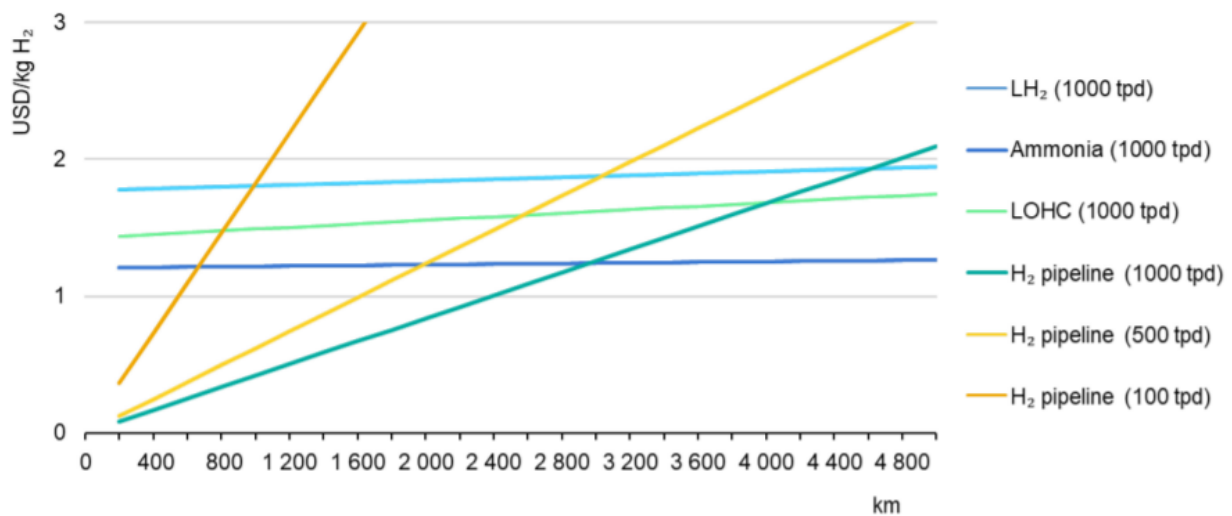
Cenário Internacional

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.

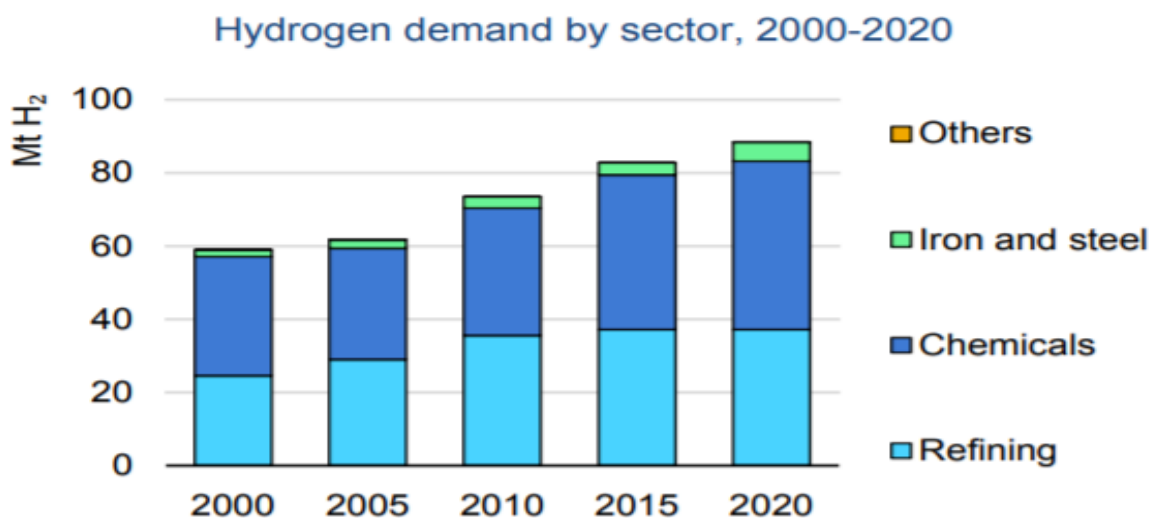
Para saber mais: [Clique aqui.](#)

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