



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Observatório de Hidrogênio

Nº 02

OUTUBRO

2021

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.

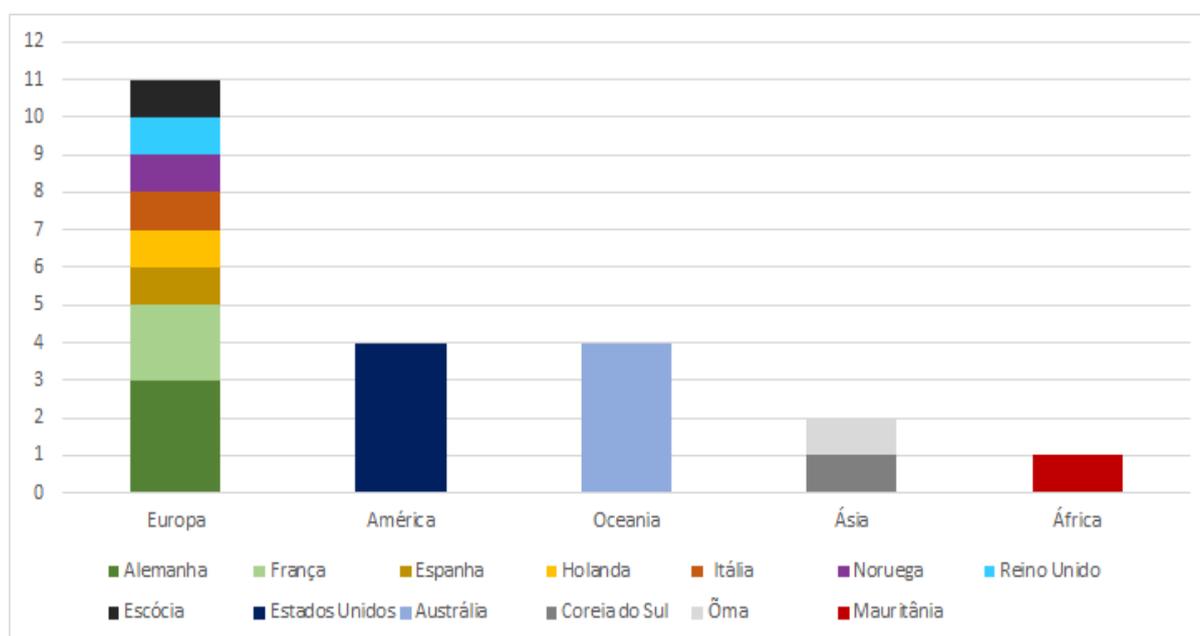
A Economia de Hidrogênio no Mundo

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.

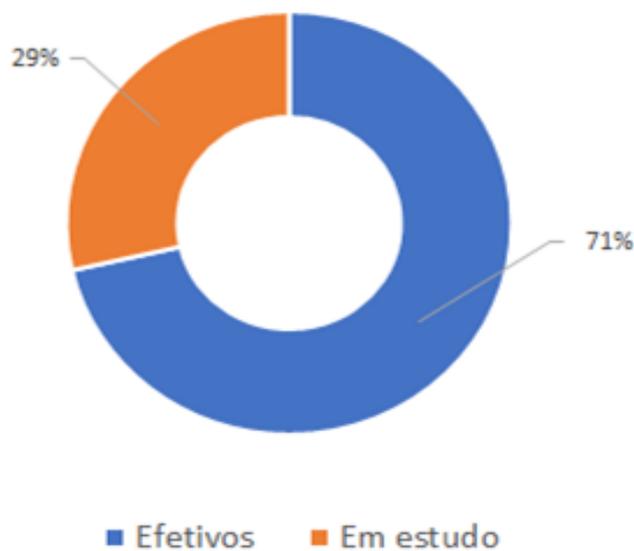
No continente europeu, a Alemanha é um país que constantemente está em destaque. Com três novos projetos identificados no mês analisado, o país continua a desenvolver a infraestrutura do gás na sua localidade. Ademais, é válido salientar que todos os projetos são de hidrogênio verde, o que demonstra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

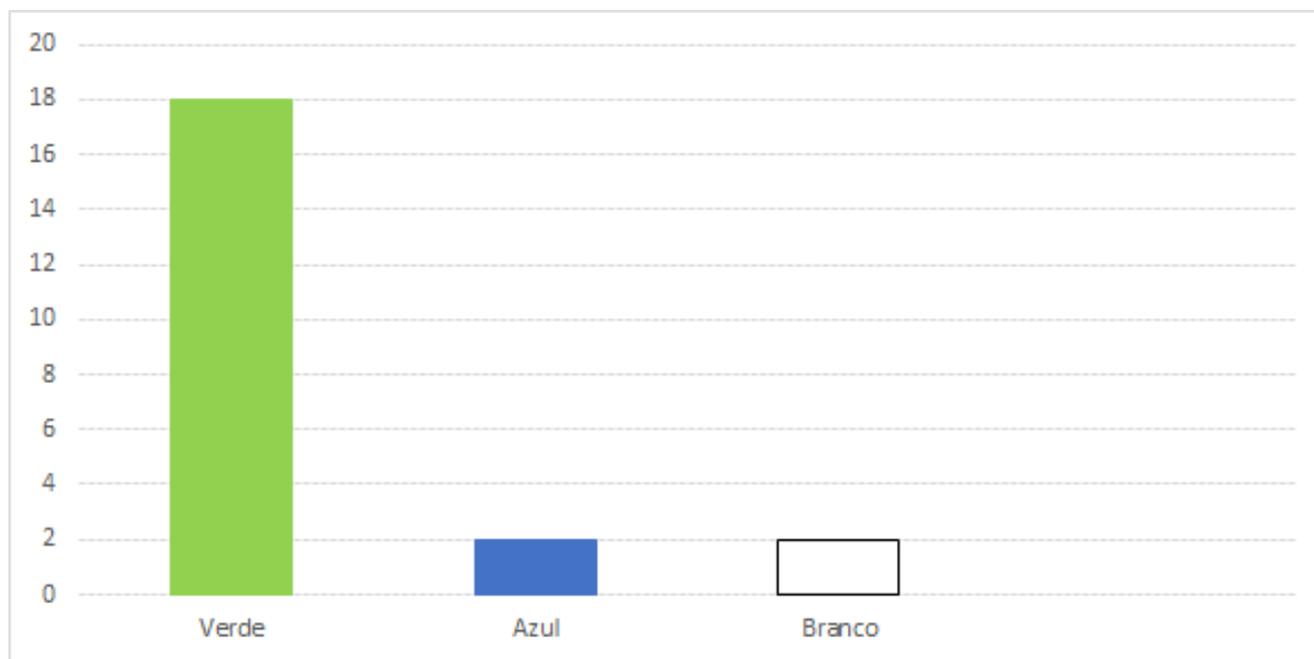


Fonte: Elaborado pelos autores.

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*.

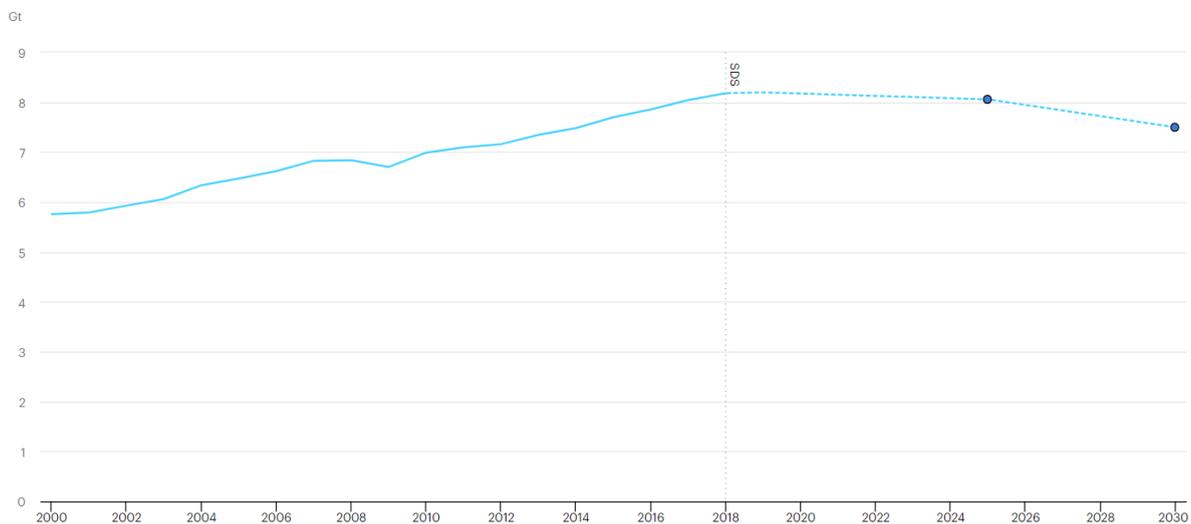
Por fim, no que diz respeito aos outros projetos, vale salientar o método de produção que foi utilizado, a matéria prima e a fonte de energia. Em relação ao hidrogênio azul, foi utilizado o gás natural submetido ao processo de reforma a vapor do metano, com a posterior captura de carbono pelo método 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

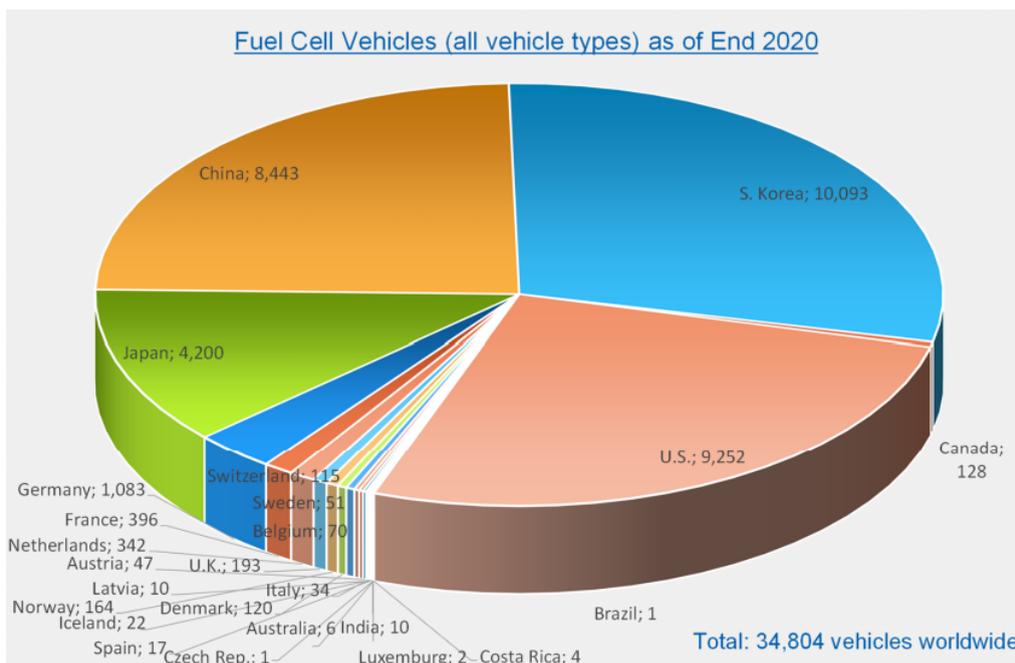
As tecnologias de células a combustível permitem a conversão altamente eficiente de hidrogênio em calor e energia. Destaca-se que, no setor de transportes, elas podem ampliar o portfólio de veículos elétricos, contribuindo para o processo de transição das frotas de veículos à combustão, especialmente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

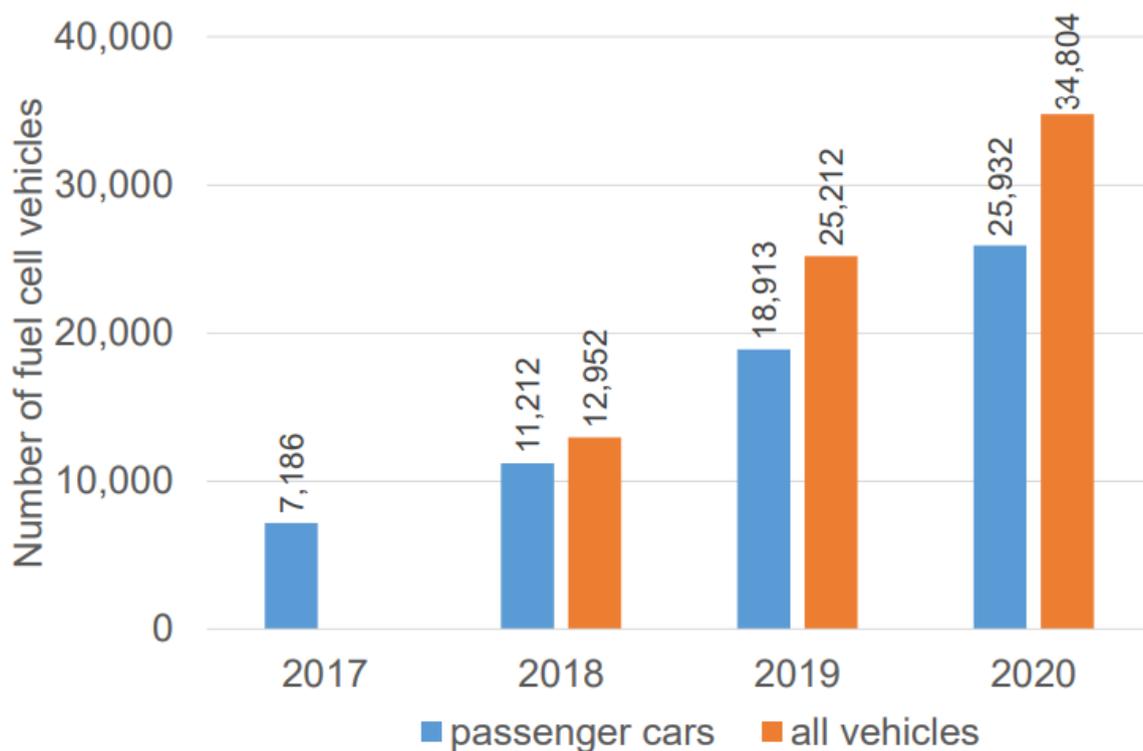
Gráfico 5 – Quantidade de FCEVs por país no final de 2020.



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.

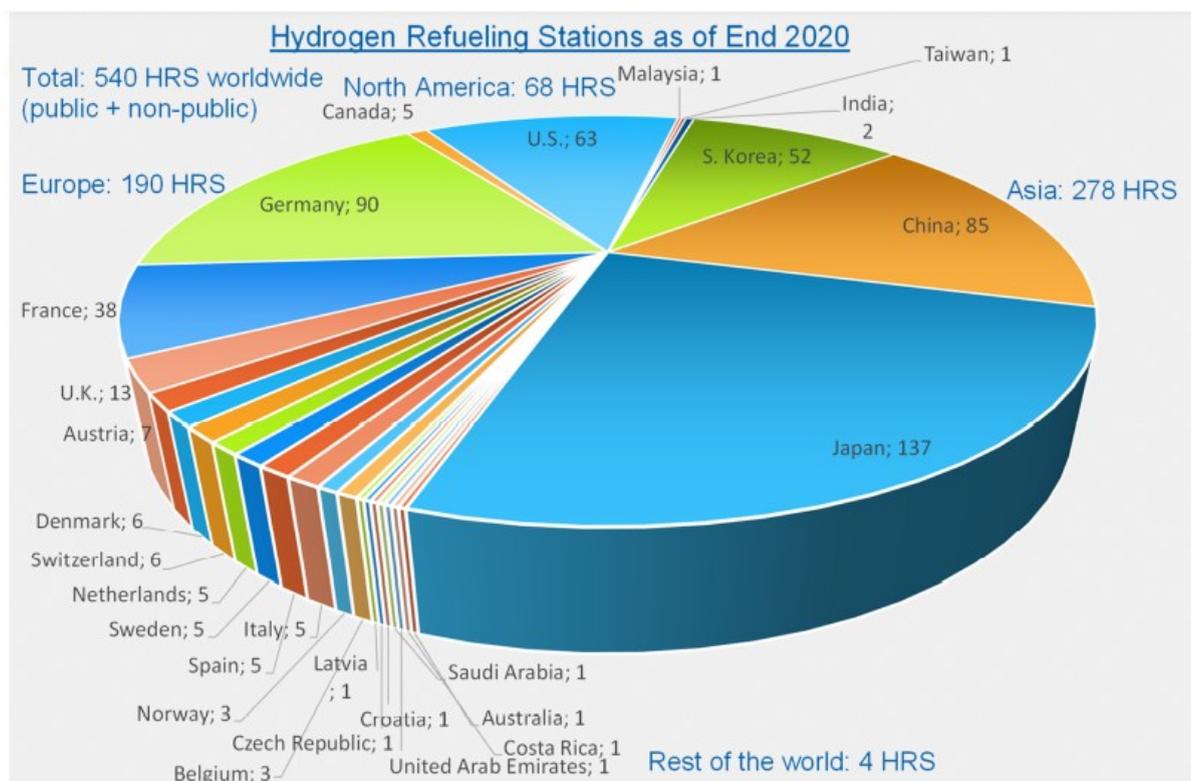
FCEV	Toyota Mirai	Hyundai Nexo	Honda Clarity	Mercedes-Benz GLC
Autonomia (km)	650	700	650	500
Capacidade do Tanque (kg)	5,5	6,33	5,46	4,4
Pressão (bar)	700	-	700	700
Bateria	Lítio-íon	Lítio-íon Polymer	Lítio-íon	Lítio-íon

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