

<sup>1</sup>  
**H**

# **HIDROGÊNIO**

**CENÁRIO E  
POTENCIAL  
DESTE  
COMBUSTÍVEL  
NO BRASIL**

**Realização**

WWF-Brasil

**Coordenador de Conservação**

Ricardo Junqueira Fujii

**Estagiária de Conservação**

Samara Santos

**Analista de Engajamento**

Maíra Teixeira

**Gerente de Ciências**

Mariana Napolitano

**Design gráfico Projeto editorial  
e Ilustrações**

Laboota



O **WWF-Brasil** é uma ONG brasileira que há 25 anos atua coletivamente com parceiros da sociedade civil, academia, governos e empresas em todo país para combater a degradação socioambiental e defender a vida das pessoas e da natureza. Saiba mais em: [wwf.org.br](http://wwf.org.br)

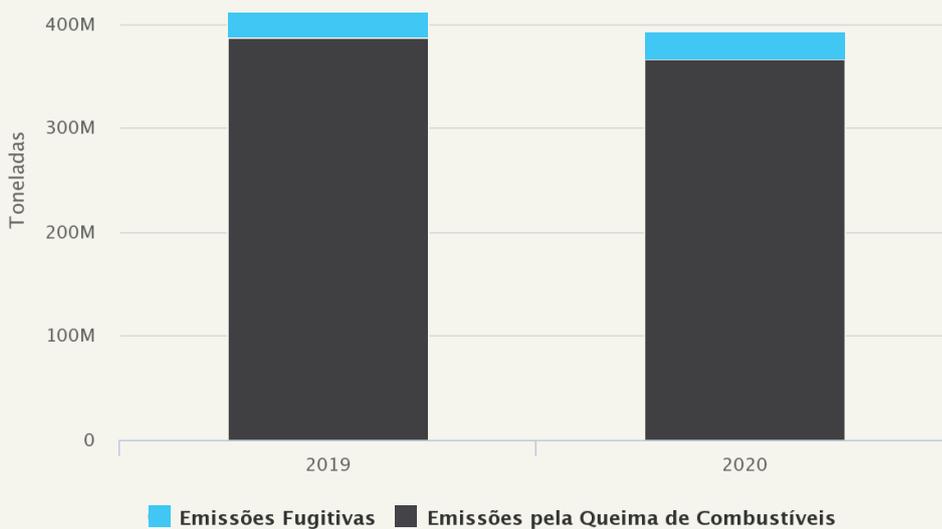
# SUMÁRIO

1. HIDROGÊNIO	3
2. POR QUE HIDROGÊNIO	4
3. TRANSPORTES	5
4. CENÁRIO BRASILEIRO	8
5. REFERÊNCIAS	9

# 1 HIDROGÊNIO

Em 2020 as emissões pela queima de combustíveis no Brasil representaram aproximadamente 347 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (SEEG), uma pequena redução na comparação com 2019 - e reflexo da redução da atividade industrial e de veículos nas ruas em razão da pandemia de COVID-19.

Figura 1. Emissões pela queima de combustíveis no Brasil 2019 - 2020



O setor de transportes é, em grande parte, dependente de combustíveis fósseis e por esse motivo as metas de descarbonização são muito desafiadoras porque cobrem a redução global de emissões de CO<sub>2</sub> em 45% até 2030 e a neutralidade em 2050, de acordo com o documento final da COP 26, assinado em 2021. Uma opção para a substituição dos fósseis no setor é a eletrificação dos veículos. Esta aposta está ancorada na previsão de redução do preço da energia à medida que as renováveis ganhem escala e sejam fontes regulares. Neste contexto, combustíveis renováveis e limpos ganham espaço e importância, como é o caso do hidrogênio combinado com células combustíveis.

O hidrogênio é encontrado principalmente em sua forma gasosa H<sub>2</sub>, estando presente em hidrocarbonetos e na molécula de água. A demanda global por hidrogênio

em 2020 foi de 90 milhões de toneladas (Mt), sendo de aproximadamente 45 Mt na indústria química, com cerca de 3/4 destinada à produção de amônia e 1/4 para produção de metanol, como aponta o *Global Hydrogen Review 2021*.

Além da indústria química, o hidrogênio está presente na indústria de refino de petróleo e nos processos de tratamento do aço, com quase toda sua produção atual de origem fóssil por meio da reforma a vapor do gás natural. Há uma expectativa crescente de que o uso deste vetor energético amplie a utilização de fontes renováveis para produção de combustível nos transportes e na produção de combustíveis sintéticos. Uma das técnicas mais promissoras para apoiar a transição energética é a eletrólise da água com eletricidade renovável - o chamado hidrogênio verde (ver caixa).

## Alguns fatores devem influenciar diretamente a entrada do hidrogênio verde nas cadeias de produção:



A equiparação do preço do hidrogênio verde com o do hidrogênio cinza, viabilizado pela queda estimada no médio e longo prazo do preço da eletricidade. No melhor cenário o hidrogênio verde poderá ser produzido usando fontes renováveis a um custo de 20 US\$/MWh. (IRENA, 2020)



Aumento do potencial de produção por parte dos eletrolisadores



A normatização e regulação de mercado

2

## POR QUE HIDROGÊNIO?

### Potencial de redução de emissões em vários setores

O hidrogênio pode ser utilizado não somente como combustível no setor de transportes, mas também como matéria-prima para produtos em outros setores, o que irá influenciar diretamente na redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) quando produzido a partir de fontes renováveis. Atualmente a produção de hidrogênio por meio da reforma a vapor do gás natural é responsável por 6% do uso global deste produto que combinada à produção a partir do carvão mineral somaram juntas, em 2020, emissões equivalentes a 900 Mt de CO<sub>2</sub>.

### Oferta de combustíveis sustentáveis

O hidrogênio, independente da sua forma de produção, não altera a composição de produtos nas cadeias. Mas produtos feitos a partir do hidrogênio verde podem se tornar verdes. Ao se utilizar hidrogênio verde para produzir amônia, uma das principais aplicações atuais de uso do hidrogênio, poderá se obter amônia verde.

A amônia é produzida pela reação entre hidrogênio e nitrogênio e é apontada como uma forma de transporte do hidrogênio com maior eficiência, e tem usos previstos como combustível para navegação.

O hidrogênio verde ainda poderá ser utilizado na composição de outros combustíveis, sintetizados a partir dele, que se beneficiarão das características da cadeia quase 100% livre de produção do H<sub>2</sub>V.

## TRANSPORTES

O hidrogênio como combustível para o setor de transportes não é uma alternativa nova, mas resultado de experiências realizadas ao longo do século XIX até os dias de hoje. Os primeiros usos do H<sub>2</sub> como combustível foram em motores a combustão interna, mas foram substituídos pelos combustíveis de origem fóssil, mais baratos, por volta de 1806. Já no século

XX, com a necessidade de se buscar tecnologias cada vez mais eficientes, e menos poluentes, os veículos elétricos a célula a combustível (*Fuel Cell Electric Vehicles*, FCEV, na sigla em inglês) se tornaram objeto de pesquisa de desenvolvimento por grandes montadoras, não somente pensando em veículos de passeio, mas também visando o transporte coletivo.

### Células combustíveis

O hidrogênio é utilizado por meio de células a combustível em veículos elétricos, nos quais a reação entre o hidrogênio e oxigênio gera energia elétrica que alimenta a bateria e gira o motor. Essa reação pode acontecer de forma contínua enquanto a célula estiver sendo alimentada com o combustível, se diferenciando da vida útil das baterias atuais. Outra grande vantagem do uso do hidrogênio está na ausência de poluentes: a queima tem como único produto a água (H<sub>2</sub>O), desde que a reação aconteça na presença de hidrogênio e oxigênio puro.

Figura 2. Automóvel a célula a combustível

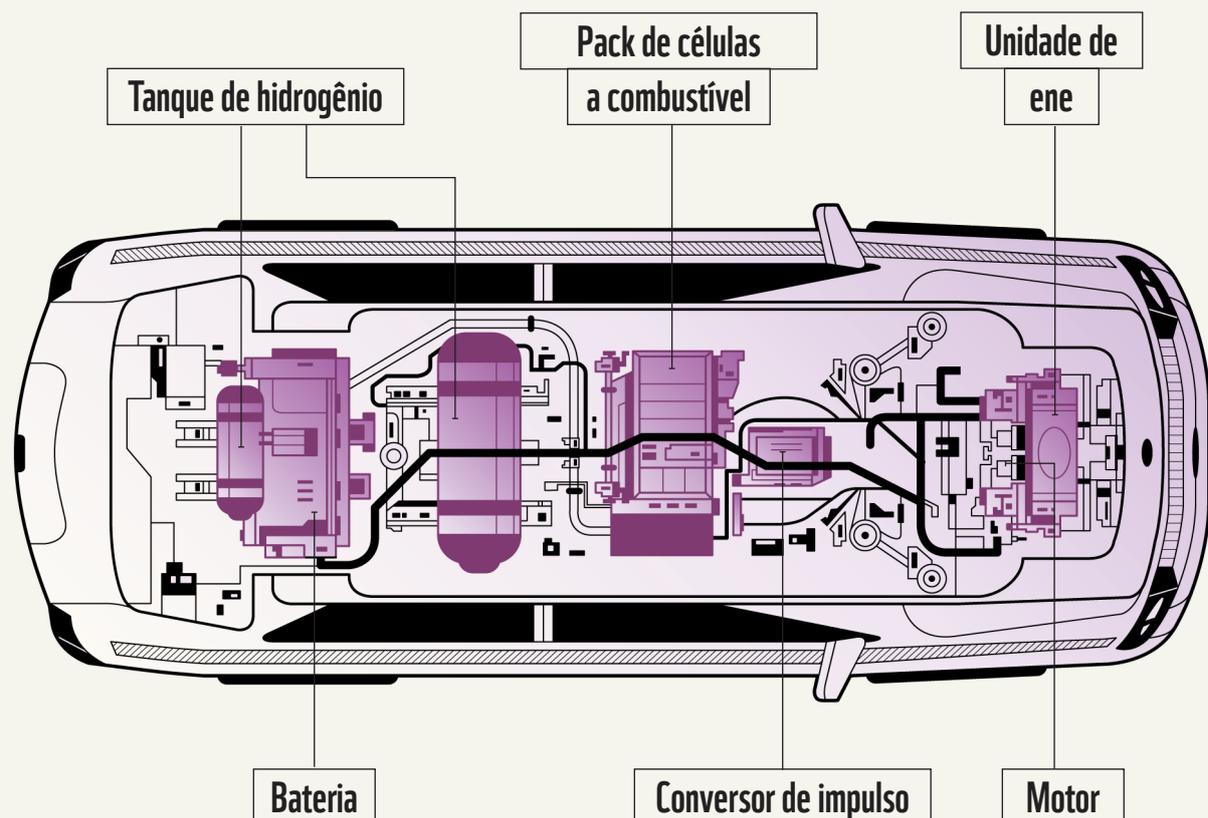
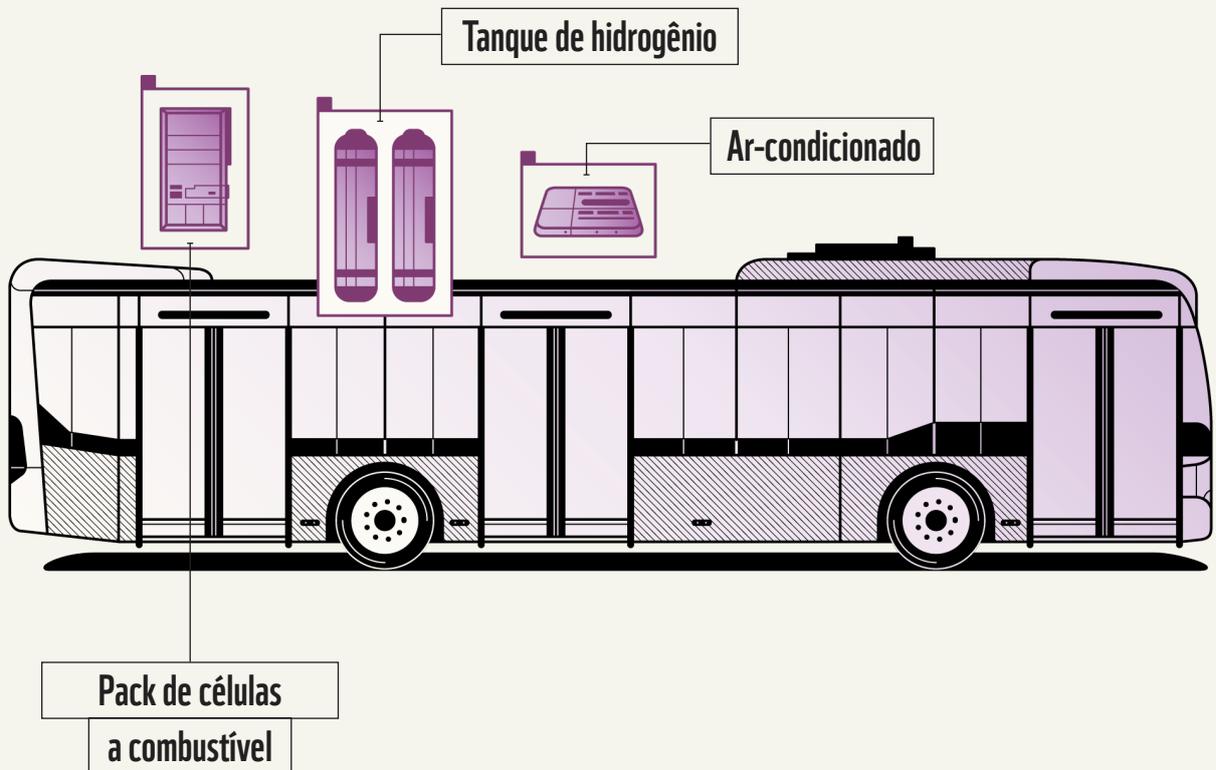
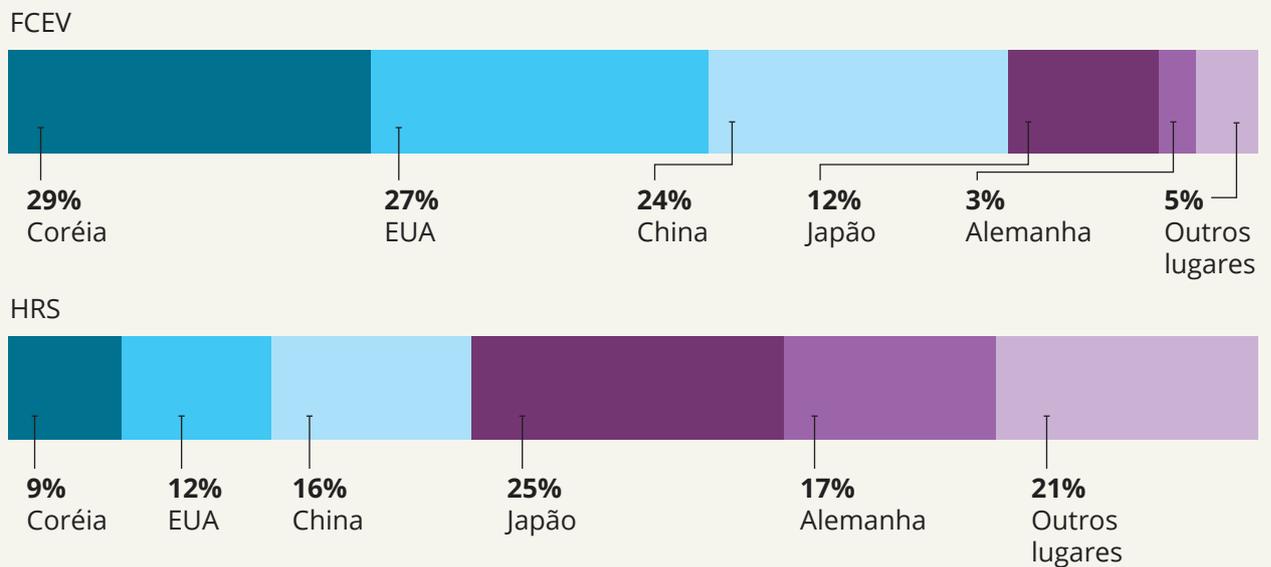


Figura 3. Ônibus a célula a combustível



Em 2020 a maior parte da frota de veículos a célula combustível (FCEV) do mundo estava concentrada na Ásia, entre Coreia do Sul, Japão e China, enquanto o restante dos veículos se dividia entre Estados Unidos, Alemanha e outros locais. Ao total, atualmente há cerca de 35 mil veículos FCEVs, atendidos por 540 estações de reabastecimento (Hydrogen Refueling Stations – HRS).

Figura 4. Porcentagem de veículos a célula combustível e estações de reabastecimento de hidrogênio por países 2020



## CENÁRIO BRASILEIRO

O Brasil tem posição de destaque em relação à sua capacidade de produção de insumos, o que se explica pela disponibilidade de fontes renováveis de energia, recursos hídricos e outros recursos naturais. Esse interesse também ocorre em relação ao hidrogênio verde.

A possibilidade de expansão da geração de eletricidade renovável de baixo impacto dá ao Brasil uma vantagem que seria melhor explorada com estímulos à produção de hidrogênio verde, expandindo o uso da eletricidade renovável para além do setor elétrico, aumentando a parcela de energia renovável em toda a matriz energética. O Brasil também tem a possibilidade de utilizá-lo dentro das suas próprias cadeias de produção, assim como exportá-lo para países que estão em busca de tornar suas matrizes mais limpas, mas que não possuem recursos renováveis suficientes.

A despeito do Brasil ter batido o seu recorde de emplacamento de veículos elétricos em 2021 com quase 35 mil unidades, ou um aumento de 77% em relação aos emplacamentos de 2020, os veículos elétricos, que compreendem veículos híbridos, plug-in e 100% a bateria, ainda correspondem a menos de 0,2% da frota de veículos leves, e menos de 0,1% de todos os veículos registrados no Brasil. A adoção dos FCEV abastecidos com hidrogênio verde é mais uma alternativa para aumentar a participação dos veículos elétricos no país.

Em 2010 foi colocado em funcionamento um protótipo de ônibus a célula combustível abastecida com hidrogênio na cidade de São Paulo<sup>1</sup>, tendo operado até junho de 2016. Outro projeto foi conduzido no Rio de Janeiro, operando a partir de 2010. Também foi realizado pelo laboratório COPPE da Universidade Federal do Rio de Janeiro, o projeto do Ônibus Híbrido a Hidrogênio, que teve sua primeira versão lançada em 2010 e em 2012 foi apresentado durante a Rio+20



Figura 5. Ônibus protótipo da EMTU (São Paulo)



Figura 6. Ônibus híbrido a hidrogênio (Rio de Janeiro)

<sup>1</sup> O projeto ocorreu no Corredor São Mateus/Jabaquara (na cidade de São Paulo), parte do Projeto PNUD BRA/99/G32 - Ônibus à Célula a Combustível Hidrogênio para Transporte Urbano no Brasil. O projeto era mantido pela Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo (EMTU/SP), o Ministério de Minas e Energia (MME), o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), o Global Environmental Facility (GEF) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e vigorou até março de 2016, enquanto o ônibus se manteve em funcionamento até junho de 2016 no trecho.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda que os maiores investimentos em veículos elétricos no mundo estejam voltados aos automóveis individuais, a priorização no Brasil de investimentos para a utilização do hidrogênio e células combustíveis focados no transporte público de massa proporcionaria ganhos para a qualidade do ar e da saúde pública. Os projetos citados aqui como exemplos mostram como o transporte coletivo, que em sua maior parte utiliza diesel, pode se tornar um indutor da justiça energética, além de ser beneficiado pelo uso do hidrogênio.

O Brasil tem potencial para prover e utilizar fontes renováveis de energia na escala exigida pelas mudanças climáticas. A utilização do hidrogênio verde em células a combustível pode se constituir em uma alternativa complementar ao uso de biocombustíveis em motores a combustão e aos veículos elétricos à bateria, facilitando a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) nos transportes e melhorando a qualidade do ar, especialmente nos grandes centros urbanos. Esses são fatores que contribuem com uma transição energética justa e que podem garantir o futuro de novas gerações. Para tanto, recomenda-se a adoção de políticas públicas para:



Fomentar a pesquisa e desenvolvimento das tecnologias para produção e uso de hidrogênio verde no Brasil;



Estimular a oferta de hidrogênio verde para uso no Brasil e para exportação;



Incorporar os custos das emissões de gases de efeito estufa nos setores que utilizam hidrogênio, seja como combustível ou matéria-prima;



Adotar projetos-piloto para utilização de veículos a hidrogênio no Brasil, notadamente no transporte público em grandes cidades.

## REFERÊNCIAS

IEA (2021), Global Hydrogen Review 2021, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>

IRENA (2020), Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Figura 1 - SEEG Brasil - Seeg Brasil

Figura 2 - DE MIRANDA, Paulo Emilio V. Science and engineering of hydrogen-based energy technologies. 2019.

Figura 3 - <https://www.coppe.ufrj.br/pt-br/a-coppe/coppe-produtos/onibus-hibrido-a-hidrogenio>

Figura 4 - Global ev outlook 2021. International Energy Agency: Paris, France, 2021.

Figura 5 - Ônibus a Hidrogênio – São Paulo <https://www.emtu.sp.gov.br/emtu/empreendimentos/projetos-de-desenvolvimento-tecnologico/onibus-a-hidrogenio/onibus-a-hidrogenio-apresentacoes.fss>

Figura 6 - Ônibus híbrido a hidrogênio – Rio de Janeiro <https://www.coppe.ufrj.br/pt-br/a-coppe/coppe-produtos/onibus-hibrido-a-hidrogenio>