

Visão geral do hidrogênio

“Reconhecemos que o hidrogênio renovável e de baixo carbono [...] deve ser desenvolvido e usado onde tiver impacto como uma ferramenta eficaz de redução de emissões para promover a descarbonização de todos os setores e indústrias”

Declaración G7 2023¹⁹



O que é H₂?

O hidrogênio (H₂) é o elemento químico mais leve e a substância mais abundante no universo (75% é H₂)²⁰. Ele tem as propriedades de um vetor energético, ou seja, pode ser usado para armazenar e transportar energia para ser liberada posteriormente. Além disso, no caso do hidrogênio, essa liberação de energia é realizada sem a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, ao contrário dos combustíveis fósseis. Essa propriedade, juntamente com o fato de que seu uso pode ser estendido a uma infinidade de aplicações industriais e comerciais, faz dele um elemento essencial na transição energética para um ecossistema mais sustentável.

As propriedades mais marcantes que dão ao hidrogênio o potencial de ser um fator de transformação do modelo energético atual são as seguintes:

- ▶ **Alto poder calorífico e baixa densidade energética por volume.** O hidrogênio tem um alto poder calorífico (a energia de 1 quilograma de gás de hidrogênio é aproximadamente a mesma de 2,8 quilogramas de gasolina), mas, por ser um gás leve e ocupar muito volume em sua forma natural, tem uma densidade energética por volume muito menor do que a de outros combustíveis (vide LH₂ e CH₂ na Figura 4). Isso significa que, dependendo da aplicação, ele não é necessariamente a opção mais eficiente em termos de energia²¹, pois, embora um motor elétrico alimentado por uma célula de combustível de hidrogênio seja de duas a três vezes mais eficiente do que um motor de combustão interna a gasolina²², quando se consideram as transformações anteriores necessárias para produzir o hidrogênio (por exemplo, o processo de eletrólise com uma eficiência de cerca de 60%) ou em comparação com a mobilidade elétrica, que tem eficiências de cerca de 90% para carros com baterias, sua eficiência não é um fator decisivo.
- ▶ **Inesgotável.** Ele se encontra armazenado na água, em hidrocarbonetos (como o metano -CH₄ -) e em outras matérias orgânicas, portanto, a priori, o hidrogênio pode ser considerado inesgotável.

- ▶ **Armazenável.** Diferentemente de outras formas de energia, ela pode ser armazenada e transportada de várias maneiras (transporte de hidrodutos, transporte marítimo, transporte terrestre etc.).
- ▶ **Flexibilidade de produção.** Ele pode ser produzido a partir de diferentes fontes e em diferentes partes do mundo, adaptando-se à disponibilidade de energia renovável em cada região.

¹⁹ G7 Ministers meeting on Climate, Energy and Environment in Sapporo, Japan April 15, 2023.

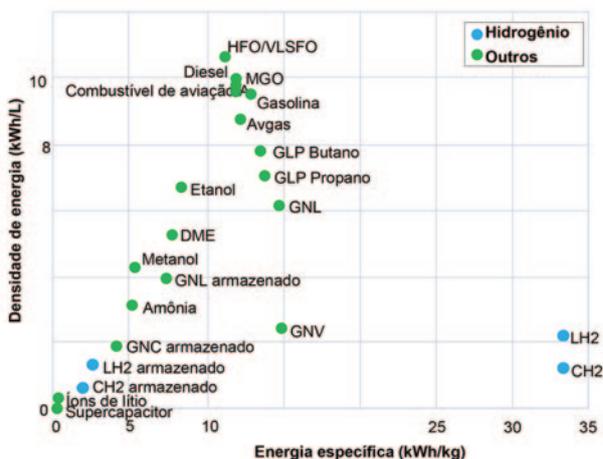
²⁰ PNA – CSIC: “A origem dos primeiros elementos químicos”.

²¹ National Renewable Energy Laboratory. “National Renewable Energy Laboratory” (2020).

²² US Department of Energy, “Hydrogen Basics” (2022).

²³ IRENA: International Renewable Energy Agency.

Figura 4. Densidade energética e energia específica de diversos combustíveis e sistemas de armazenamento de energia.



Notas: Avgas = gasolina de aviação; CH₂ = hidrogênio comprimido a 70 Mpa; CNG = gás natural comprimido a 25 Mpa; DME = éter dimetilico; HFO/VLSFO = óleo combustível pesado/óleo combustível com baixíssimo teor de enxofre; LH₂ = hidrogênio liquefeito; Li-ion = íons de lítio Bateria; GNL = gás natural liquefeito; GLP = gás liquefeito de petróleo; GNC armazenado = tanque Tipo IV a 250 bar; CH₂ armazenado = melhores tanques de CH₂ disponíveis a 70 Mpa; LH₂ armazenado = tanques de bordo de LH₂ atuais de pequena escala; GNL armazenado = tanques de bordo de pequena escala Armazenamento em condições criogênicas; MGO = gásóleo marítimo. Os números são expressos em uma base de menor valor de aquecimento (LHV). O peso do equipamento de armazenamento está incluído.

Fonte: IRENA²³. “Hydrogen Overview” (2022).

- ▶ **Versatilidade de conversão em derivados.** Ele pode ser combinado com outros elementos para formar vários produtos derivados (como hidrocarbonetos, amônia, metanol e combustíveis sintéticos etc.), com maior densidade por unidade de volume do que o gás e, portanto, maior eficiência, por exemplo, para fins de transporte.

Além das propriedades acima, se o hidrogênio for produzido sem emissão de gases de efeito estufa, ele é considerado um combustível limpo. Isso ocorre, por exemplo, no caso da produção por eletrólise da água de fontes renováveis, com a emissão de oxigênio como subproduto do processo e, em seguida, de vapor de água durante a combustão. Deve-se observar que o hidrogênio produzido a partir de outras fontes de energia não renováveis também é considerado hidrogênio limpo, mas quando a emissão de CO₂ no processo de produção é controlada e não ultrapassa os limites estabelecidos, o que dependerá do país e de sua legislação.

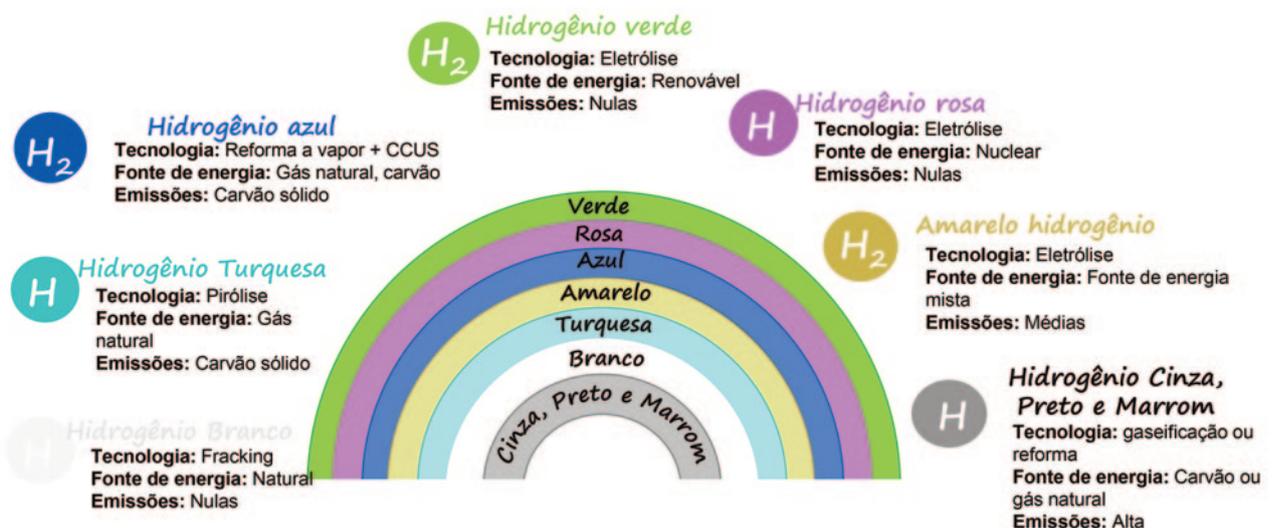
Que tipos de H₂ existem?

No planeta, o hidrogênio é encontrado combinado com outros elementos, como o carbono, formando compostos orgânicos, ou o oxigênio, formando moléculas de água. Para separar o hidrogênio do elemento que o acompanha, é necessário submeter os compostos a processos específicos. Dependendo do processo e da energia utilizada no processo, o hidrogênio é chamado por diferentes nomes (vide figura 5):

- ▶ **Verde.** Esse é o hidrogênio gerado pela eletrólise da água, usando eletricidade de fontes renováveis (hidrogênio renovável). O hidrogênio gerado pela reforma do gás natural, mas substituindo-o por biometano, e o hidrogênio gerado por métodos baseados em fotocatalise e fotoeletrocatalise em que o recurso energético é renovável e não há emissão de CO também são considerados verdes.
- ▶ **Rosa.** Ele é chamado de rosa quando é obtido por eletrólise, mas a fonte de energia usada para produzir a eletricidade é a energia nuclear. Ela é considerada limpa devido às baixas emissões de carbono em sua produção.
- ▶ **Azul.** Esse hidrogênio também é obtido a partir de hidrocarbonetos, mas, nesse caso, as emissões de poluentes são capturadas e armazenadas usando tecnologias CCUS²⁴. Isso possibilita a produção de hidrogênio com baixo teor de carbono, que é considerado hidrogênio limpo.
- ▶ **Amarelo.** Nesse caso, o método de produção de hidrogênio também é a eletrólise, mas a fonte de eletricidade usada é mista (não totalmente renovável).
- ▶ **Turquesa.** O hidrogênio é gerado por meio da pirólise de um metal fundido, passando gás natural por ele, liberando hidrogênio e carbono em estado sólido.

²⁴Carbon capture, utilization and storage (CCUS).

Tipos de hidrogênio por método de produção, fonte de energia e emissões.



Fonte: Técnicas Reunidas "Presente e futuro do hidrogênio".

- ▶ **Branco.** O hidrogênio encontrado na natureza, geralmente encontrado em depósitos subterrâneos, e portanto considerado renovável, é chamado de branco .
- ▶ **Preto, cinza e marrom.** É obtido a partir de hidrocarbonetos (metano, carvão, etc.), por meio de técnicas de reforma a vapor, oxidação parcial e reforma autotérmica; ou gaseificação do combustível fóssil, separando assim a ligação de carbono e hidrogênio.

Entre todas as formas de produção de hidrogênio, é o hidrogênio verde que está recebendo o maior impulso regulatório, pois a ausência de emissões de gases de efeito estufa durante sua produção o torna o principal catalisador no processo de transição energética para uma economia neutra em carbono.

²⁵Earth-Science Reviews. "The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review" (2020).



Consideração do hidrogênio como renovável

Para impulsionar o papel do hidrogênio, os diferentes órgãos reguladores estão definindo as premissas sob as quais o hidrogênio pode ser considerado verde ou renovável . A título de exemplo, a União Europeia considera o hidrogênio renovável se ele atender às seguintes características:

- Os combustíveis líquidos e gasosos de origem não biológica que são produzidos a partir da eletricidade são considerados renováveis somente quando a eletricidade usada em sua geração provém de fontes renováveis.
- Essa eletricidade renovável pode ser fornecida de duas maneiras: (i) conexão direta a uma usina de produção renovável (eólica, fotovoltaica etc.) ou (ii) eletricidade retirada da rede como totalmente renovável.
 - (i.a) "As instalações de geração de eletricidade renovável devem ter sido comissionadas menos de 36 meses antes da entrada em operação da usina que gera combustíveis líquidos e gasosos de origem não biológica".
 - (i.b) "Se a instalação que produz eletricidade renovável estiver conectada à rede, com exceção da usina que gera combustíveis líquidos e gasosos de origem não biológica, é preciso demonstrar que nenhuma eletricidade proveniente da rede é usada por meio de um sistema de medição inteligente".
 - (ii.a) "A eletricidade será considerada totalmente renovável se a instalação que produz o combustível líquido e gasoso de origem não biológica estiver localizada em uma zona de leilão em que a produção média de eletricidade renovável seja superior a 90% no ano civil anterior e a produção de combustível líquido e gasoso de origem não biológica não exceda um número máximo de horas em relação à produção de eletricidade renovável na zona de leilão".
 - (ii.b) "Nas zonas de leilão em que a produção média de eletricidade renovável representa a parcela dominante, mas menos de 90%, a eletricidade usada deve ser considerada totalmente renovável, desde que as horas de produção de combustível líquido e gasoso de origem não biológica não excedam a parcela de eletricidade renovável gerada na zona de leilão".
 - (ii.c) "Se as condições acima não forem atendidas, a eletricidade será considerada totalmente renovável se for originária de uma área de leilão onde a intensidade de emissão for menor que (18 g [CO₂] eq.) / MJ desde que a seguinte condição seja atendida:

Há um ou mais contratos de compra de energia renovável justificados por um PPA (Power Purchase Agreement) em uma ou mais instalações de geração renovável para uma quantidade de eletricidade equivalente àquela declarada como totalmente renovável na produção de combustível líquido e gasoso de origem não biológica".

Além disso, a estratégia de hidrogênio da Comissão Europeia define o hidrogênio renovável como o hidrogênio produzido por meio da eletrólise da água impulsionada pela eletricidade de fontes renováveis ou também por meio da reforma do biogás ou da conversão bioquímica da biomassa. Na legislação da UE, o hidrogênio renovável e os combustíveis derivados do hidrogênio produzidos sem o uso de biomassa são chamados de combustíveis renováveis de origem não biológica (RFNBO).

¹European Commission. "Delegated regulation on Union methodology for RFNBOs" (2023).

²PPA: um contrato de compra e venda de energia limpa de longo prazo, baseado em ativos e com preço fixo, entre um desenvolvedor de energia renovável e um consumidor.