

# Tecnologia do Hidrogênio

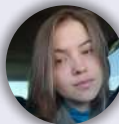


# Apresentação



## **Prof. Dra. Sabrina Neves da Silva**

Graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande, Mestrado e Doutorado na área de Ciência e Engenharia de Materiais. Professora na Universidade Federal do Pampa



## **Angela Pauletti**

Estudante de Engenharia de Energia na Universidade Federal do Pampa, aluna da componente de Tecnologia do Hidrogênio.



## **Jesuele Victória Silva Oliveira**

Estudante de Engenharia de Energia na Universidade Federal do Pampa, aluna da componente de Tecnologia do Hidrogênio.



## **Laura Salviato**

Estudante de Engenharia de Energia na Universidade Federal do Pampa, aluna da componente de Tecnologia do Hidrogênio.



## **Miguel Rigon Damitz**

Estudante de Engenharia de Energia na Universidade Federal do Pampa, aluno da componente de Tecnologia do Hidrogênio.

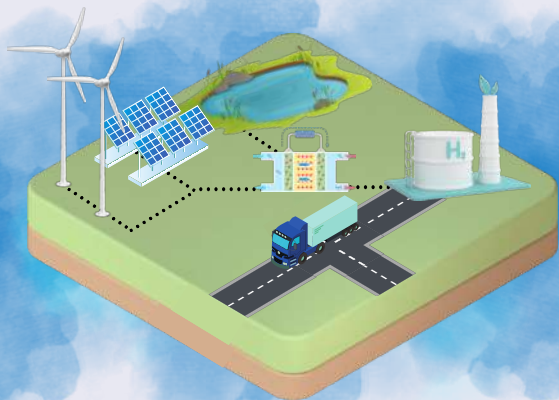


## **Patrick Vasques Vasques**

Estudante de Engenharia de Energia na Universidade Federal do Pampa, aluno da componente de Tecnologia do Hidrogênio.

# Índice

Introdução	4
Classificação por Cores	7
Hidrogênio Verde (H2V)	9
H2V no Rio Grande do Sul	11
Cenário Nacional de Ações no Brasil	12
Referências	15



# Introdução

## Descarbonização do Setor Elétrico

### Coferência das Partes (COP)

A COP é uma reunião anual de países, onde discutem questões climáticas globais.

### Acordo de Paris

Na COP21, em Paris, foi votado um acordo para manter o aumento da temperatura média global abaixo de 2°C, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa (GEE).

### Descarbonização

A descarbonização é um método de redução das emissões de carbono.

### O Setor Elétrico

As emissões de carbono do Setor Elétrico Brasileiro em 2019 foram de 52 milhões de toneladas, que representam 13% das emissões totais do setor energético (SEEG, 2019.)

A intensidade de carbono do setor elétrico brasileiro foi de 87gCO<sub>2</sub> eq/kWh, cerca de 5,5 vezes menor do que a média global de 2018 (475g CO<sub>2</sub>eq/kWh) (IEA, 2018).

Sabemos que nossa Matriz Elétrica é, em sua maioria, composta por fontes de energia renováveis, porém com o aumento de cargas nas redes elétricas a demanda aumentou e tende a aumentar cada vez mais, portanto é previsto que a participação de fontes de energia a base de combustíveis fósseis aumente, pois garantem uma segurança maior, porém a propensão mundial é reduzi-las.



# Transição Energética

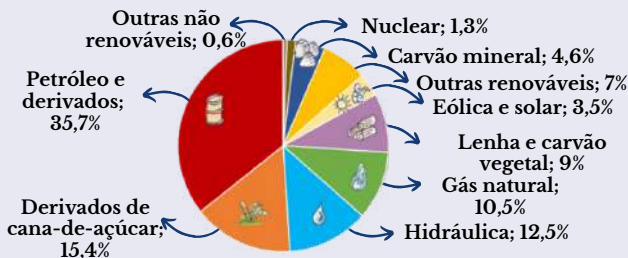
Muito se debate sobre as mudanças climáticas que preocupam os cientistas e a população de todo o mundo, o tema da transição energética está cada vez mais presente em nosso dia-a-dia, tornando-se um assunto super importante e atual.

## Mas o que seria a Transição Energética?

Trata-se da mudança das matrizes energéticas mundiais provenientes de fontes de energia não renováveis, como: carvão mineral, gás natural e o petróleo, para as fontes de energia renováveis: solar, eólica e hídrica.

## Qual o cenário do mundo e do Brasil nesse tema?

A matriz energética mundial é composta em sua maioria por fontes não renováveis, totalizando 85%; a matriz energética brasileira é muito diversificada e conta com 47,4% de participação de fontes renováveis.



Fonte: Matriz Energética Brasileira 2022 (BEN, 2023).

# Hidrogênio

O Hidrogênio é o primeiro elemento químico da tabela periódica, com massa atômica de 1,0078 e número atômico 1, sendo representado pelo símbolo:



É o elemento mais abundante do universo, na Terra corresponde a apenas 0,9% de sua massa.

É encontrado em diversas formas no ambiente, como: componente de diversas substâncias orgânicas e inorgânicas e na atmosfera terrestre, na forma de gás hidrogênio (H<sub>2</sub>).

## Aplicações

O Gás Hidrogênio é usado em diversos processos industriais, como: obtenção de amônia, fertilizantes para a agricultura e álcoois. E também na metalurgia e geração de energia, pois possui um alto potencial energético.



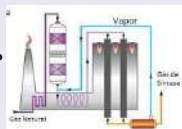
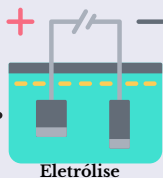
Fonte: Reforma a Vapor (USP)

## No Setor Energético

É considerado um vetor energético, ou seja, armazena energia.

O Hidrogênio é coletado de processos já realizados chamados de “Rotas Produtivas”, que são caracterizadas por sua fonte de obtenção de energia primária, como através de combustíveis fósseis (Rota Cinza), ou através de fontes alternativas e renováveis (Rota Verde).

As duas formas de obter Hidrogênio mais utilizadas são: Reformação por Vapor (aquecimento de um combustível fóssil) e Eletrólise (separação da molécula de água através de uma corrente elétrica).



# Classificação por cores

A classificação por cores no contexto do hidrogênio serve principalmente para indicar a forma como o hidrogênio é produzido e quanto ambientalmente amigável é esse processo.

## Hidrogênio Preto

É produzido a partir do carvão mineral antracito, por meio de um processo que gera dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Após a separação do hidrogênio, o  $\text{CO}_2$  é liberado na atmosfera, contribuindo para o agravamento do aquecimento global.

## Hidrogênio Marrom

É produzido por meio do processo de gaseificação, no qual as moléculas de  $\text{H}_2$  são extraídas do carvão mineral, especificamente do tipo hulha. Durante a gaseificação, carvão, oxigênio e vapor de água reagem com um elemento oxidante, gerando um gás denominado "syngas".

## Hidrogênio Amarelo

É produzido especificamente com energia solar, sendo considerado uma subcategoria do hidrogênio verde.

## Hidrogênio Turquesa

É produzido a partir da pirólise do gás natural. Este processo de produção de hidrogênio resulta em um subproduto sólido de carbono, conhecido como negro de fumo, que pode ser usado em várias aplicações industriais.

## Hidrogênio Rosa

É produzido a partir da energia nuclear. Ele é considerado uma fonte de energia de baixo impacto, pois as usinas nucleares geram pouco carbono em seus processos de instalação e funcionamento.

## Hidrogênio Cinza











É obtido a partir da queima de combustíveis fósseis, principalmente gás natural. A conversão de gás natural em hidrogênio ocorre em um processo chamado de reforma a vapor, ou Steam Methane Reforming (SMR).

## Hidrogênio Verde

É produzido a partir da eletrólise da água por meio de fontes renováveis como eólica e solar, um processo de separação da molécula de água (H<sub>2</sub>O) em hidrogênio (H<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>) por meio da passagem de uma corrente elétrica na solução aquosa.

## Hidrogênio Azul

É produzido por reforma a vapor do gás natural (e eventualmente, também de outros combustíveis fósseis), mas com captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS).

Cor	Classificação	Fonte
Preto	Hidrogênio Preto	 do tipo Antracito $\text{H}\cdot\cdot\text{H}$
Marron	Hidrogênio Marrom	 do tipo Hulha $\text{H}\cdot\cdot\text{H}$
Rosa	Hidrogênio Rosa	 = $\text{H}\cdot\cdot\text{H}$
Turquesa	Hidrogênio Turquesa	 = $\text{H}\cdot\cdot\text{H}$
Amarelo	Hidrogênio Amarelo	 = $\text{H}\cdot\cdot\text{H}$
Cinza	Hidrogênio Cinza	 = $\text{H}\cdot\cdot\text{H}$
Azul	Hidrogênio Azul	 Reforma a Vapor $\text{H}\cdot\cdot\text{H}$ + 
Verde	Hidrogênio Verde	 +  = $\text{H}\cdot\cdot\text{H}$

Fonte: Autoria Própria.



# Hidrogênio Verde (H2V)

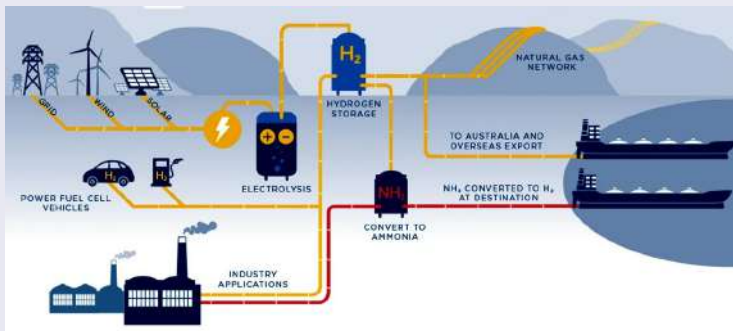
## O que é?

O Hidrogênio Verde é o hidrogênio proveniente de Fontes de Energia Renováveis ou com baixas emissões de carbono, como: a energia solar e a energia eólica.

Tem uma variedade de aplicações em setores-chave, devido às suas propriedades como fonte de energia limpa e versátil. Ele pode ser utilizado em veículos elétricos movidos a células de combustível, proporcionando uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis.

Além disso, o hidrogênio verde pode ser empregado em processos industriais, como na produção de amônia, refino de petróleo e fabricação de produtos químicos.

Outras aplicações incluem o uso do hidrogênio verde como fonte de energia para sistemas de armazenamento e geração de eletricidade em residências e empresas. Portanto, o Hidrogênio Verde desempenha um papel crucial na transição para uma economia de baixo carbono e na redução das emissões de gases do efeito estufa.



Fonte: Hidrogênio Verde  
(marsemfim, 2021).

# Aplicações

O hidrogênio verde tem uma ampla gama de aplicações em diferentes setores, devido à sua versatilidade e ao fato de ser uma fonte de energia limpa. Aqui estão algumas das principais aplicações do hidrogênio verde:

## Transporte:

Pode ser utilizado como combustível em veículos movidos a células de combustível, incluindo carros, ônibus e caminhões, proporcionando uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis.

## Armazenamento de Energia:

O hidrogênio verde pode ser usado para armazenar energia excedente gerada a partir de fontes renováveis, como solar e eólica, para uso posterior em momentos de alta demanda.

## Setor Industrial:

O hidrogênio verde é uma matéria-prima essencial em processos industriais, como a produção de amônia, refino de petróleo, fabricação de produtos químicos e siderurgia.

## Geração de Eletricidade:

Pode ser utilizado em sistemas de geração de eletricidade estacionários para fornecer energia limpa e confiável.

## Residências e Empresas:

O hidrogênio verde pode ser utilizado como fonte de energia para aquecimento, cozimento e eletricidade em residências e empresas, contribuindo para a descarbonização desses setores.



Fonte: Hidrogênio Verde (Tractebel).

# H2V no Rio Grande do Sul

De acordo com as diretrizes da SEMA (Secretaria do Meio Ambiente), a produção de Hidrogênio Verde é influenciada por fatores como a viabilidade da energia renovável, o compromisso com a preservação ambiental e a diversificação de locais, exigindo infraestruturas específicas.

Os pontos fortes competitivos abrangem uma demanda significativa, principalmente nos setores econômicos representativos do Rio Grande do Sul que podem se beneficiar do hidrogênio verde, e uma logística abrangente, incluindo linhas de transmissão, portos públicos, capacidade de escoamento e sistemas de transporte hidroviário, cabotagem e longo curso.

Ademais, ressalta-se a singularidade da matriz de produção no Brasil, suportada por estudos de viabilidade de produção e comercialização conduzidos pela McKinsey.

As principais áreas de consumo energético no Rio Grande do Sul afetadas pelas aplicações de hidrogênio verde incluem a indústria química, agricultura, refinarias de coque, produtos derivados do petróleo e biocombustíveis. A competitividade da energia renovável e o comprometimento político com a agenda de descarbonização são cruciais nesse cenário.

Houve um aumento significativo na composição da matriz elétrica do Estado, com uma parcela de 2% em 2010 e 19% em 2020, além de 10 GW licenciados e capacidades totais de 103 GW onshore e 108 GW offshore para energia eólica e solar.



Fonte: locais favoráveis para o desenvolvimento da cadeia de H2V (SEMA, 2023)

# Cenário Nacional de ações no Brasil

## Brasil e sua posição estratégica

O Brasil conta com abundância de recursos naturais para a produção do vetor energético, abrindo uma estrada de oportunidades para produção de H<sub>2</sub> com captura de CO<sub>2</sub>.

O Sistema Interligado Nacional permite hubs de H<sub>2</sub> com produção e consumo integrados, usando eletrólise para produção. Isso conecta potenciais energéticos do Brasil com produção de H<sub>2</sub>, atendendo critérios de exportação para a União Europeia.

Rio Grando do Sul-Fonte: Resíduo de Agropecuários e Eólicas Off. Uso: Mercado Interno.

Paraná-Fonte: Resíduo de Suinocultura. Uso: Produção de Amônia.

Mato Grosso e Mato Grosso do Sul-Fonte: Resíduos da Agricultura. Uso: produção de Amônia.

São Paulo-Fonte: Cana de Açúcar. Uso: Abastecimento Veicular.

Rio de Janeiro-Fonte: Solar. Uso: Indústria local.

Minas Gerais-Fontes: Biomassa, Solar e Hidrelétricas. Uso: Descarbonização da mineração.

Bahia-Fontes: Solar. Uso: Indústria local.

Pernambuco-Fontes: Eólica e Solar. Uso: Indústrias do Porto de Suape.

Amazônia-Fontes: Painéis Solares. Uso: Energia para comunidades.

*Hubs: Consistem em centros geográficos que envolvem uma cadeia de atividades de produção, transporte, entrega e uso final de hidrogênio em setores produtivos.*

A existência de portos com capacidade para atender demandas de grande porte é um diferencial, localizados próximos a grandes centros consumidores internacionais, fortalece o conjunto de atributos do posicionamento do país na liderança da corrida no mercado de hidrogênio.



## Potenciais Projetos

### Polo Industrial de Camaçari

O projeto visa o mercado externo para o médio e longo prazo, estima a evolução em diversas fases, sendo a primeira com capacidade de 60 MW de eletrolisadores da ThyssenKrupp, prevista para ser concluída em meados de 2024 (UNIGEL, 2022).

Este apresenta as características ideais para construção do primeiro hub de hidrogênio, isso se deve à capacidade de destinação para o mercado interno externo, composto por diversas empresas do ramo, com destaque para a UNIGEL, que está desenvolvendo o projeto de H<sub>2</sub> produzido a partir da eletrólise em escala industrial



Fonte: Portos e navios (2015).

### Poço de Petróleo Verde

No estado do Paraná o foco tem sido no aproveitamento do biogás e de resíduos agropecuários, como exemplo pioneiro, destaca-se o projeto do Grupo Me Le, financiado pelo programa alemão H<sub>2</sub>Uppp, que visa transformar o biogás, oriundo dos resíduos da suinocultura de determinados municípios, em biometano e combiná-lo ao hidrogênio verde para produção e exportação do bio-syncrude para a Alemanha.

De acordo com a empresa executora, nessa primeira fase do projeto o programa prevê uma produção local em torno de 30.000 m<sup>3</sup> de biometano/ hora e a estimativa da Alemanha é que a importação do syncrude seja capaz de produzir 100 mil ton/ano de SAF.



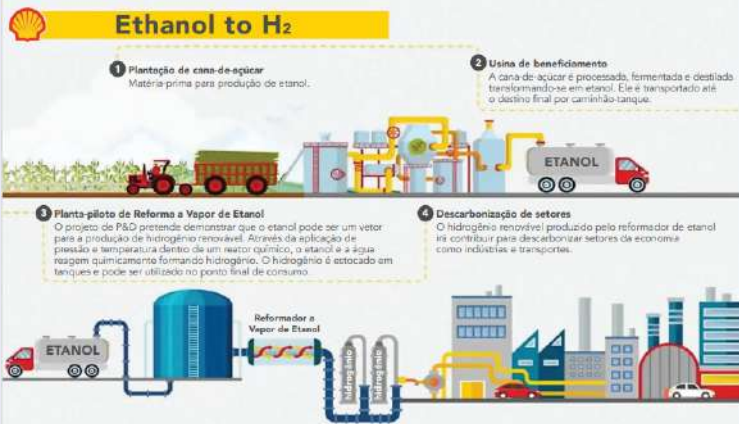
Fonte: ALLE (2023).

## Potenciais Projetos

### Hidrogênio e Descarbonização

No estado de São Paulo, o Plano Estadual de Energia 2050 planeja a descarbonização de todos os processos produtivos do estado, dentre as tecnologias consideradas, o hidrogênio assume papel importante. A construção da primeira estação de abastecimento de hidrogênio renovável a partir do etanol do mundo, reforça o direcionamento do estado.

A estação será dedicada ao abastecimento de até três ônibus e um veículo leve, com previsão de que a estação experimental esteja operando no segundo semestre de 2024. Como parceiros, participam no desenvolvimento da estação a Hytron, a Raízen, o SENAI CETIQT e a Universidade de São Paulo através do Centro de Pesquisa para Inovação em Gases de Efeito Estufa (RCGI)(USP, 2023).



Fonte: Shell (2023).

# Referências

ABEPRO. O USO DO HIDROGENIO COMO FONTE ENERGÉTICA. Disponível em: [https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2011\\_TN\\_WIC\\_143\\_902\\_18877.pdf](https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_WIC_143_902_18877.pdf). Acesso em: 15 abr. 2024.

Curtin University. Hidrogênio Turquesa: Produção a partir da pirólise do gás natural. Disponível em: [https://espace.curtin.edu.au/bitstream/handle/20.500.11937/88995/Nota%20Tecnica%20OHidrogenio%20Turquesa\\_12.04.22.pdf?sequence=2](https://espace.curtin.edu.au/bitstream/handle/20.500.11937/88995/Nota%20Tecnica%20OHidrogenio%20Turquesa_12.04.22.pdf?sequence=2). Acesso em: 15 abr. 2024.

eCycle. Hidrogênio amarelo; o que é, vantagens e impactos. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/hidrogenio-amarelo/>. Acesso em: 15 abr. 2024.

eCycle. Hidrogênio cinza; o que é e impactos. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/hidrogenio-cinza/>. Acesso em: 15 abr. 2024.

eCycle. Hidrogênio marrom; o que é, usos e impactos. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/hidrogenio-marrom/>. Acesso em: 15 abr. 2024.

eCycle. Hidrogênio preto; o que é, usos e impactos. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/hidrogenio-preto/>. Acesso em: 15 abr. 2024.

eCycle. Hidrogênio rosa; o que é, vantagens e impactos. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/hidrogenio-rosa/>. Acesso em: 15 abr. 2024.

FGV energias. Hidrogênio de baixo carbono a importância dos avanços em questões estruturantes, RJ, novembro 2023. Disponível em: <https://www.shell.com.br/energia-e-inovacao/pesquisa--e-desenvolvimento/ethanol-to-h2.html>. Acesso em: 14 abr. 2024.

INSTITUTO E+. Descarbonização do Setor de Energia no Brasil. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://emaisenergia.org/>. Acesso em: 10 abr. 2024.

MATRIZ Energética e Elétrica. In: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Empresa. Matriz Energética e Elétrica. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.epc.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 10 abr. 2024.

Ministério de Minas e Energia. MME e EPE publicam estudos sobre hidrogênio azul e cinza. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-e-epe-publicam-estudos-sobre-hidrogenio-azul-e-cinza>. Acesso em: 15 abr. 2024.

PUC-Rio. Os principais desafios do uso do hidrogênio no contexto brasileiro para .... Disponível em: [https://iepuc.puc-rio.br/dados/files/2019/TCC-MBE-Energia-Debora\\_Cristina\\_Ferreira\\_da\\_Silva.pdf](https://iepuc.puc-rio.br/dados/files/2019/TCC-MBE-Energia-Debora_Cristina_Ferreira_da_Silva.pdf). Acesso em: 15 abr. 2024.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA (RS). Instituição. Hidrogênio Verde: Um novo caminho para o Rio Grande do Sul 2023. Rio Grande do Sul: [s. n.], 2023. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/h2v>. Acesso em: 11 abr. 2024.

SHELL. Ethanol to H2. 2023. Disponível em: <https://www.shell.com.br/energia-e-inovacao/pesquisa--e-desenvolvimento/ethanol-to-h2.html>. Acesso em: 14 abr. 2024.

UNIGEL. Unigel fecha contrato com a thyssenkrupp nucera e investe US\$ 120 milhões na primeira fábrica de hidrogênio verde do Brasil. 2022. Disponível em: <https://www.unigel.com.br/unigel-fecha-contrato-com-a-thyssenkrupp-nucera-e-investe-us-120-milhoes-na-primeira-fabrica-de-hidrogenio-verde-do-brasil/>. Acesso em: 14 abr. 2024.

WWF Brasil. Hidrogênio Verde. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/nossosconteudos/educacaoambiental/conceitos/hidrogenio-verde/>. Acesso em: 15 abr.