

# **Produção de Hidrogênio Verde considerando diversas fontes renováveis no Brasil: simulação de cenários para 2050**

## **Introdução**

O hidrogênio verde (H2V) é reconhecido como um elemento crucial no combate às mudanças climáticas, estrategicamente posicionado para aprimorar a segurança energética, renovar as estruturas energéticas existentes e revigorar vários setores industriais. Seu papel na descarbonização industrial se alinha com a necessidade de uma utilização mais eficiente de fontes de energia renováveis (Capurso et al. 2022).

O Brasil, com suas matrizes elétricas limpas provenientes em grande parte de fontes renováveis, emerge como um potencial líder global na produção de H2V e exportações para mercados europeus, especialmente a Alemanha. A conquista do país em energia limpa decorre de um esforço colaborativo de duas décadas entre os setores público e privado.

No entanto, a potencial colaboração entre Brasil e Alemanha enfrenta desafios. Primeiro, a necessidade de medir o potencial de produção de H2V que o Brasil terá nos próximos anos e, segundo, estimar a demanda de energia necessária que o país terá que atender para produzir H2V baseado em eletrolisadores. Este artigo se debruça no segundo desafio, isto é, em entender quais fontes renováveis (solar, eólica, biomassa, etc.) são mais passíveis de gerar H2V nas próximas décadas. Nessa linha, o principal objetivo deste artigo é:

Desenvolver cenários de produção de hidrogênio verde no Brasil considerando o crescimento de diversas fontes renováveis.

## **Método**

Para atingir o objetivo, utilizaremos a dinâmica de sistemas, que é uma abordagem de modelagem e simulação baseada em dinâmicas de feedback causal, acumulações e atrasos. Os modelos de dinâmica de sistemas são baseados em equações e usam o tempo como contínuo (Naugle, Langarudi e Clancy 2023).

O modelo construído neste estudo se inspira na teoria da difusão de Bass, uma estrutura que elucida o processo de adoção de novos produtos dentro de uma população. Originalmente proposto por Bass (1969), este modelo fornece insights sobre como os adotantes existentes e potenciais interagem, oferecendo uma perspectiva pioneira sobre o papel da comunicação interna e externa na introdução de inovações no mercado.

Também, modelamos explicitamente os efeitos da aprendizagem nas curvas de experiência bem como no Levelized Cost of Hydrogen (LCOH) vitais para integrar e modelar os elos da cadeia de valor da Figura 1.

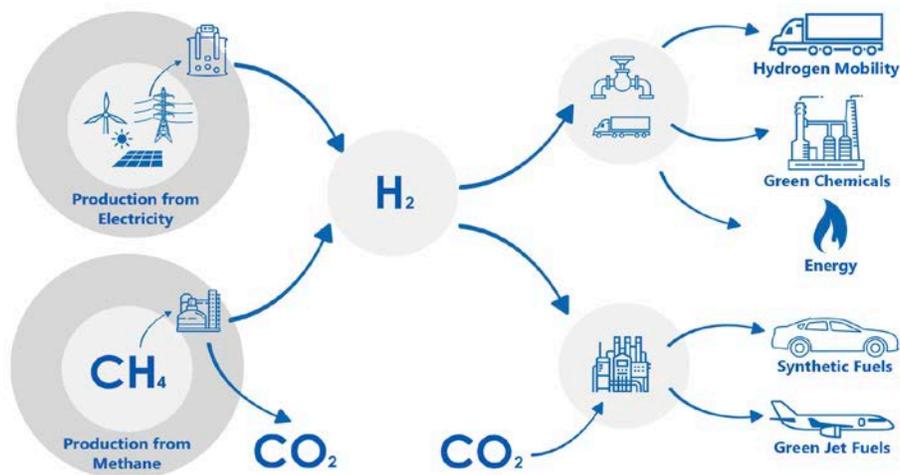


Figura 1. Cadeia de Valor do H<sub>2</sub>. Adaptado de Macia (2021).

Para construir o modelo e simular os cenários empregaremos o Stella Architect da Isee Systems.

## Resultados

A produção de hidrogênio (H<sub>2</sub>V) exibe uma tendência de crescimento exponencial devido aos avanços tecnológicos. O cenário de linha de base indica uma produção de H<sub>2</sub> de 3 a 10 milhões de toneladas por ano, até 2040, alinhando-se com projetos em andamento no país, sendo o maior de 0,9 toneladas/ano de uma empresa australiana. A capacidade de H<sub>2</sub> em Amônia segue um aumento gradual, sincronizado com a produção real de H<sub>2</sub>. Inicialmente, essa capacidade progride lentamente devido ao presumido alto consumo de energia, dificultando a produção de H<sub>2</sub>. Com o tempo, plantas de amônia adicionais de grande porte podem integrar o sistema à medida que o H<sub>2</sub> e a energia renovável (ER) experimentam um crescimento mais previsível. Essa progressão introduz a possibilidade de um excesso na quarta etapa, levando ao excesso de capacidade.

Por outro lado, a capacidade instalada de eletrolisadores pode atingir entre 30 e 90 GW até 2040, indicando a necessidade de aumentar significativamente a capacidade instalada total de renováveis no país.

O consumo nacional permanece marginal como porcentagem da produção total, com um tamanho estimado de 0,7 a 3 milhões de toneladas por ano até 2040, e o consumo da União Europeia atingindo entre 4 e 41 milhões de toneladas por ano até 2040.

## Considerações Finais

Embora os custos precisos e a viabilidade econômica para o mercado interno exijam maior esclarecimento, este estudo enfatiza a importância de promulgar políticas para atender à demanda de eletrolisadores, garantir o consumo doméstico de H<sub>2</sub>V e aumentar as exportações de H<sub>2</sub>V para a Europa, especialmente para a Alemanha.

Tais políticas são essenciais para salvaguardar sua vantagem de baixo carbono. A presença de indústrias domésticas capazes de utilizar H<sub>2</sub>V é crucial para otimizar o potencial do país. Além disso, as políticas devem promover a criação de valor local, abrindo caminhos para que as empresas brasileiras se envolvam na crescente cadeia de suprimentos de H<sub>2</sub>V e contribuam para seu crescimento.

**Agradecimentos:** Este artigo se baseia em um projeto de pesquisa recente financiado pela DAAD e GIZ sob a "cooperação de pesquisa Alemanha-Brasil no setor de energia - NoPa 2.0/ cooperação nas áreas de hidrogênio verde/PtX, eletrificação direta e armazenamento de energia".

Agradecimentos ao CNPQ por financiar parte desta pesquisa

## Referências

BASS, Frank M. A new product growth for model consumer durables. **Management science**, v. 15, n. 5, p. 215-227, 1969.

CAPURSO, T. et al. Perspective of the role of hydrogen in the 21st century energy transition. **Energy Conversion and Management**, v. 251, p. 114898, 2022.

MACÍA, Y. M. et al. Green hydrogen value chain in the sustainability for port operations: Case study in the region of Valparaiso, Chile. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 24, 2021.

NAUGLE, Asmeret; LANGARUDI, Saeed; CLANCY, Timothy. What is (quantitative) system dynamics modeling? Defining characteristics and the opportunities they create. **System Dynamics Review**, 2024.