

HIDROGÊNIO VERDE

A nova fronteira dos mercados de energia

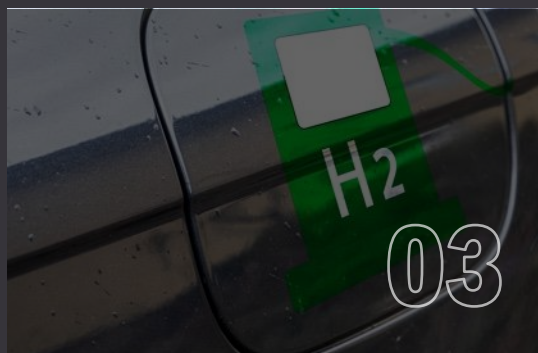
WHITE PAPER

São Paulo, 11 de outubro de 2023



GREEN
HYDROGEN

Conteúdo



Sumário executivo



1. Contextualização



2. Hidrogênio verde



3. H2V no Brasil



4. Desafios e perspectivas para o H2V



5. Considerações finais

Sumário executivo

O hidrogênio é um gás com grande potencial de participação na transição energética, contribuindo principalmente para a substituição de combustíveis fósseis. O Brasil possui um papel relevante no contexto mundial para a produção de hidrogênio verde.

O hidrogênio é o elemento mais abundante do universo; mas, normalmente, está associado a outros elementos químicos. Dessa forma, para sua obtenção, podem ser utilizadas diversas rotas tecnológicas, sendo a mais comum atualmente a que utiliza a reforma a vapor de gás natural.

Atualmente, a demanda por hidrogênio tem se concentrado basicamente na indústria química e para obtenção de aço. No futuro, dada a versatilidade do seu uso, o hidrogênio poderá ser utilizado em várias aplicações, auxiliando segmentos considerados mais desafiadores a avançarem na eletrificação e a se tornarem menos carbono intensivos.

Uma rota tecnológica que tem ganhado espaço nos últimos anos é a da obtenção do hidrogênio via eletrólise, tendo como fornecedora de energia uma fonte renovável (eólica ou solar, por exemplo), conhecida como hidrogênio verde (H2V). Essa vertente tem atraído cada vez mais *players*:

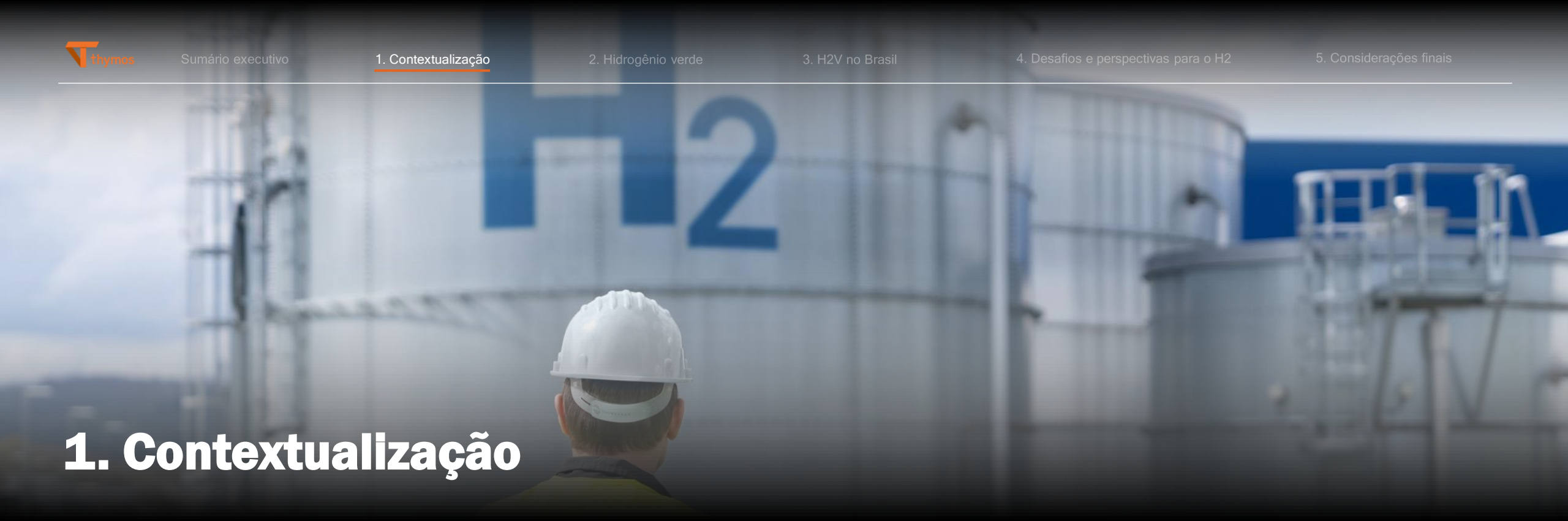
em 2022, foram incluídos no pipeline de projetos no mundo a adição de nova capacidade produtiva correspondente a cerca de 22,6 milhões de toneladas de hidrogênio, dos quais 87% são relativos ao hidrogênio verde. Contudo, ainda há muito espaço para o desenvolvimento desta tecnologia. Estima-se que, em um cenário *net zero*, será necessária uma capacidade em torno de 300 milhões de hidrogênio verde.

O custo de produção do H2V é fortemente influenciado por dois aspectos: i) custo da energia e ii) custo do eletrolisador. O primeiro aspecto compõe mais de 50% do custo de produção e, para que se possa alcançar um patamar de 2 USD/kg da molécula, é necessária uma redução significativa (em torno de 50%) do custo da energia. Adicionalmente nesse sentido, o custo do eletrolisador precisa ser reduzido em torno de 75%.

No Brasil, para o desenvolvimento da indústria, cadeia produtiva e mercado

nacionais do hidrogênio, estabeleceu-se o Programa Nacional do Hidrogênio, via Plano Trienal (2023-2025). O Plano Trienal tem como áreas-foco: o fortalecimento das bases tecnológicas, capacitação e recursos humanos, planejamento energético, arcabouço legal-regulatório, crescimento do mercado e competitividade e cooperação internacional. Além das iniciativas descritas no Plano Trienal, está atualmente em tramitação no Senado o PL nº 725/22, que visa o estabelecimento de mecanismos de inserção do hidrogênio no setor energético nacional.

Por fim, existem múltiplos esforços para desenvolver e aprimorar o processo de certificação de Hidrogênio no mundo, através dos quais espera-se rastrear os atributos e trazer maior segurança aos produtores. No Brasil, a CCEE estabeleceu um procedimento de certificação, principalmente para atender às demandas de projetos pilotos de produção de hidrogênio.



1. Contextualização

O hidrogênio é a molécula mais abundante do universo, sendo que está presente normalmente associado a outros elementos químicos.

Ele está presente na Terra em grandes quantidades, combinado com outros elementos. Como exemplo, pode-se citar a água e os hidrocarbonetos. Contudo, é extremamente raro na atmosfera terrestre, na qual encontra-se em concentração de 0,00005%. Portanto, para sua produção, é necessário extraí-lo desses compostos, obtendo-se, usualmente, sua forma gasosa, a qual possui várias aplicações práticas.

Além disso, a molécula de hidrogênio é a menor e mais leve do universo: ela é 5.000 vezes menor que a espessura de um fio de cabelo.

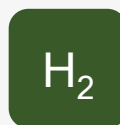
Pode ser obtido de várias formas, sendo que as principais hoje envolvem a utilização de combustíveis fósseis.

O **hidrogênio (H₂)** é um gás com promissor potencial para auxiliar na transição energética, contribuindo principalmente na substituição de combustíveis fósseis.

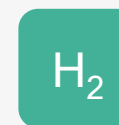
O único subproduto de sua combustão pura é a água. Sua principal vantagem é a alta densidade energética, sendo capaz de produzir até três vezes a energia da combustão da gasolina por unidade de massa.

É possível produzir **H₂** por meio de vários processos e fontes de energia, essas opções são denominadas de **rotas tecnológicas**. Comumente é atribuída a essas rotas uma **classificação por cores**, sendo que a mais usual atualmente é a azul.

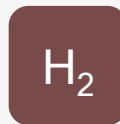
Classificação do hidrogênio por cores



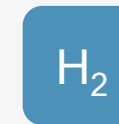
Hidrogênio musgo:
produzido de biomassa ou biocombustíveis, por meio de gaseificação, biodigestão e outros



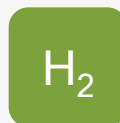
Hidrogênio turquesa:
produzido por craqueamento térmico do metano, sem gerar CO₂



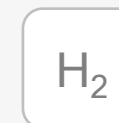
Hidrogênio marrom:
produzido com carvão mineral (hulha), sem CCUS



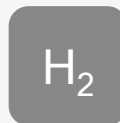
Hidrogênio azul:
produzido a partir de gás natural



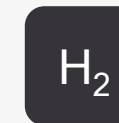
Hidrogênio verde (H₂V):
produzido a partir de fontes renováveis (particularmente, energias eólica e solar) via eletrólise da água



Hidrogênio branco:
hidrogênio natural ou geológico



Hidrogênio cinza:
produzido do gás natural sem CCUS



Hidrogênio preto:
produzido por meio de carvão mineral (antracito) sem CCUS (*Carbon capture, utilisation and storage*)

Em 2022, foram consumidos no mundo 95 milhões de toneladas de hidrogênio nos seus mais diversos fins, com aplicações concentradas nos segmentos industrial, na indústria química e para obtenção de aço.

Fontes de geração de hidrogênio no mundo em 2022

95 MM
toneladas

62%

Gás Natural

21%

Carvão

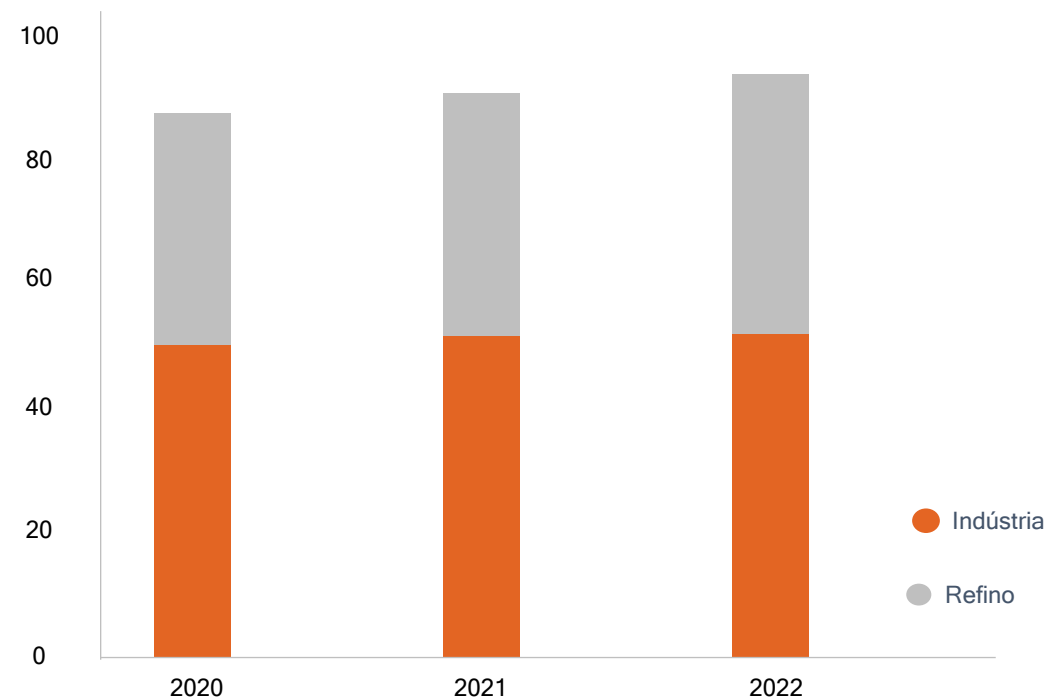
16%

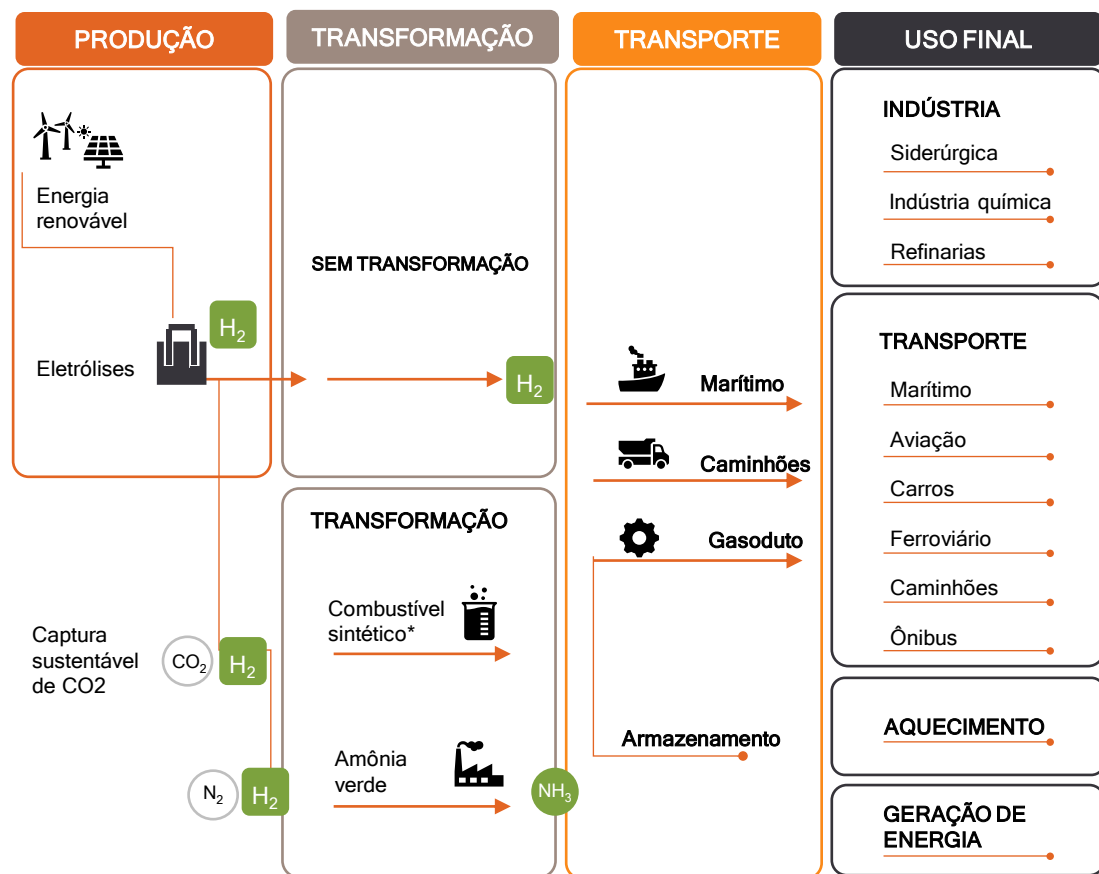
Óleo/Nafta

1%

Combustíveis fósseis com CCUS e eletricidade

Consumo de H2 no mundo Milhões de toneladas





*O termo combustíveis sintéticos refere-se aqui a um espectro de combustíveis baseados em hidrogênio, obtidos via processos químicos, com uma fonte de carbono (CO e CO₂ capturados diretamente de processos, por fontes biológicas ou diretamente do ar). Estes combustíveis incluem o metanol, combustíveis de aviação, metano e outros hidrocarbonetos. A principal vantagem desses combustíveis é que podem ser utilizados em substituição a combustíveis fósseis, e em vários casos podem ser utilizados como substitutos diretos. Combustíveis sintéticos produzem emissões de carbono, contudo se seu processo de obtenção consome a mesma quantidade de CO₂, em princípio, isso permite que esses combustíveis possuam emissões líquidas nulas de CO₂.

A molécula de hidrogênio caracteriza-se como um vetor energético versátil, podendo ser utilizado em várias aplicações e com papel estratégico para a transição energética.

A molécula de hidrogênio apresenta uma alta versatilidade para ser utilizada em diferentes segmentos como industrial, transporte, aquecimento e geração de energia elétrica.

Processos de conversão de hidrogênio para uma aplicação, ou vice-versa, são normalmente denominados Power-to-X.

Como exemplos, cita-se a conversão do hidrogênio em combustíveis líquidos (Power-to-liquids), em gases (Power-to-gas) e a conversão em energia elétrica (X-to-Power).

Essas conversões têm como objetivo principal, além do atendimento ao consumo final, adequar o modal de transporte que será utilizado para a molécula de hidrogênio.



2. Hidrogênio verde

O hidrogênio verde (H2V) é obtido via eletrólise, utilizando-se como fonte de energia a produzida por tecnologias renováveis (eólica ou solar, por exemplo).

As possíveis aplicações do H2V são diversas. Podem ser citados, entre outros, o uso do hidrogênio em:



Usinas
térmicas



Mobilidade



Indústria química



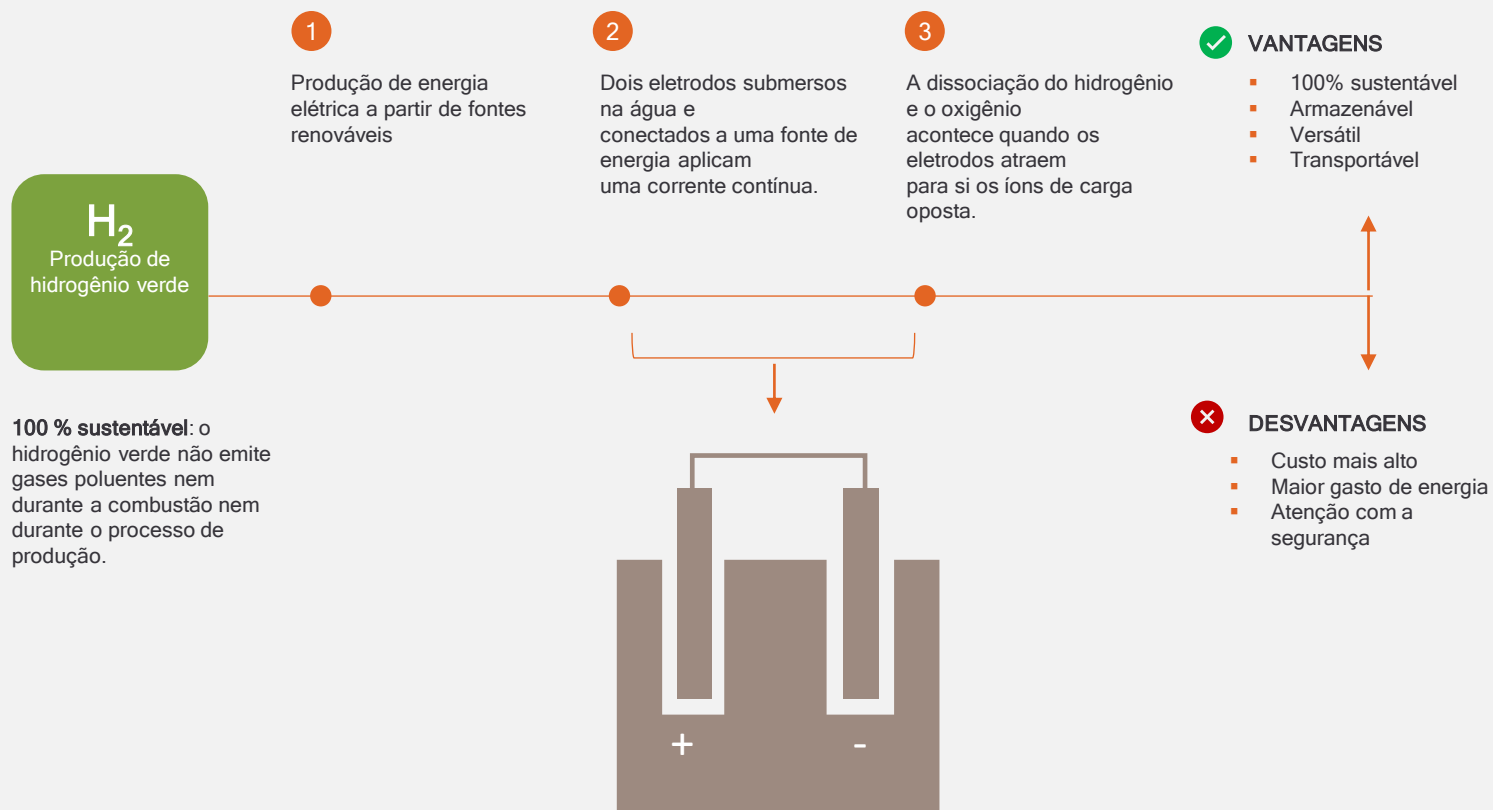
Armazenamento de
energia química
(gás comprimido,
hidrogênio líquido,
pilhas e baterias)



Siderurgia

Porém é necessário garantir a viabilidade da produção no Brasil, o que exige um robusto arcabouço regulatório.

Processo de eletrólise



CONSIDERAÇÕES RELEVANTES



Armazenável: o hidrogênio é fácil de armazenar, o que permite sua utilização posterior em outros usos e em momentos diferentes ao de sua produção.



Transportável: esta energia pode ser misturada com o gás natural em até 20% e viajar pelos mesmos canais e infraestruturas do gás.



Maior gasto de energia: a produção do hidrogênio em geral e, particularmente a do verde, requer mais energia que outros combustíveis.



Segurança: o hidrogênio é um elemento muito volátil e inflamável, exigindo requisitos de segurança elevados para evitar fugas e explosões.



A cadeia de fornecimento de H2V é sensivelmente influenciada por dois fatores: i) disponibilidade do potencial de energia elétrica renovável e ii) disponibilidade do recurso hídrico.

Principais restrições para a produção de H2V:

1. Disponibilidade do potencial de energia elétrica renovável

Alguns fatores que podem influenciar nesse aspecto são os seguintes:

- a) Terreno disponível para instalar a capacidade renovável;
- b) Qualidade do recurso; e
- c) Densidade com que as instalações podem ser instaladas (MW/km²).

Muitos estudos consideram a área total de uma determinada região, aplicando-se várias zonas de exclusão, incluindo, por exemplo, zonas protegidas, florestas, zonas úmidas

permanentes, terras agrícolas, zonas urbanas, inclinação de 5% (para a energia solar fotovoltaica) e 20% (para a energia eólica em terra), densidade populacional (excluindo áreas com uma densidade superior a 130 pessoas por km²), e estresse hídrico.

Poderão, ainda, ser incluídas outras restrições técnicas e, do mesmo modo, critérios sociopolíticos (por exemplo, a aceitação social das tecnologias renováveis) - que podem reduzir ainda mais o potencial de energia elétrica renovável disponível para a produção do H2V.

2. Disponibilidade do recurso hídrico

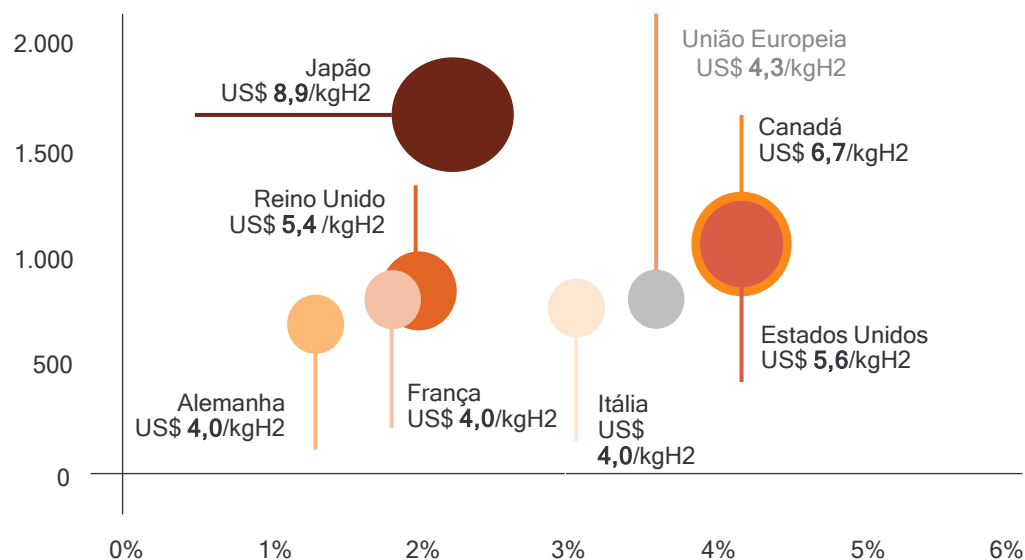
De acordo com dados levantados pela IRENA, a necessidade de água para eletrólise é de 18 a 24 L/kgH₂, considerando-se as perdas com tratamento de água.

Além disso, a geração de eletricidade consome 0,2 L/kgH₂ a 2,1 L/kgH₂ para energia eólica onshore e 2,4 L/kgH₂ a 19 L/kgH₂ para solar FV.

Dois principais aspectos influenciam diretamente o custo de produção da molécula de H2V: energia e custos relacionados ao eletrolisador.

Custo estimado de produção de hidrogênio a partir de energia solar fotovoltaica para os membros do G7 em 2021 em função do CAPEX e WACC

Custo de Capital de Solar FV
(USD/kW)



O tamanho da bolha representa o custo nivelado da produção de hidrogênio em US\$/kgH2.

Custo médio ponderado de capital (%)

Comentários

Para o hidrogênio renovável, o custo da eletricidade é um fator fundamental e é **definido pelas despesas de capital (capex) e horas de funcionamento da geração renovável a montante**. Com isso, um parâmetro-chave para a definição do custo de produção de hidrogênio é o custo médio ponderado de capital (WACC). **A combinação de baixo capex e WACC tem uma influência maior no custo.**

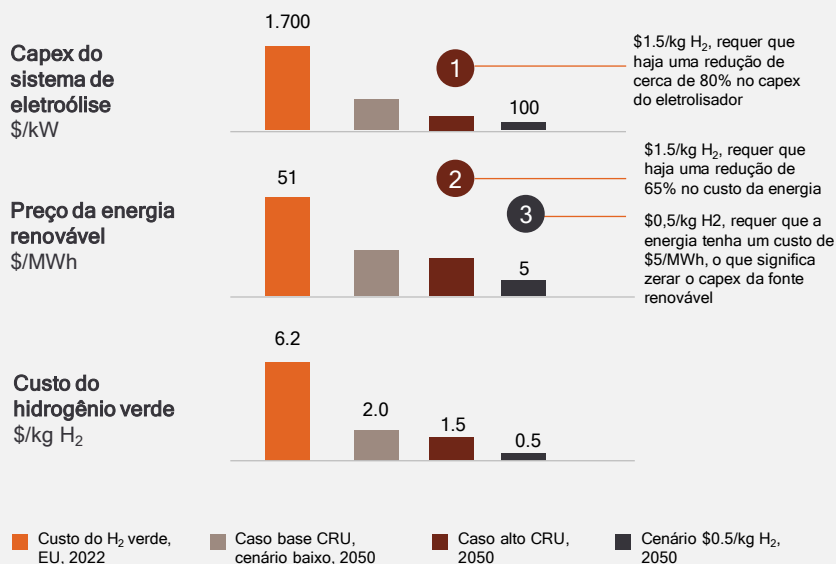
Considerando o período de um ano, o baixo custo da eletricidade geralmente fica disponível apenas por algumas horas. Isso leva a uma baixa utilização do eletrolisador e altos custos de hidrogênio que refletem os custos de CAPEX. Naturalmente, o custo da eletricidade aumenta com o aumento das horas, porém uma maior utilização do eletrolisador também é possibilitada, levando a um declínio no custo de produção a um **nível ideal em torno de 3.000 a 6.000 horas equivalentes de carga total** para uma unidade de hidrogênio;

Além disso, preços de eletricidade mais altos durante o horário de pico levam a um aumento nos custos de produção da unidade de hidrogênio

Neste sentido e, considerando o gráfico ao lado, a Alemanha representa, entre os membros do G7, a produção mais barata de hidrogênio a partir de energia solar fotovoltaica - apesar de ter uma qualidade de recursos relativamente baixa (as horas de carga total ao longo de um ano são inferiores a 15% nos melhores locais) do que outros membros.

O custo da energia representa mais de 50% do custo de produção do H2V, o que torna desafiador o objetivo de alcançar o patamar de 2 USD/kg de H2V, ainda em países que possuam grandes potenciais de energia renovável.

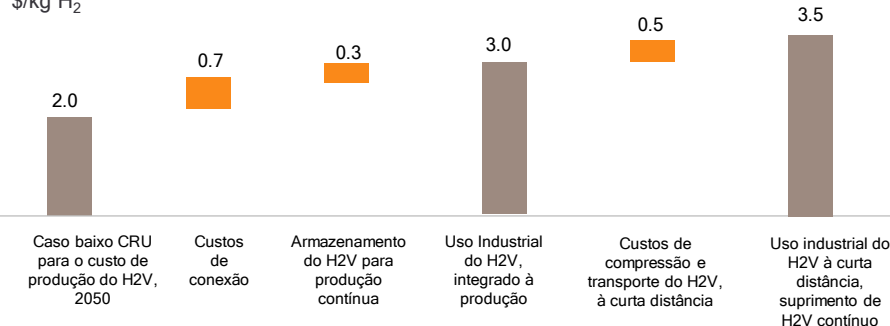
Hidrogênio verde a \$ 0,5/kg requer que capex renováveis da renováveis seja nulo



Fonte: CRU Hydrogen Cost Model, CRU Long-term Renewable Energy Cost Model.
 NOTA: os custos de hidrogênio não incluem custos de conexão de renováveis ou H₂, armazenamento, compressão ou distribuição.

Usuários finais terão de pagar ~\$3/kg ou mais por hidrogênio verde até 2050

Custo de hidrogênio verde 2050
 \$/kg H₂



Fonte: CRU Hydrogen Cost Model

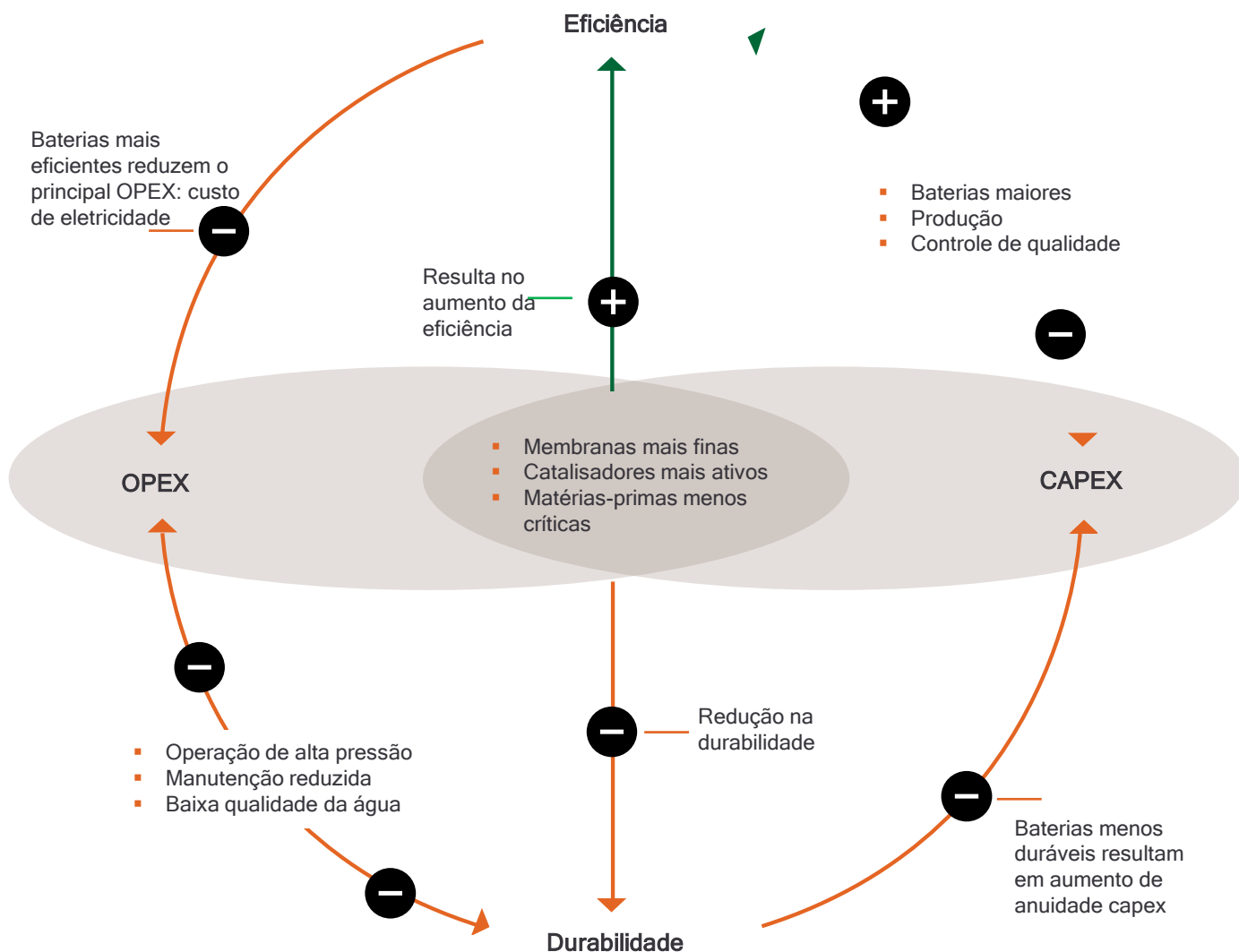
Comentários

Os custos de eletricidade representam cerca de 50% dos custos de produção do hidrogênio verde.

Um custo que a literatura internacional aponta como um habilitador para a utilização do H2V em larga escala é o da ordem de 2 USD/kg, contudo, alcançar esse valor pode ser desafiador, até para países que possuam grandes potenciais em energia renovável.

De acordo com estudos, para que seja possível alcançar um patamar de custo de 2 USD/kg para o H2V (uma redução de cerca de 50%-70% do valor atual), os custos tanto do eletrolisador quanto de energia precisam ser reduzidos de forma significativa (em torno de 75% e mais de 50%, respectivamente).

Além do mais, é provável que o consumidor final pague acima de 3 USD/kg para a molécula (mesmo que o custo de H2V alcance 2 USD/kg): é estimado que os custos de conexão para o transporte de energia de usinas com tecnologia renovável (eólica ou solar) devam acrescentar cerca de 0,7 USD/kg. Adicionalmente, há o custo de armazenamento (equivalente a um revendedor, por exemplo, da molécula para o mercado varejista ou para uso atacadista), para o qual estima-se a adição de cerca de 0,3 USD/kg. Finalmente, a molécula seria comprimida e transportada a uma curta distância, podendo atender ao consumidor varejista, o que poderia adicionar cerca de 0,5 USD/kg ao custo da molécula. Com toda esta cadeia de produção, armazenamento e transporte, estima-se que o H2V poderia chegar ao consumidor varejista final em algo como 3,5 USD/kg.



Relativamente ao eletrolisador, o grande ponto está na taxa de utilização (a qual deve ser em torno de 3.000-6.000 horas/anuais, e ao *tradeoff* necessário para balanceamento eficiência, durabilidade e custos (capex e opex).



3. H2V no Brasil

No Brasil, a temática do hidrogênio vem sendo discutida já há algum tempo, e ganhou fôlego nos últimos anos impulsionada pela demanda externa relativa à molécula.

A produção de hidrogênio verde no Brasil se beneficiaria dos recursos renováveis baratos e flexíveis, em comparação com outros lugares do mundo.

O H2V foi apontado no Plano Nacional de Energia 2050 (PNE), apresentado em 2020, como uma tecnologia disruptiva e de alto interesse para descarbonização, o que indica que já existem iniciativas estratégicas para planejar um eventual início de produção.

O PNE 2050 indica também o potencial uso do hidrogênio como alternativa de mercado, sendo produzido em momentos de baixos preços e oferecendo oportunidades para setores com dificuldade em descarbonização.

Existem benefícios regulatórios já previstos e outros que podem ser desenvolvidos para incentivar a produção de H2V. Um exemplo disso seria o caso da autoprodução de energia elétrica para produção do hidrogênio.

O alto investimento necessário para a implantação de infraestruturas e tecnologias dificulta a viabilização da produção competitiva em larga escala.

Por outro lado, em termos regulatórios, o Brasil já deu os primeiros passos para a implementação de marcos estratégicos que incentivam o desenvolvimento do mercado de hidrogênio nacional.

Timeline do desenvolvimento das principais políticas voltadas ao hidrogênio no Brasil



Os temas em destaque serão abordados em maiores detalhes nas próximas sessões, visto que apresentam diretrizes para o desenvolvimento de incentivos ao mercado nacional de hidrogênio.

A Resolução CNPE nº 6/21 determinou a realização de estudos para proposição de diretrizes para o Programa Nacional do Hidrogênio

Principais marcos estratégicos

1. Resolução CNPE nº 6/2021

À época de sua publicação, o CNPE estabeleceu o prazo de 60 dias para que o Ministério de Minas e Energia (MME), em cooperação com o Ministérios de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e com o Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR), com o apoio da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), apresentasse as propostas de diretrizes a serem utilizadas para o Programa Nacional do Hidrogênio.

Para desenvolvimento das diretrizes, deveriam ser observados os seguintes pontos a seguir.

1



O interesse em desenvolver e consolidar o mercado de hidrogênio no Brasil e a inserção internacional do País em bases economicamente competitivas.

2



A inclusão do hidrogênio como um dos temas prioritários para investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação, conforme Resolução CNPE nº 02/2021.

3



A importância do hidrogênio como vetor energético que, combinado a outras soluções, tem potencial para contribuir globalmente para uma matriz energética de baixo carbono.

4



O interesse na cooperação internacional para o desenvolvimento tecnológico e de mercado para produção e uso energético do hidrogênio.

5



A diversidade de fontes energéticas disponíveis no país para a produção de hidrogênio.

6



As tecnologias associadas a esse vetor energético já desenvolvidas e em desenvolvimento no país.

7



A diversidade de aplicações de hidrogênio na economia.

8



O potencial de demanda interna e para exportação de hidrogênio no contexto de transição energética.

9



A liderança do Brasil no tema “Transição Energética” no Diálogo de Alto Nível das Nações Unidas sobre Energia.

O objetivo do PNH2 é contribuir para que o Brasil caminhe na rota do desenvolvimento sustentável com o aumento da competitividade...

2. Propostas de Diretrizes para o PNH2

Tendo em vista o reconhecimento do papel relevante que a produção e uso do hidrogênio pode desempenhar em uma trajetória de emissões líquidas neutras em carbono, é importante que o Brasil também se posicione a partir da definição de abordagens, direcionamentos e atuações no que se refere à produção e à utilização energética do hidrogênio no País.

Por meio do PNH2, foram estabelecidos os seguintes princípios.

- 1 **Valorizar o potencial nacional de recursos energéticos:** reconhecendo as diversas fontes para obtenção do hidrogênio, sendo elas renováveis ou não, bem como a ampla gama de aplicações em múltiplos setores da economia (transportes, energia, siderurgia e mineração, por exemplo).
- 2 **Ser abrangente:** reconhecendo a diversidade de fontes energéticas e alternativas tecnológicas disponíveis ou potenciais, inclusive as possíveis sinergias, para produção, logística, armazenamento e uso do hidrogênio.
- 3 **Alinhar-se às ambições de descarbonização da economia:** considerando trajetórias que viabilizem que o hidrogênio contribua para a neutralidade líquida de carbono até 2050.
- 4 **Valorizar e incentivar o desenvolvimento tecnológico nacional:** tendo em vista os investimentos e experiências já existentes no País e a necessidade da continuidade do esforço em pesquisa, desenvolvimento e inovação, com vistas à capacitação e autonomia tecnológica e desenvolvimento do sistema produtivo nacional.

...e da participação do hidrogênio na matriz energética brasileira, tendo em vista sua importância econômica, social e ambiental

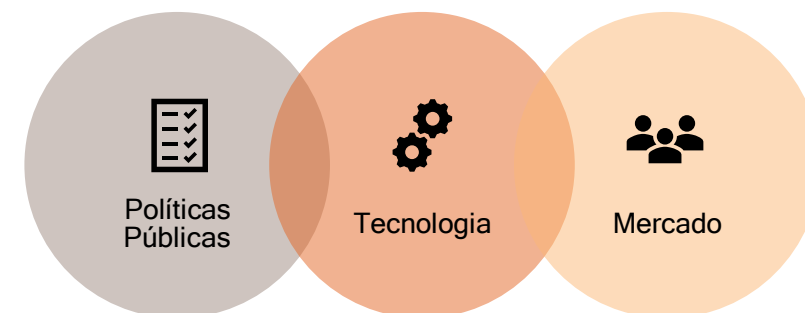
Aspectos do desenvolvimento de um mercado de H2V

a. Almejar o desenvolvimento de um mercado competitivo: considerando o potencial de demanda interna e para exportação de hidrogênio, bem como a evolução dos custos e riscos nos horizontes de curto, médio e longo prazos.

b. Buscar sinergias e articulação com outros Países: reconhecendo que esse mercado deve ter abrangência global e seu desenvolvimento pode ser acelerado por meio de cooperação e coordenação internacional.

c. Reconhecer a contribuição da indústria nacional: o País tem base industrial robusta para a produção de bens de capital, produtos e serviços aptos para contribuir com a economia do hidrogênio.

Sob outra perspectiva, o PNH2 se propõe a definir um conjunto de ações que facilite o desenvolvimento conjunto de três pilares fundamentais para o sucesso de uma trajetória de desenvolvimento da economia do hidrogênio: políticas públicas, tecnologia e mercado.



Para cobrir os princípios apontados, o Plano Nacional de Hidrogênio foi estruturado em seis eixos

De modo a cobrir os princípios apontados, o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2) se estruturará em seis eixos, sendo que os trabalhos em todos os eixos deverão prever ações com o objetivo de promover a comunicação com a sociedade e agentes interessados, inclusive no sentido de esclarecer os riscos e benefícios relacionados ao hidrogênio.



Eixo 1
Fortalecimento das bases tecnológicas

Eixo 2
Capacitação e recursos humanos

Eixo 3
Planejamento energético

Eixo 4
Arcabouço legal-regulatório

Eixo 5
Crescimento do mercado e competitividade

Eixo 6
Cooperação internacional

A resolução CNPE nº 06 de 2022 instituiu o Programa Nacional do Hidrogênio, bem como sua estrutura de governança.

3. Resolução CNPE nº 06/2022

Na estrutura de governança do PNH₂, o **Comitê Gestor do Programa Nacional do Hidrogênio** (Coges-PNH₂), foi criado com a finalidade de coordenar e supervisionar o planejamento e a implementação do Programa.

Competências

- Orientar e aprovar periodicamente o plano de trabalho das Câmaras Temáticas, com ações, responsáveis e prazos de execução.
- Aprovar o relatório anual de atividades das Câmaras Temáticas.
- Promover a harmonização e criação de sinergia entre os planos de trabalho das Câmaras Temáticas e do Programa Nacional do Hidrogênio com outros programas e políticas públicas.
- Buscar promover o hidrogênio como um dos temas prioritários para investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação.
- Atuar para desenvolver e consolidar o mercado e a indústria do hidrogênio no Brasil, com inserção internacional do País em bases economicamente competitivas.
- Consolidar a importância do hidrogênio como vetor energético que contribui para uma matriz energética de baixo carbono.

Composição Coges-PNH2

Composto por representante e respectivos suplentes dos seguintes Órgãos e Entidades:

- I. Ministério de Minas e Energia, que o coordenará;
- II. Casa Civil da Presidência da República;
- III. Ministério da Economia;
- IV. Ministério do Meio Ambiente;
- V. Ministério das Relações Exteriores;
- VI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações;
- VII. Ministério do Desenvolvimento Regional;
- VIII. Ministério da Educação;
- IX. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos da Presidência da República;
- X. Agência Nacional de Energia Elétrica;
- XI. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis; e
- XII. Empresa de Pesquisa Energética.

O Comitê poderá criar Câmaras Temáticas, com o objetivo de desenvolver assuntos técnicos delimitados aos eixos.



Dentro dessa estrutura, para coordenar o PNH₂, um Comitê Gestor deverá se reunir trimestralmente e deliberar a respeito de ações que fortaleçam o mercado e a indústria do hidrogênio enquanto vetor energético no Brasil.

Poderá convidar especialistas ou representantes de outros órgãos, entidades, associações e agentes públicos ou privados, para participarem de reuniões e prestarem assessoramento sobre temas específicos;

O Coges-PNH2 publicará periodicamente relatório de suas atividades no site do MME em página própria relativa ao Colegiado.

Reuniões

O Coges-PNH2 se reunirá trimestralmente, em caráter ordinário, e em caráter extraordinário, mediante convocação de seu Coordenador, por meio de correspondência eletrônica oficial.

- **Quórum de reunião:** maioria absoluta de seus membros.
- **Quórum para a aprovação das matérias:** maioria simples de seus membros.

As deliberações estarão consignadas em atas que deverão ser:

- publicadas no sítio do MME em página própria relativa ao Colegiado; e
 - encaminhadas para conhecimento do CNPE.
- Na primeira reunião ordinária anual do Coges-PNH2, as Câmaras Temáticas apresentarão seus planos de ações anuais e atualização de seus planos de trabalho trienais, quando couber.
- Na última reunião ordinária anual, por sua vez, apresentarão seus Relatórios Anuais de Atividades¹, quando serão apresentados os seus primeiros planos de trabalho trienais.

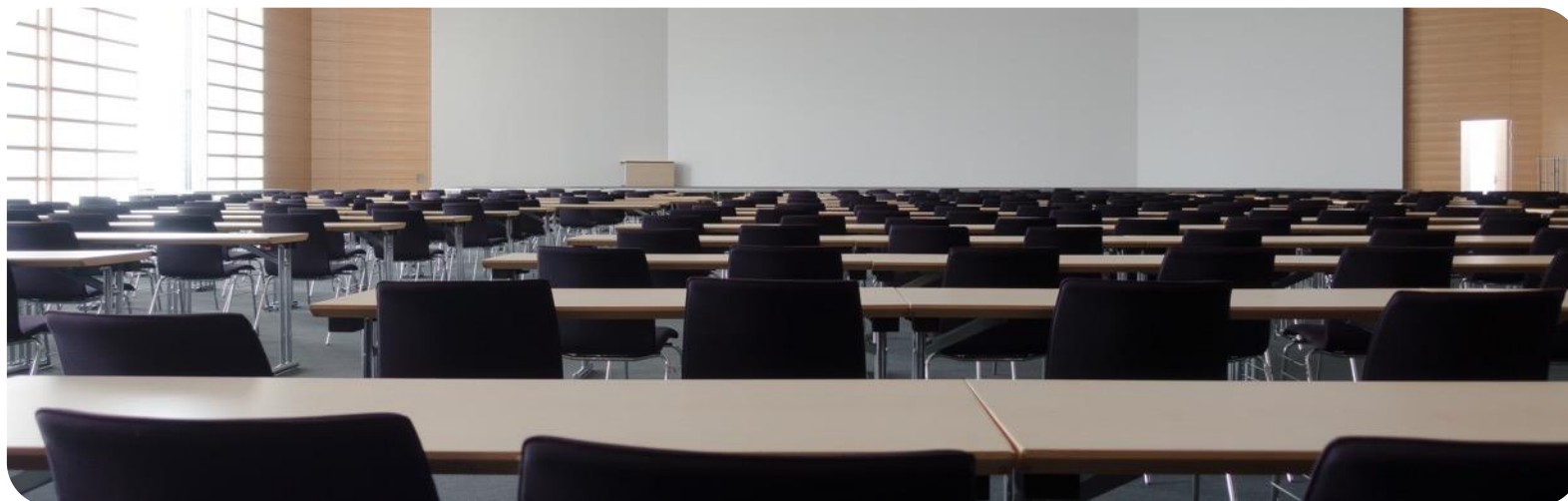
Além disso, para subsidiar o Coges-PNH₂ e examinar questões específicas, foram instituídas Câmaras Temáticas que deverão realizar estudos e análises estratégicas.

As **Câmaras Temáticas**, para subsidiar o Coges-PNH2, devem desenvolver estudos, análises, produzir relatórios técnicos para:

- fortalecimento das bases científico-tecnológicas;
- capacitação de recursos humanos;
- planejamento energético;
- arcabouço legal e regulatório-normativo; e
- abertura e crescimento do mercado e competitividade.

Diretrizes das Câmaras Temáticas

- Ampla participação envolvendo todos os atores relevantes, inclusive agentes privados.
- Elaboração de plano de ações anual e plano de trabalho trienal.
- Designação de Coordenador e Relator dos trabalhos.
- Definição de entregáveis claros em prazos definidos.
- Monitoramento periódico, de ações e entregáveis.
- Promoção de múltiplos mecanismos de colaboração, tais como:
 - a) acordos internacionais;
 - b) cooperações técnicas;
 - c) fóruns de políticas públicas;
 - d) consultas públicas; e
 - e) seminários, workshops e webinars.
- Cada Câmara Temática deverá elaborar um plano de trabalho trienal, que será aprovado pelo Coges- PNH2 em sua reunião ordinária de dezembro de 2022.
- Ainda, outras Câmaras Temáticas, distintas daquelas instituídas poderão ser criadas e deverão seguir algumas premissas:
 - ser compostas por, no máximo, quinze membros;
 - ter caráter temporário e duração não superior a um ano; e
 - ser limitadas a, no máximo, oito em operação simultânea.



¹Exceto em 2022

O relatório do Plano Trienal do PNH₂ contém a descrição e cronograma das atividades previstas para os anos de 2023 a 2025.

4. Consulta Pública MME nº 147/2022

- Os Planos Trienais foram elaborados por Câmara Temática considerando prazos para cada um dos seus componentes, conforme detalhado à seguir:
- A minuta do documento em questão ficou em Consulta Pública até fevereiro de 2023, e recebeu 61 contribuições.

Ressalta-se que muitas das ações propostas precisarão de prévia identificação de fonte de recursos que as custeiem, o que pode ensejar a necessidade de adequações orçamentárias e financeiras para as instituições públicas responsáveis, para que sejam efetivamente executadas.

Fortalecimento das bases científico-tecnológicas

Componente	Ação	Cronograma
Pesquisa, desenvolvimento e inovação	Proposição de chamadas públicas e/ou encomendas para apoiar projetos de P,D&I nas temáticas do PNH ₂ .	De 03/2023 a 06/2025
	Acompanhar e avaliar a execução de projetos de P,D&I selecionados nas Chamadas Públicas do MCTI, do CNPq e da FINEP de apoio à Iniciativa Brasileira do Hidrogênio (IBH ₂) e ao PNH ₂ , lançadas em 2022.	De 03/2023 a 12/2025
	Chamadas Públicas para credenciamento de novas unidades e centros de competência EMBRAPII nas temáticas do PNH ₂ .	De 03/2023 a 12/2025
Fortalecimento da infraestrutura de P,D&I	Implementação do Sistema Brasileiro de Laboratórios em Hidrogênio	De 03/2023 a 02/2024
	Fortalecimento do Sistema Brasileiro de Laboratórios em Hidrogênio	De 03/2023 a 05/2025
	Estabelecer parcerias com fundações/governos estaduais para contrapartida em projetos de infraestrutura	De 03/2023 a 12/2025
Incentivo ao empreendedorismo	Fomento de startups e do processo de inovação aberta em hidrogênio no âmbito dos Programas de Inovação em Hidrogênio verde iH ₂ Brasil e Conecta Startup Brasil	De 03/2023 a 02/2024 e de 03/2023 a 06/2025
Projetos cooperativos e redes de P,D&I	Estruturação de Rede MCTI em Economia do Hidrogênio e de Inovação em Hidrogênio.	De 03/2023 a 02/2024
	Desenvolvimento de projetos cooperativos na modalidade de “basic funding alliance” no âmbito da Rede MCTI/EMBRAPII de Inovação em Hidrogênio.	De 03/2023 a 12/2025
	Estruturação e lançamento de uma chamada estratégica para projetos de P&D tendo o hidrogênio como tema central no âmbito do setor elétrico	De 03/2023 a 02/2024
Estudos, diagnósticos e divulgação científico-tecnológica	Promoção de eventos de divulgação científica-tecnológica	De 03/2023 a 12/2025
	Elaboração de estudos e diagnósticos	De 03/2023 a 12/2025

Em relação à capacitação de recursos humanos, estão previstas ações desde a esfera técnica até níveis de pós-graduação.

Capacitação de recursos humanos

Componente	Ação	Cronograma
Capacitação de nível técnico e profissional	Elaborar mapa do conhecimentos da cadeia de valor do hidrogênio no Brasil	De 03/2023 a 03/2024
	Ampliar o número de laboratórios/equipamentos nas redes de ensino	De 03/2023 a 03/2024
	Aplicar formulários para coleta de dados junto às unidades de ensino	De 04/2023 a 07/2023
	Caracterizar processos na cadeia de valor do hidrogênio, mapeando perfis profissionais necessários	De 02/2023 à 07/2023
Recursos humanos e disciplinas em nível de graduação e pós-graduação	Levantamento do quadro de pesquisadores da instituição com formação e interesse em hidrogênio	De 01/2023 a 12/2024
	Propor unidades curriculares para cursos técnicos, de graduação e pós-graduação	De 01/2023 a 12/2024
	Portfólio de cursos nos de qualificação profissional, técnica e pós-graduação - SENAI	De 01/2023 a 06/2023
	i) Formar docentes em hidrogênio e suas cadeias produtivas junto ao Projeto H2-Brasil ii) Promover eventos anuais sobre pesquisa em Energias Renováveis e Tecnologia do Hidrogênio	De 01/2023 a 12/2024
	iii) Estimular docentes a realizarem pesquisa e atrair novos pesquisadores para o hidrogênio iv) Divulgar as atividades sobre hidrogênio e fomentar o tema para a comunidade	
	Obter métricas sobre formação profissional do hidrogênio para incentivas carreiras e linhas de pesquisa	De 01/2023 a 12/2024
	Estimular cooperação internacional nas áreas do hidrogênio	De 01/2024 a 12/2024
	Formar docentes em conhecimentos sobre hidrogênio e suas cadeias produtivas junto ao Projeto H2-Brasil	De 01/2023 a 12/2024
	Desenvolver curso introdutório em EaD, para disseminar conceitos sobre hidrogênio e usos finais	De 01/2023 a 12/2023

Também estão previstas parcerias entre os setores público, privado e a academia, ampliando a discussão acerca do hidrogênio

Capacitação de recursos humanos

Componente	Ação	Cronograma
Patentes, livros, publicações técnico-científicas e grupos de pesquisa	Estimular o surgimento de grupos de pesquisa e NITs para ampliação da publicação de patentes	De 01/2025 a 12/2025
	Incentivar a publicação de títulos sobre o hidrogênio por meio de concursos e publicações patrocinadas	De 01/2025 a 12/2025
	Buscar a aproximação de grupos de pesquisa sobre o hidrogênio por meio de eventos técnico-científicos	De 01/2025 a 12/2025
Capacitação no âmbito do setor público	Elaborar programa de capacitação sobre hidrogênio de baixo carbono no âmbito do setor público	De 01/2023 a 12/2024
	Selecionar docentes das redes de educação para elaboração de cursos para setor público	De 01/2023 a 12/2025
	Desenvolver curso de pós-graduação para formação de gestores públicos e especialistas em hidrogênio	De 01/2023 a 12/2025
Intercâmbio entre o setor público, privado e a academia	Ampliar a discussão sobre o hidrogênio nos setores público, privado, academia e sociedade	De 01/2023 a 12/2024
	Realizar parcerias público-privadas para formação profissional	De 01/2023 a 12/2025

Sob o ponto de vista de planejamento energético, estão previstas publicações de uma série de estudos até o final de 2025.

Os estudos elencados na minuta de Plano Trienal visam levantar os potenciais de oferta e demanda de hidrogênio no Brasil e estimar quais são os impactos no âmbito da logística e no âmbito socioambiental.

Planejamento energético

Componente	Ação	Cronograma
Potencial de oferta de hidrogênio no Brasil	Estudo 1	De 01/2023 a 12/2023
i) Energia eólica onshore e offshore	Estudo 2	De 01/2023 a 12/2023
ii) Energia solar onshore e offshore	Estudo 3	De 01/2023 a 12/2023
iii) Gás natural com e sem CCUS	Estudo 4	De 07/2023 a 12/2024
iv) Energia nuclear	Estudo 5	De 07/2023 a 12/2024
v) Biomassas primárias (sólidas, líquidas e gasosas)	Estudo 6	De 07/2024 a 12/2025
vi) Energia hidrelétrica	Estudo 7	De 07/2024 a 12/2025
vii) Hidrogênio natural		
viii) Biomassas secundárias (sólidas, líquidas e gasosas)		
ix) Carvão com CCUS		
x) Eletrólise a partir do grid		
xi) Energia dos oceanos		
xii) Geotermia		
xiii) Modelos híbridos de negócio		
Potencial de Demanda de Hidrogênio no Brasil	Estudo 1	De 01/2023 a 12/2023
i) Produção de fertilizantes nitrogenados	Estudo 2	De 01/2023 a 12/2023
ii) Produção de combustíveis em refinarias	Estudo 3	De 01/2023 a 12/2023
iii) Demais processos industriais (química, siderurgia, mineração, alimentos & bebidas etc.)	Estudo 4	De 07/2023 a 12/2024
iv) Produção de combustíveis em bio-refinarias	Estudo 5	De 07/2023 a 12/2024
v) Polos industriais existentes e planejados	Estudo 6	De 07/2023 a 12/2024
vi) Mercado internacional para exportação de hidrogênio e derivados	Estudo 7	De 07/2024 a 12/2025
vii) Transporte e mobilidade	Estudo 8	De 07/2024 a 12/2025
viii) Uso energético (não elétrico) em edificações		
ix) Geração descentralizada de eletricidade (Geração Distribuída e MMGD)		
x) Geração centralizada de eletricidade		
xi) Armazenamento de energia elétrica		

Estima-se que estes relatórios terão papel fundamental no processo de desenvolvimento de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento do hidrogênio no Brasil.

Planejamento energético

Componente	Ação	Cronograma
Impacto do balanço oferta-demanda de hidrogênio na logística energética brasileira	Estudo 1	De 01/2023 a 12/2023
i) Estudos de capacidade atual de expansão/modernização da rede de transmissão de energia elétrica (cenários)	Estudo 2	De 01/2023 a 12/2023
ii) Estudos de capacidade atual e expansão/modernização da rede de transporte de gás natural (cenários)	Estudo 3	De 01/2023 a 12/2023
iii) Uso de infraestrutura de transporte de gás natural para injeção de hidrogênio (cenários)	Estudo 4	De 07/2023 a 12/2024
iv) Estudos de expansão/modernização da rede de polidutos para transporte de hidrogênio e seus derivados (cenários)	Estudo 5	De 07/2023 a 12/2024
v) Identificação da economicidade de alternativas de modais de transporte e armazenamento de hidrogênio		
vi) Identificação		
Impactos socioambientais e sobre recursos hídricos decorrentes da produção, transporte, armazenamento, conversão e uso de hidrogênio e de seus derivados	Estudo 1	De 01/2023 a 12/2023
i) Externalidades socioambientais previstas na produção, transporte utilização e conversão do hidrogênio e seus derivados;	Estudo 2	De 07/2023 a 12/2024
ii) Potencial de redução de emissões de CO2eq nas diferentes aplicações do hidrogênio.	Estudo 3	De 07/2024 a 12/2025
Bases de dados, informações e ferramental de modelagem	Estudo 1	De 01/2023 a 12/2023
i) Inclusão do consumo energético e não energético de hidrogênio no Balanço Energético Nacional (BEM)	Estudo 2	De 01/2023 a 12/2023
ii) Elaboração de simuladores de economicidade da produção e utilização de hidrogênio e derivados	Estudo 3	De 07/2023 a 12/2024
iii) Desenvolvimento da plataforma H2+Brasil	Estudo 4	De 07/2024 a 12/2025
iv) Aperfeiçoamento de modelagem para tratamento do papel do hidrogênio na matriz energética brasileira		

No âmbito de regulação, diversos normativos deverão ser revisados e/ou estruturados para cobrir os aspectos relacionados a cadeia do hidrogênio.

Pelo fato de o hidrogênio envolver diversos *players*, estima-se que serão desenvolvidas normas intersetoriais.

Arcabouço legal e regulatório-normativo

Componente	Ação	Cronograma
Aperfeiçoamento dos arcabouços institucional, legal e infralegal	Minuta de dispositivo estabelecendo a definição de hidrogênio de baixo carbono	De 03/2023 a 04/2023
	Proposta de texto com emenda à Lei nº 9.478/1997	De 03/2023 a 07/2023
	Relatório com mapeamento dos normativos que estabelecem as competências existentes e lacunas	De 03/2023 a 02/2024
Códigos, normas, padrões, certificações expedidos pelas instituições nacionais em consonância com regras internacionais/Mecanismos de certificação para a intensidade de carbono nas cadeias do hidrogênio e derivados.	Proposta do modelo de governança da certificação, incluindo o mapeamento das competência necessárias e proposição de agentes necessários e identificação de possíveis sinergias com organismos existentes	De 03/2023 a 02/2024
	Proposta de cobertura de produtos e gases de efeito estufa a serem considerados, bem como proposta de escopo de fronteira do sistema para fins de análise de ciclo de vida e abrangência geográfica.	De 03/2023 a 02/2024
	Análise e interação com organismos internacionais de sistema de certificação	De 03/2023 a 02/2024
	Proposta de padrão de certificação para as faixas de intensidade de carbono da cadeia do hidrogênio e derivados produzidos no Brasil	De 03/2024 a 02/2025
	Proposta de mecanismo de flexibilidade	De 03/2024 a 02/2025
Interrelações entre setores, harmonizações e cooperação entre agências governamentais	Lista de instrumentos de governança das interrelações entre setores, harmonizações e cooperação a serem aperfeiçoadas ou elaboradas	De 03/2024 a 02/2025
	Propostas de novos instrumentos de governança e/ou revisão de instrumentos de governança existentes entre agências governamentais	De 03/2024 a 02/2025
	Estudo da possibilidade de mistura de hidrogênio na rede de gás natural existente.	De 10/2023 a 09/2024

Com base no histórico de participação da sociedade na elaboração de atos normativos, estima-se que a contribuição dos agentes de mercado também será importante para a construção do arcabouço regulatório-normativo

Arcabouço legal e regulatório-normativo

Componente	Ação	Cronograma
Normas adicionais relativas à segurança	Lista de normas de segurança adicionais ou de revisão de normas	De 03/2025 a 12/2025
	Propostas de novas normas de segurança adicionais ou de revisão de normas	De 03/2025 a 12/2025
Regulação, códigos, normas, padrões de novos usos e tecnologias	Lista de regulamentos, códigos, normas, padrões de novos usos e tecnologias	De 03/2025 a 12/2025
	Proposta de regulação, códigos, normas, padrões de novos usos e tecnologias	De 03/2025 a 12/2025
	Nota Técnica ANP sobre especificações internacionais de hidrogênio como combustível para transporte	De 03/2025 a 12/2025
	Resoluções Normativas da ANEEL para estabelecimento de critérios operativos para redução ou limitação de geração elétrica (<i>curtailment</i>)	De 03/2023 a 06/2024
	Regulamentação do “ <i>Constrained-Off</i> ”, para renováveis	De 03/2023 a 06/2024
	Análise de projetos híbridos de eólica offshore com hidrogênio	De 07/2024 a 12/2025

Por fim, o Plano Trienal aponta para algumas alternativas que poderão ser adotadas com o intuito de promover o crescimento e a competitividade do mercado.

Conforme destacado na tabela ao lado, estima-se que algumas políticas de incentivo ao desenvolvimento do hidrogênio no Brasil serão adotadas. Tais incentivos podem ser de natureza fiscal e também regulatória.

Abertura e crescimento do mercado e competitividade

Componente	Ação	Cronograma
Cadeia de valor do hidrogênio no Brasil: mapeamento, potenciais regionais e inserção do país na cadeia internacional de valor considerando competitividade, nas diferentes rotas, em comparação com outros países	Mapeamento de falhas de mercado e possíveis soluções	De 03/2023 a 08/2024
	Relatório com mapeamento da cadeia produtiva do H2	De 03/2023 a 12/2023
	Relatório sobre competitividade da indústria doméstica e possíveis propostas de políticas	De 03/2023 a 08/2024
	Proposta de melhoria do marco legal das Zonas de Processamento de Exportação (ZPEs)	De 03/2023 a 02/2024
Demandas de rápida disseminação para aplicação do hidrogênio e agregação de demanda para viabilização de projetos e tecnologias, reduzindo custos de transação	Proposta de incentivo ao uso de H2 e derivados (considerar estudos de potencial de demanda da Câmara de Planejamento Energético)	De 07/2024 a 12/2025
Aspectos tributários e incentivos já existentes, política internacional de taxaação nas importações. Necessidades e condições de financiamento	Definição das diretrizes para tributação na cadeia de H2	De 03/2023 a 02/2025
	Avaliar a possibilidade de enquadramento de projetos de H2 no REIDI	De 03/2023 a 02/2025
	Mapeamento e captação de recursos financeiros internacionais elegíveis	De 03/2023 a 12/2025
	Aperfeiçoamento de atos normativos para viabilizar incentivos ao setor: debêntures de infraestrutura	De 03/2023 a 08/2024

Além disso, busca-se estruturar uma política de hidrogênio já associada às questões de redução das emissões de carbono.

Por fim, está também em discussão questões associadas à logística do H₂. Neste âmbito, serão discutidas questões como a mistura do H₂ com gás natural para fins de transporte e assim, maximizar o uso da malha de gás.

Abertura e crescimento do mercado e competitividade

Componente	Ação	Cronograma
Impactos de precificação de carbono e avaliação do efeito indutor dos investimentos. Mecanismos de ajuste de carbono na fronteira.	Estimativa dos impactos da quantificação e precificação de carbono na competitividade do H2	De 08/2023 a 07/2025
	Levantamento da infraestrutura de movimentação de H2 no mundo	De 01/2024 a 08/2025
Infraestrutura existente para transporte e estocagem de hidrogênio, inclusive em mistura com gás natural	Levantamento da infraestrutura de estocagem de H2 no mundo	De 01/2024 a 08/2025
	Levantamento da estrutura existente e potencial para movimentação e estocagem de H2 no Brasil	De 01/2024 a 12/2025

Além das iniciativas acima mencionadas, o PL nº 725/2022 também visa trazer definições e contribuir para a implantação de um mercado de hidrogênio no Brasil.

5. PL nº 725/2022

O PL nº 725/2022 visa estabelecer mecanismos de inserção do hidrogênio no setor energético nacional.

CNPE

Conselho Nacional
de Política Energética

A inserção do hidrogênio será parte da política energética nacional. Deve-se estabelecer o hidrogênio como um vetor energético para transição para uma economia de baixo carbono.



A ANP deve regular, autorizar e fiscalizar a atividade da cadeia do hidrogênio, inclusive a produção, importação, exportação, armazenagem, estocagem, padrões para uso e injeção nos pontos de entrega ou pontos de saída.

Definição

Hidrogênio: hidrogênio puro que permanece no estado gasoso em condições normais de temperatura e pressão, coletado ou obtido a partir de fontes diversas, pela utilização de processos técnicos específicos ou como subproduto de processos industriais.

Hidrogênio sustentável: hidrogênio produzido a partir de fonte solar, eólica, biomassas, biogás e hidráulica.

Dentre as propostas de incentivo, tem-se a inserção do transporte de hidrogênio via gasodutos até 2050.

O abastecimento nacional de combustíveis é considerado utilidade pública e passa a abranger o hidrogênio.

“A adição de **hidrogênio** no ponto de entrega ou ponto de saída nos gasodutos de transporte seguirá percentuais mínimos obrigatórios em volume, na seguinte progressão.

Presença de hidrogênio nos gasodutos

5%
a partir de 2050

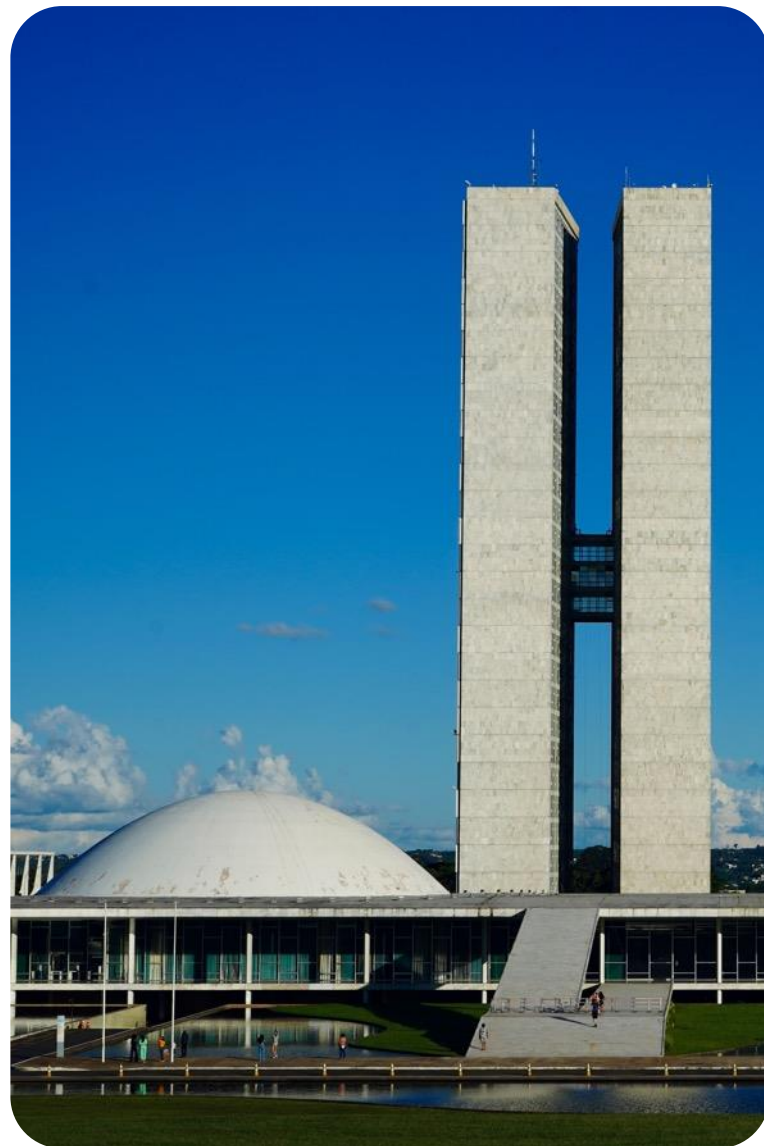
Sendo que 60% deste volume deve ser de hidrogênio sustentável.

10%
a partir de 2050

Sendo que 80% deste volume deve ser de hidrogênio sustentável.

O percentual de adição de hidrogênio poderá ser escalonado de forma incremental em parcelas, de acordo com a capacidade de segurança de transporte e abastecimento.

Atualmente o PL está aguardando a inclusão em Ordem do Dia no Senado Federal.



Proposta textual do Projeto de Lei nº 725/2022

Proposta de alteração da **Lei nº 9.478/1997** que dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências.

Dos Princípios e Objetivos da Política Energética Nacional

Art. 1º As políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia visarão aos seguintes objetivos: (...)

XIX - inserir o hidrogênio como vetor energético para a transição para uma economia de baixo carbono e consolidação de sua produção nacional em bases competitivas e sustentáveis (NR). (...)

Das Definições Técnicas

Art. 6º Para os fins desta Lei e de sua regulamentação, ficam estabelecidas as seguintes definições: (...)

XXXII - Hidrogênio: hidrogênio puro que permanece no estado gasoso em condições normais de temperatura e pressão, coletado ou obtido a partir de fontes diversas, pela utilização de processos técnicos específicos ou como subproduto de processos industriais.

XXXIII - Hidrogênio sustentável: hidrogênio produzido a partir de fonte solar, eólica, biomassas, biogás e hidráulica” (NR) (...)

Art. 8º A ANP terá como finalidade promover a regulação, a contratação e a fiscalização das atividades econômicas integrantes da indústria do petróleo, do gás natural e dos biocombustíveis, cabendo-lhe: (...)

XXXVI - regular, autorizar e fiscalizar a atividade da cadeia do hidrogênio, inclusive a produção, importação, exportação, armazenagem, estocagem, padrões para uso e injeção nos pontos de entrega ou pontos de saída.” (NR)

Proposta de alteração da **Lei nº 9.847/1999** que dispõe sobre a fiscalização das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis.

Art. 1º A fiscalização das atividades relativas às indústrias do petróleo e dos biocombustíveis e ao abastecimento nacional de combustíveis, bem como do adequado funcionamento do Sistema Nacional de Estoques de Combustíveis e do cumprimento do Plano Anual de Estoques Estratégicos de Combustíveis, de que trata a Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, será realizada pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) ou, mediante convênios por ela celebrados, por órgãos da administração pública direta e indireta da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios.

§ 1º O abastecimento nacional de combustíveis é considerado de utilidade pública e abrange as seguintes atividades:

(...)

IV - produção, importação, exportação, armazenagem, estocagem, padrões para uso e injeção nos pontos de entrega ou pontos de saída do hidrogênio;” (NR)

Atualmente o PL está aguardando a inclusão em Ordem do Dia no Senado Federal.

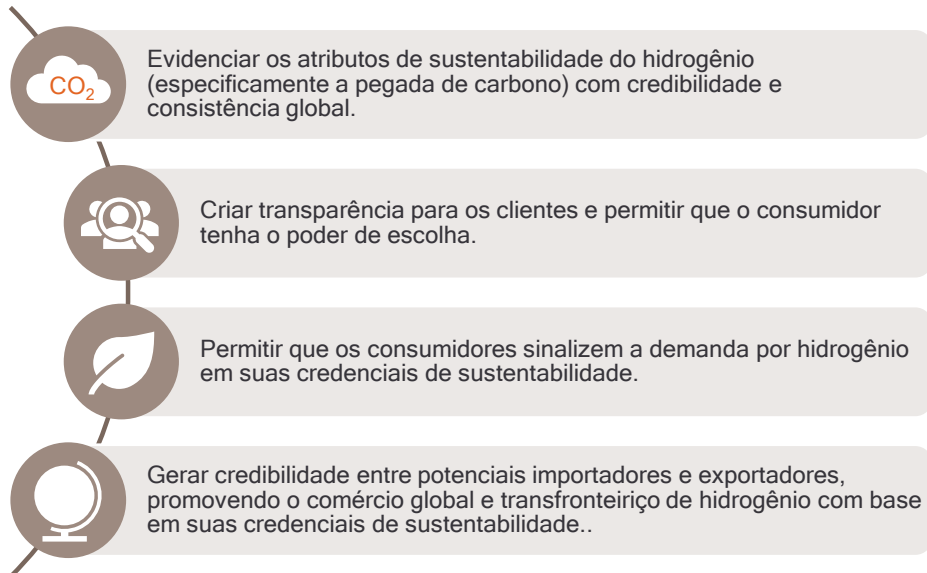
Em dezembro de 2022, a CCEE lançou a primeira certificação de hidrogênio do mercado brasileiro, sendo um guia inicial para esse procedimento.

O principal objetivo do estabelecimento de uma metodologia de certificação é o atendimento à demanda de projetos piloto para fabricação deste combustível no Brasil.

Com o intuito de garantir clareza ao processo, a CCEE publicou em seu website um [manual](#) com os principais conceitos e orientações atrelados ao processo de certificação.

Como resultados, busca-se **comprovar a origem e rastrear os atributos ambientais do produto que está sendo certificado**. De acordo com a CCEE, o documento tem por base as últimas definições estabelecidas nas Diretivas de Energia Renovável (RED II/III).

Propósitos principais para a certificação

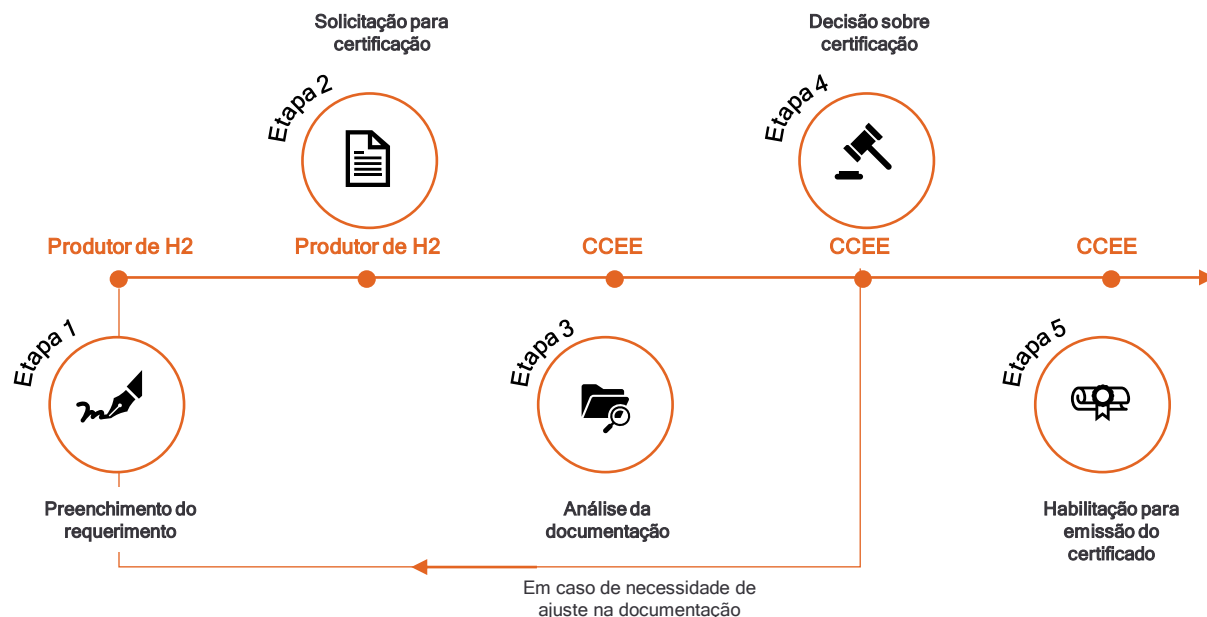


Nesta primeira versão, foram elencadas **6 (seis) especificações** relacionadas ao processo de certificação. No entanto, ao longo dos anos, tem-se a intenção de aprimorar o documento para que este esteja em concordância com as melhores práticas do mercado global.

- | | | |
|---|--|---|
| 1 Abrangência
Certifica o hidrogênio como produto (kg) | 2 Método de Produção
Certifica todo hidrogênio produzido através da eletrólise da água | 3 Entrega
A entrega final da certificação seria um certificado em PDF |
| 4 Correlação Temporal
mensal ou trimestral - quantificação da energia utilizada e o hidrogênio produzido | 5 Modalidade
Produtores conectados ao SIN com PPA, autoprodução renovável ou conexão direta (offgrid) | 6 Emissões
Contabiliza emissões indiretas associadas ao consumo de energia elétrica para produção de hidrogênio (Escopo 2 GHG Protocol) (kg CO ₂ eq/kg H ₂) |

Visto que neste primeiro momento a certificação terá um caráter estritamente técnico, não serão levados em consideração aspectos de integridade, conflitos de interesse ou questões socioambientais.

O procedimento geral proposto pela CCEE é composto pelas seguintes etapas



Etapa 1 - Preenchimento do requerimento ([link formulário](#))

- Nesta primeira etapa devem ser encaminhadas as seguintes informações
- Dados do Produtor de Hidrogênio (Consumidor)
 - Endereço, razão social, CNPJ, Siglas e Códigos das Parcelas da Carga.
 - Dados dos CCEALs/PPAs
 - Sigla(s) e Código(s) da(s) Parcela(s) de Usina; e
 - Sigla e Código do perfil de agente comprador e vendedor, Código dos Contratos.
 - Dados de Autoprodução Renovável
 - Sigla(s) e Código(s) da(s) Parcela(s) de Usina.

Etapa 2 - Solicitação para certificação

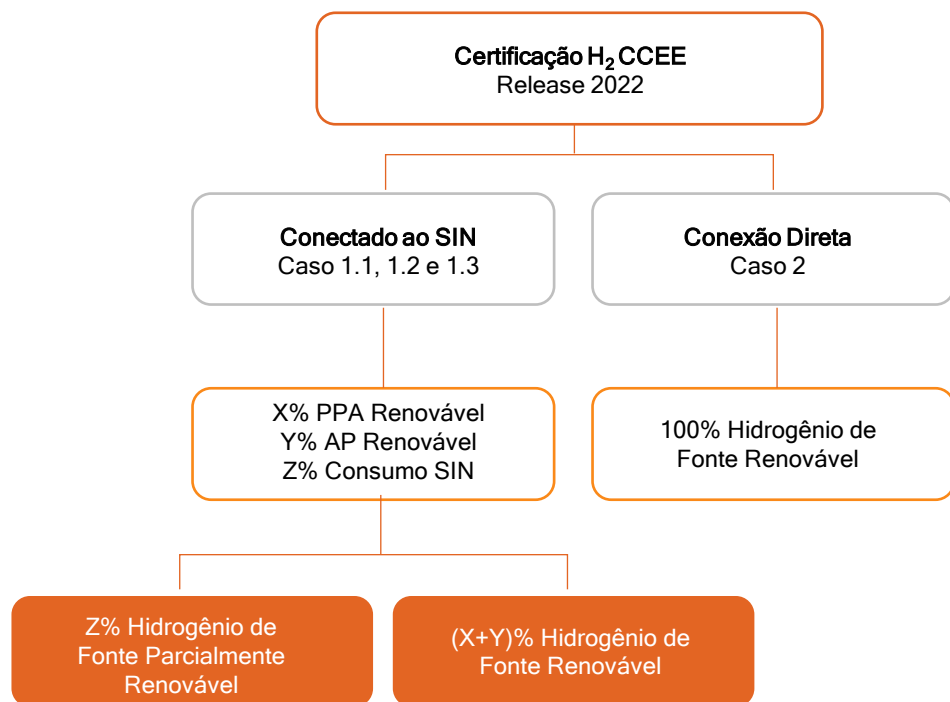
- Os interessados em certificar a produção de hidrogênio devem encaminhar à CCEE por e-mail o formulário de requerimento devidamente preenchido e assinado.
 - Endereço de e-mail: atendimento@ccee.org.br
 - Assunto: "Cadastro para Certificação de Hidrogênio"

Etapas 3, 4 e 5 - Análise da CCEE, decisão sobre a certificação e habilitação

- Após a verificação de todas as informações, a CCEE entrará em contato com o agente para comunicar a aprovação ou a necessidade de ajustes no cadastro.
- Em caso de realização de ajustes, o formulário deve ser preenchido novamente considerando as indicações da CCEE e deve ser reencaminhado via e-mail à Câmara.
- Após a aprovação do cadastro pela CCEE, o interessado estará apto a emitir, mensal ou trimestralmente, os certificados de hidrogênio.

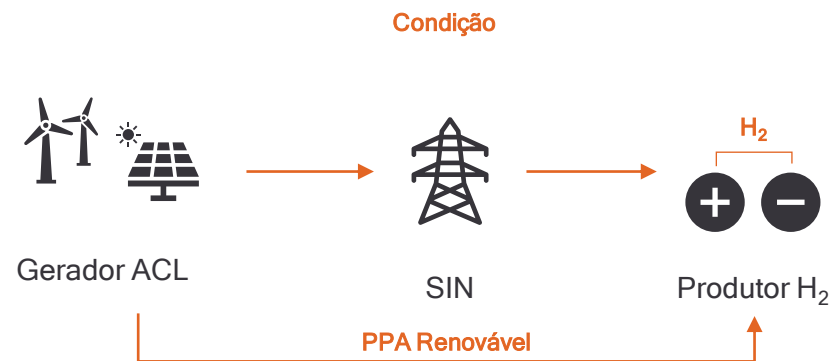
Neste primeiro momento, foram estabelecidas duas certificações distintas: hidrogênio de fonte renovável e hidrogênio de fonte parcialmente renovável.

As classificações em questão dependerão da parcela de energia com comprovação renovável na produção do hidrogênio, conforme imagem abaixo:

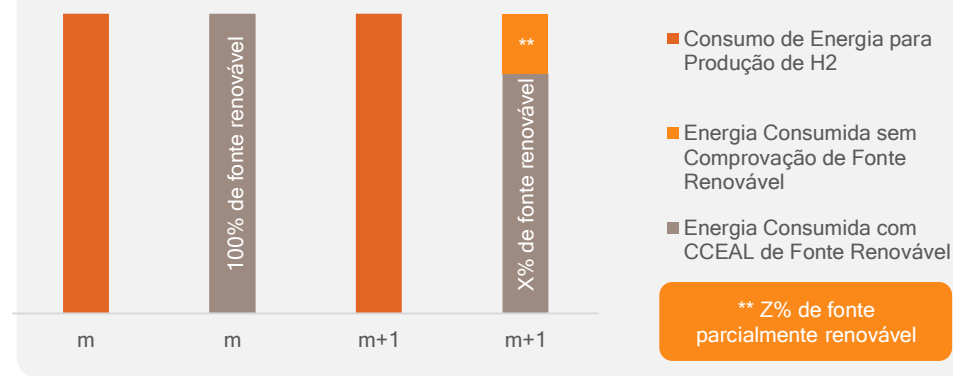


Apuração para Certificação do Hidrogênio - Casos

Caso 1.1 - Conectado ao SIN com CCEAL de Fonte Renovável

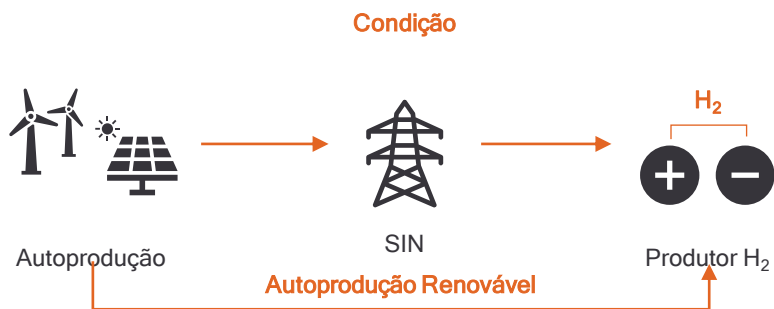


Possibilidades de Certificação

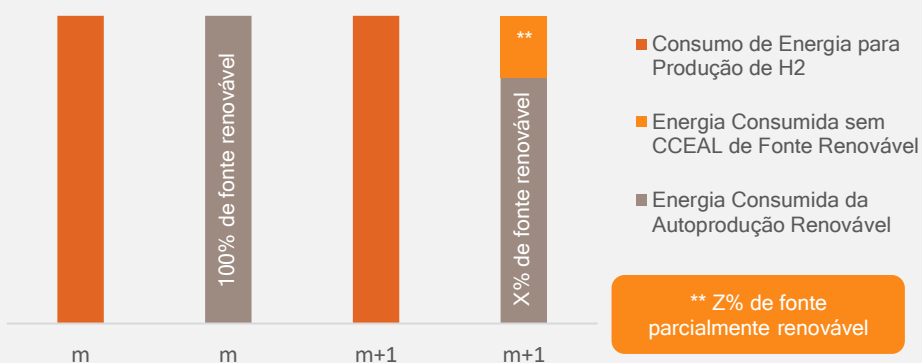


A classificação de “parcialmente renovável” será emitida quando o consumo para produção de H₂ não for comprovado como proveniente de fonte renovável

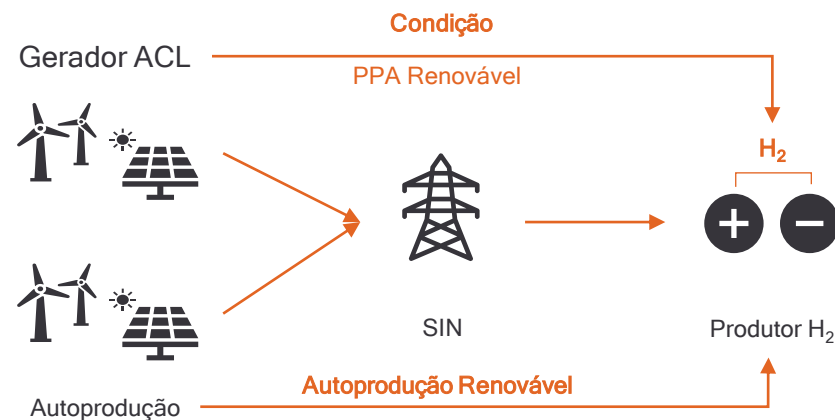
Caso 1.2 - Conectado ao SIN com Autoprodução de Fonte Renovável



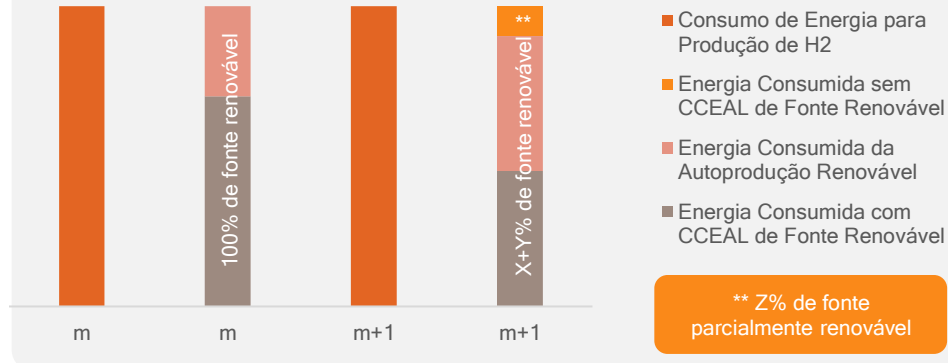
Possibilidades de Certificação



Caso 1.3 - Conectado ao SIN com CCEAL (PPA) + Autoprodução Fonte Renovável

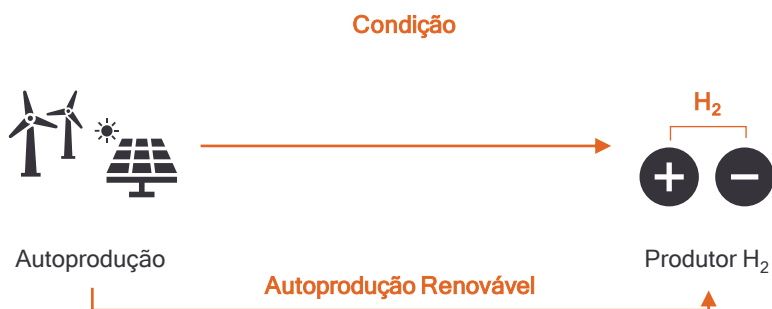


Possibilidades de Certificação



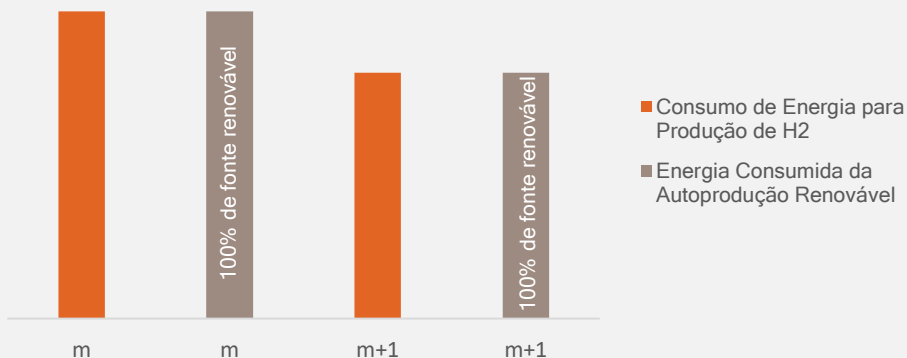
Para o caso de produção de hidrogênio por meio de uma usina renovável off-grid, independente do montante produzido, a classificação será como “100% de fonte renovável”

Caso 2 - Conexão Direta com Autoprodução de Fonte Renovável



Para as parcelas certificadas como hidrogênio de fonte parcialmente renovável, será calculado a Intensidade de Carbono com base no fator médio de emissões do SIN no mês de referência.

Possibilidades de Certificação



Procedimento de Transferência, Cancelamento e Expiração

O objetivo principal é estabelecer um procedimento que garanta a rastreabilidade dos certificados e que também evite a dupla contagem.

Transferência: poderão ser realizadas transferências totais e parciais dos certificados emitidos.

Solicitação de Transferência

O proprietário do certificado irá solicitar a transferência de propriedade do certificado através do formulário.

Análise da CCEE

Como certificadora, a CCEE irá analisar se a transação é válida e poderá ser realizada.

Transferência do Certificado

Não tendo nenhum impedimento, o certificado está apto a ser transferido.

Aceitação do Adquirente

O adquirente terá até 5 dias úteis para aceitar a transferência.

Cancelamento: poderão ser realizados cancelamentos totais e parciais. O cancelamento é utilizado em casos em que o hidrogênio será destinado ao consumidor final. Além de cancelado o certificado, será realizado o devido registro da parcela consumida.

Solicitação de Cancelamento

O proprietário do certificado irá solicitar o cancelamento do certificado através de formulário.

Análise da CCEE

Como certificadora, a CCEE irá analisar se o cancelamento é válido.

Cancelamento do Certificado

Não tendo nenhum impedimento, o certificado será cancelado.

Expiração: Os certificados expiram automaticamente em 12 meses após a data indicada como a final da avaliação do certificado.



4. Desafios e perspectivas para o H2V

A utilização em larga escala do H2V possui atualmente alguns desafios que precisam ser endereçados

Custo de Produção

O H2V ainda possui um custo de produção elevado, comparativamente a outras rotas tecnológicas ou opções energéticas

Falta de Infraestrutura Dedicada

O hidrogênio atualmente tem sido produzido próximo ao seu consumo, com baixa infraestrutura dedicada ao seu transporte (cerca de 5.000 quilômetros de dutos no mundo para o transporte da molécula vs. 3 milhões para o gás natural).

Perdas de Energia

O H2V possui perdas de energia ao longo de sua cadeia de valor: 30-35% no processo de eletrólise; 13-25% no processo de conversão de H2V em amônia; adicionalmente são necessários cerca de 10-12% de energia extra para seu transporte

Falta de estrutura de Mercado

O H2V ainda não possui um mercado estruturado, com seus potenciais consumos (ex: aço, combustível para navios, etc), ainda não sendo contabilizado nas estatísticas oficiais no que tange ao uso total final de energia. Além disso, a origem da energia utilizada precisa ser comprovada (renovável)

Nesse sentido, políticas estruturantes e estratégicas podem ser adotadas pelos países para viabilizar a redução dos custos de produção, bem como a utilização em larga escala do H2V.



Estratégias Nacionais

Essa ação pode iniciar com a criação de programas de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), seguido de um documento comentando aspectos da adoção do hidrogênio na economia.



Prioridades Políticas para o H2V

Cada país deve identificar as rotas de maior valor do hidrogênio para suas economias, paralelamente com objetivos práticos (ex: redução da poluição do ar, acelerar o crescimento econômico, etc).



Sistema para Certificação do H2V

Um sistema de certificação deve ser desenvolvido para diferenciar e valorar o H2V.



Adoção de Governança e Políticas Habilitadoras

Esses aspectos criam condições socioeconômicas para a adoção do H2V em larga escala. As políticas de P&D, mercado de trabalho e outras auxiliares devem refletir o valor social e sistêmico das escolhas feitas pela sociedade.



A criação de uma estratégia nacional envolve vários aspectos, devendo ser estruturada em conjunto com sociedade e demais stakeholders, refletindo as escolhas coletivas pela adoção do H2V

1. Programas de P&D

- Apoio à pesquisa básica e exploratória
- Iniciar programas “moonshot”
- Apontar para a liderança tecnológica

2. Diretriz de Longo-Prazo

- Mostrar potencial/objetivo final
- Alinhar exposições privadas e públicas
- Destacar os benefícios e o valor agregado

3. Roadmap

- Definir os principais marcos e metas
- Apresentar cronograma para ampliação
- Ações para avançar

4. Estratégia

- Definir os principais alvos
- Garantir a coerência com o restante da política energética
- Introduzir medidas diretas, integradoras e capacitadoras
- Apresentar uma *timeline*

Parceria público-privada

- Criar plataformas de informação
- Criar consenso sobre a visão de longo-prazo
- Coordenar esforços futuros

Projetos anunciados de produção de hidrogênio de baixa intensidade em emissões de carbono potencialmente podem gerar investimentos da ordem de 350 bilhões de dólares até 2030. A Thymos Energia estima que para o mesmo período, o Brasil investirá em torno de 28 bilhões de dólares.

Comentários:

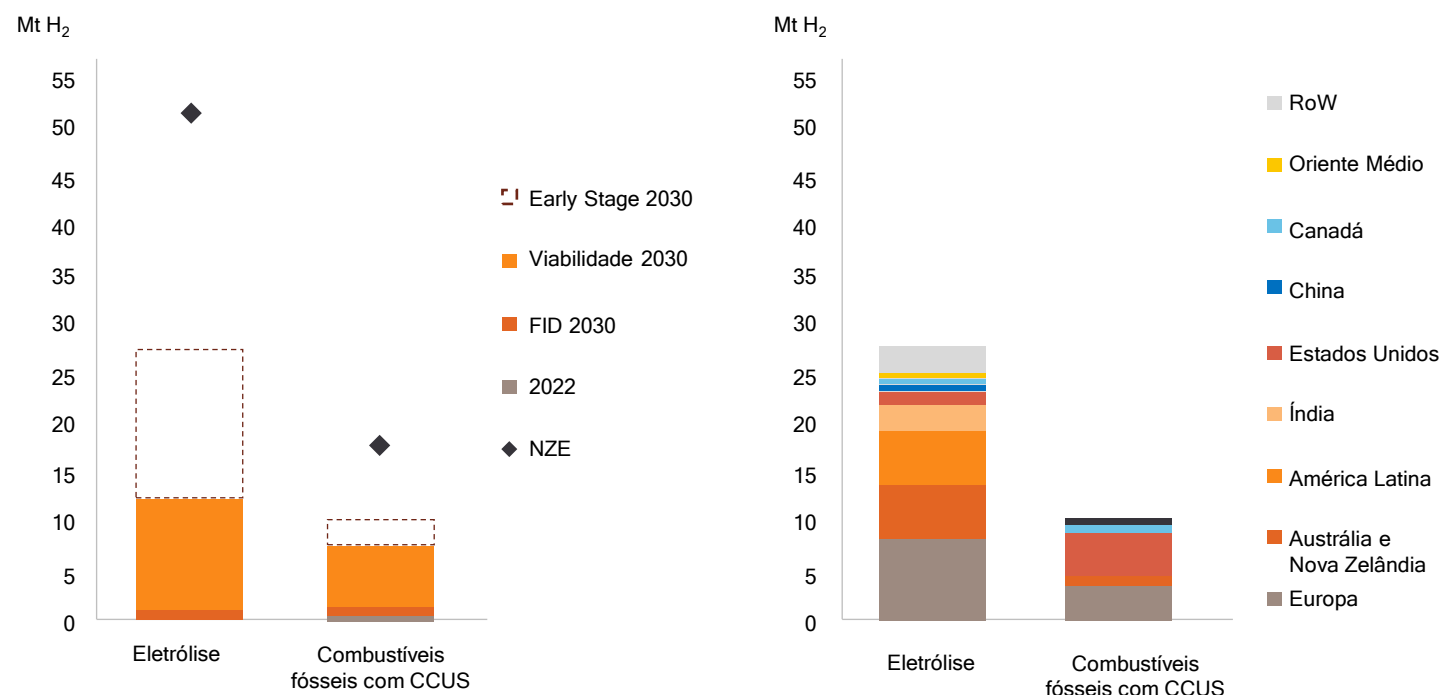
Os investimentos em projetos de hidrogênio de baixa emissão de carbono têm ganhado tração nos últimos anos. Nesse sentido, podem ser incluídos projetos de hidrogênio verde ou com sistemas de captura e utilização de CO₂ (CCUS).

O pipeline de projetos de hidrogênio de baixa emissão de carbono anunciados pode chegar a 20 Mt/ano (incluindo hidrogênio verde e com tecnologia CCUS), para os projetos que já possuam construção iniciada ou que já tenham decisão de investimento aprovada (Final Investment Decision - FID).

Potencialmente, este pipeline pode chegar a 38 Mt/ano, incluindo projetos que estão em etapas iniciais de desenvolvimento (early stage, por exemplo, projetos que seus stakeholders tenham assinado um instrumento de cooperação para o desenvolvimento de um determinado projeto).

Com relação a esse portfólio de projetos anunciados, a Thymos Energia estima que até 2030 o Brasil deva investir em torno de 28 bilhões de dólares em projetos de hidrogênio de baixa emissão de carbono.

Essa tração nos investimentos em projetos desse tipo é importante, mas ainda aquém de um cenário de emissões líquidas nulas de CO₂, conforme apresentado no gráfico ao lado. Para isto, seria necessária uma capacidade de produção de hidrogênio de baixo carbono em torno de 72 Mt/ano (praticamente mais de 3 vezes a capacidade atual de projetos FID).



FID - Final Investment decision
 CCUS - Carbon Capture, Utilization and Storage
 NZE - Net Zero Emissions (cenário 2050, projeção IEA)
 RoW - Rest of World
 FID 2030 - Inclui projetos que estão em construção e projetos que tenham chegado à decisão de investimento (FID)
 Viabilidade 2030 - inclui projetos que atualmente estão em estudo de viabilidade
 Early Stage - Inclui projetos em fase inicial de desenvolvimento, como os que possuem apenas um acordo de cooperação assinado entre stakeholders



Adicionalmente, o número de fabricantes para os eletrolisadores tem aumentado e diversificado a tecnologia, com a aplicação de vários tipos de equipamentos

Comentários:

Ao passo que ações de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) são desenvolvidas para poderem habilitar o uso em larga escala do H2V, a competição entre fabricantes pode provocar uma aceleração no desenvolvimento tecnológico e auxiliar a reduzir os custos.

Atualmente, o campo da produção de H2V está em franco crescimento entre fornecedores e pode não ser tão fácil reconhecer novos players. Historicamente, com raras exceções, eletrolisadores eram fabricados por pequenas empresas. Isso tem mudado ao longo dos últimos anos, agora com grandes corporações ativas na aquisição e fusão de fabricantes de médio a grande porte desses equipamentos. Isso aumentará de forma significativa o investimento nesse nicho de mercado, levando a uma expansão da capacidade produtiva, e, conseqüentemente, redução de custos da tecnologia. A tabela ao lado evidencia, de forma não exaustiva, alguns players que têm se empenhado na fabricação de eletrolisadores.

Empresa	Local de Fabricação	Tipo do eletrolisador
AQUAHYDREX	Austrália, USA	●
AREVAH ₂	França, Alemanha	●
ASAHI KASEI	Japão	●
CARBOTECH	Alemanha	●
COCKERILL JINGLI	China	●
CUMMINS-HYDROGENICS	Bélgica, Canadá, Alemanha	● ●
DENORA	Itália, Japão, US	● ●
ENAPTER	Itália	●
GINER ELX	USA	●
GREEN HYDROGEN SYSTEMS	Dinamarca	●
HALDOR TOPSOE	Dinamarca	●
HITACHI ZOSEN	Japão	● ●
HONDA	Japão	●
HYDROGENPRO	Noruega	●
iGAS	Alemanha	●
ITM	Reino Unido	●
KOBELCO	Japão	● ●
KUMATEC	Alemanha	●
MC PHY	França, Itália, Alemanha	●
NEL HYDROGEN	Dinamarca, Noruega, USA	● ●
PERIC	China	●
PLUG POWER	USA	●
SHANGHAI ZHIZHEN	China	●
SIEMENS ENERGY	Alemanha	●
SOLIDPOWER	Itália, Suíça, Alemanha, Austrália	●
SUNFIRE	Alemanha	●
TELEDYNE	US	●
THYSSENKRUPP UHDE	Alemanha	●
TIANJIN	China	●
TOSHIBA	Japão	●

● Eletrolisadores PEM ● Eletrolisadores Alcalinos ● Eletrolisadores AEM ● Eletrolisadores de estado sólido

5. Considerações finais

Hidrogênio - Vetor energético importante para a descarbonização

O hidrogênio é uma molécula com alta versatilidade de aplicações, que vão desde a indústria química, passando pelo segmento de transportes, até a própria geração de energia elétrica. Nesse sentido, a molécula possui fundamental importância no auxílio à transição energética, sendo altamente flexível para diversas aplicações. Normalmente o hidrogênio está associado a outros elementos, de sorte que, para obtê-lo, podem ser utilizados vários processos e fontes de energia, o que é denominado de rota tecnológica. A forma mais comum de obtenção do hidrogênio atualmente envolve a utilização de combustíveis fósseis.

H2V - Uma nova fronteira dos mercados de energia

Uma rota tecnológica que vem ganhando cada vez mais espaço é a da produção de hidrogênio via eletrólise, conhecida como hidrogênio verde. Os custos de produção do H2V são sensivelmente influenciados por dois fatores: i) custo da energia e ii) custo do eletrolisador. Para que se tenha um custo de produção de 2 USD/kg de H2V, são necessárias reduções significativas desses custos (cerca de 50% e 75%, respectivamente). Ainda assim, é provável que o H2V chegue ao consumidor final em torno de um valor maior que 3 USD/kg, dados os processos de armazenamento e transporte da molécula.

H2V no Brasil - Importantes avanços nos marcos estratégicos

No Brasil, a temática do hidrogênio vem sendo discutida já há algum tempo, e ganhou tração nos últimos anos, impulsionada pela demanda externa relativa à molécula. O H2V foi apontado no PNE 2050 (2020) como uma tecnologia disruptiva e de alto interesse para descarbonização, o que indica que já existem iniciativas estratégicas para planejar um eventual início de produção. Em termos regulatórios, o Brasil já deu os primeiros passos para a implementação de marcos estratégicos que incentivam o desenvolvimento do mercado de hidrogênio nacional.

Desafios e perspectivas para o H2

Como principais desafios para o H2 podem ser citados: i) custos de produção; ii) falta de infraestrutura dedicada; iii) perdas de energia e iv) falta de estrutura de mercado. Nesse sentido, políticas estruturantes e estratégicas podem ser adotadas pelos países para viabilizar a redução dos custos de produção, bem como a utilização em larga escala do H2V. Relativamente às perspectivas em 2022 a nova capacidade de produção de hidrogênio anunciada ficou praticamente em linha com a de 2021, em cerca de 22,5 milhões de toneladas, versus 26 milhões em 2021, com o H2V representando cerca de 87% da nova capacidade.

Como a Thymos Energia pode agregar valor e ajudar a viabilizar, em conjunto com o mercado, um ambiente de negócios voltados ao hidrogênio no Brasil?



Estudos de desenho de mercado e regulação, visando propor soluções com robustez conceitual e viabilidade prática no contexto do desenho de mercado brasileiro com a inserção do hidrogênio como vetor energético de relevância.



Simulações energéticas, elétricas e econômicas com o objetivo de propor modelos de negócios e tarifas considerando o desenvolvimento e expansão do hidrogênio na matriz energética brasileira.



Programas de Pesquisa e Desenvolvimento para propor aperfeiçoamentos regulatórios assim como propostas de desenvolvimento da cadeia produtiva do hidrogênio.

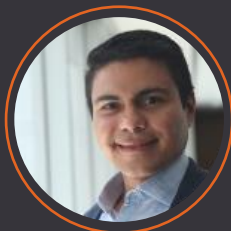
Equipe envolvida neste **White Paper**



João Mello
CEO



Alexandre Viana
COO



Jovanio Santos
Head of Strategy &
New Business



Mayra Guimarães
Head of Price & Market
Research



Victor Ribeiro
Head of R&D and Market
Intelligence



Lauro Oliveira
Strategical Affairs
Consultant

Este White Paper possui o exclusivo intuito de discutir e promover o debate no contexto do setor elétrico brasileiro. Ele não representa um trabalho de consultoria ou uma recomendação formal. Desse modo, não se pode atribuir à Thymos Energia qualquer responsabilidade por decisões empresariais ou relacionadas a políticas públicas que sejam tomadas e refiram-se a este documento. A Thymos Energia não pode assegurar a precisão das informações descritas neste trabalho, observando que as fontes utilizadas foram indicadas. É proibida a reprodução parcial ou integral deste trabalho sem a citação da fonte.



Thymos Energia

✉ propostas@thymosenergia.com.br

☎ (55) 11 3192 9103

🌐 www.thymosenergia.com.br

📍 Av. das Nações Unidas, 11541 | 10º andar | 04578-907 | Brooklin | SP