

# O desenvolvimento da economia do hidrogênio de baixo carbono

**Nelson Siffert**

Rio de Janeiro, 19 de março de 2026



# Roteiro

## **I. O *Momentum* do H2BC**

**I.1 Fragmentação Geopolítica**

**I.2 Projetos Integrados em Escala Industrial (China)**

**I.3 Leilões Europeus**

**I.4 Projetos Piloto no Brasil**

## **2. Marco Legal, PHBC e Rehidro**

## **3. A Plataforma H2GLab, o Custo Nivelado de Produção do H2BC (LCOH) e os Modelos de Negócios**

## **4. H2BC-derivado: Amônia**

## **5. Políticas Públicas e Bancabilidade**

**I. O *Momentum*** (intensidade, força ou velocidade de um movimento ou tendência) **do H2BC**

# A visão da AIE:

“fragmentação geopolítica crescente” no sistema energético global .

Tema central da economia da energia:

- EUA → recuo em compromissos climáticos (especialmente sob Trump)
- Europa → aceleração da eletrificação e renováveis
- China → expansão massiva de eletrificação e indústria limpa

Fatih Birol, diretor-executivo da Agência Internacional de Energia (IEA/AIE)

Jornal: The National (Abu Dhabi, Emirados Árabes Unidos)

25/04/2025

# A jornada continua....

- ii) suporte política pública no BR, Europa, China, India, Japão, Coreia;
- iii) variedade de projetos-piloto (teste de modelos de negócios);
- iv) entrada em operação de projetos em escala industrial de derivados de H2BC (China).

# China: Projetos de H2BC e derivados em escala industrial

Projeto	Ano de implantação (COD)	Localização	Tipo de H <sub>2</sub>	Produto derivado	Capacidade	Aplicação
Sinopec – Kuqa Green Hydrogen Demonstration	2023 (operacional)	Kuqa, Xinjiang	Hidrogênio verde (solar fotovoltaico)	Hidrogênio para refino e base para amônia	20.000 t H <sub>2</sub> /ano	Descarbonização de refinaria petroquímica
Ningxia Baofeng Energy Solar-to-Hydrogen	2021-2022 (operacional)	Ningxia	Hidrogênio verde (solar)	Metanol verde	~160 milhões Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> /ano	Indústria petroquímica (olefinas e metanol)
China Three Gorges Renewable Hydrogen	2024 (operacional inicial)	Mongólia Interior	Hidrogênio verde (eólico solar)	Químicos e combustíveis sintéticos	~10.000 t H <sub>2</sub> /ano	Indústria química
Datang Duolun Coal-Chemical + Green H <sub>2</sub>	2025 (entrada comercial)	Mongólia Interior	Hidrogênio híbrido (renov + CCUS)	Amônia e metanol	~70,6 milhões Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> /ano	Fertilizantes nitrogenados e petroquímica
Envision Energy – Chifeng Green Ammonia	2025-2026 (previsto)	Chifeng, Mongólia Interior	Hidrogênio verde (eólico onshore)	Amônia verde	Escala industrial exportadora	Combustível marítimo e fertilizantes
China National Coal Group Green Ammonia	2024-2025 (implantação faseada)	Norte da China	Hidrogênio verde	Amônia verde	~122.000 t amônia/ano	Fertilizantes
SPIC Power-to-Liquid Fuels (Qiqihar)	2026 (previsto)	Heilongjiang	Hidrogênio verde	SAF (querosene sintético) e metanol	~164.000 t H <sub>2</sub> /ano + ~400.000 t SAF/ano	Combustível de aviação
Jungar Banner Hydrogen-to-Methanol	2024 (operacional parcial)	Mongólia Interior	Hidrogênio verde	Metanol verde	Escala industrial	Combustível marítimo e químico
Huaneng Integrated Renewable Hydrogen Base	2025-2027 (implantação modular)	Mongólia Interior	Hidrogênio verde	Amônia e intermediários químicos	Integrado a ~1 GW renovável	Indústria pesada e química

Fonte: elaboração própria do autor a partir de comunicados corporativos e relatórios setoriais: SINOPEC (2023); ENVISION ENERGY (2024); SPIC (2024); CHINA DATANG (2025); NINGXIA BAOFENG ENERGY (2022); CHINA ENERGY INVESTMENT CORPORATION (2024); IEA (2023); IRENA (2024).

Predomina projetos integrados (com energia renovável no Capex) de amônia verde, SAF, metanol, uso em refinarias e indústria química.

# Exemplo: Projeto North Control (subsidiária da Shenzhen Energy)



Projeto Integrado de produção de amônia com H<sub>2</sub> de baixo carbono

500 MW de eólica

5 MW de solar PV offgrid

60 kms de linha de transmissão de 220 Kv

20.000 t de H<sub>2</sub>/ano

150.000 t de amônia verde/ano

# Resultados do 1º e 2º Leilão do Banco Europeu do Hidrogênio

Projeto	Coord.	País	Volume (kt H <sub>2</sub> )	Cap. (MWe)	Red. GEE (ktCO <sub>2</sub> )	Preço (€/kg)
eNRG Lahti	Nordic Ren-Gas	Finlândia	122	90	836	0,37
Cinza2Verde-II	Petrogal	Portugal	216	200	1.477	0,39
HYSENCIA	Angus	Espanha	17	35	115	0,48
SKIGA	Skiga	Noruega	169	117	1.159	0,48
Catalina	Renato Ptx	Espanha	480	500	3.284	0,48
MP2X	Madoquapower	Portugal	511	500	3.494	0,48
Kokkola P2X	Koppu Energia	Finlândia	258	200	1.263	0,33
H2GC GREEN DEVCO 4	Green DevCo	Espanha	30	30	204	0,44
NOOR IBERDROLA	Iberdrola	Espanha	261	120	1.334	0,84
GQ2Move-XL	Dreavia	Espanha	2	5	15	0,65
Haukneset	Norwegian Hydrogen	Noruega	39	85,75	201	0,45
HammerfestH 2	GREEN H	Noruega	12	7,50	80	1,80

Fonte: Comissão Europeia – European Hydrogen Bank. <https://climate.ec.europa.eu/>

Nos dois primeiros leilões do EHB, foram selecionados **12 projetos**, com diversos usos finais

Produção prevista de 2,0 Mt de H<sub>2</sub>BC, sendo alocados EUR 1 bilhão em subvenções em 10 anos.

Foco na produção e consumo na EU;

Oferece um **prêmio fixo** por kg de H<sub>2</sub> produzido e vendido;

Subvenção **ao Opex**;

Valor médio ponderado da subvenção EUR **0,48/kg**

# Ponto crítico: contratos off-taker de H2BC

Os contratos de compra e venda de hidrogênio (H2SPA) fortalecem a bancabilidade dos projetos.

Duração de 10 anos, refletindo incertezas sobre o futuro de mercados emergentes;

Contratos de Gás Natural (LNG) servem de referência;

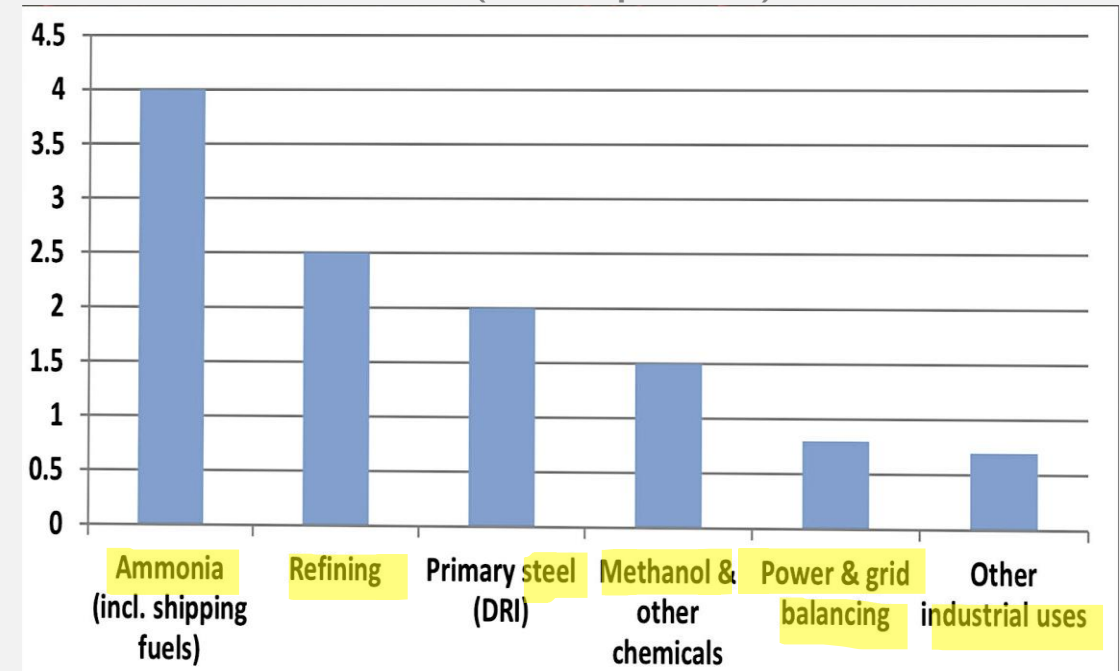
Integração com mecanismos de apoio público (CfD);

Alternativas ao take-or-pay: flexibilidade, tolling, estruturas híbridas estão sendo exploradas;

Determinação: (i) preço (fixo, indexação),  
(ii) volume (especificação, certificação),  
(iii) transporte (dutos, navios, portos),  
(iv) força maior (regulatório);

## Offtakers de H2BC por Uso Final

(Mt H2 equivalente)



Fonte: The Oxford Institute for Energy Studies (January, 2026, OIES Paper: ET 52, Bankability of Hydrogen Projects: Key Risks, Financing Challenges and Mitigation Solutions  
Adapted from IEA (2024)

# Exemplos de Contratos Off-taker de H2BC recém firmados

Produtor / Projeto	Offtaker	Produto	Descrição do Contrato	Ano
ExxonMobil (Baytown, EUA)	Marubeni	Amónia de baixo carbono	Contrato de longo prazo para fornecimento de aproximadamente 250.000 t/ano de amónia de baixo carbono produzida no projeto Baytown,	2025
RWE	TotalEnergies	Hidrogénio verde	Acordo para fornecimento de 30.000 t/ano de hidrogénio verde por 15 anos, com início previsto em 2030.	2025
Fertiglobe / Scatec (Egito)	HINTO	Amónia renovável	Contrato de 20 anos para fornecimento inicial de 19.500 t/ano, podendo atingir 397.000 t até 2033.	2024
TotalEnergies	Air Products	Hidrogénio verde	Contrato de 15 anos para fornecimento anual de 70.000 toneladas de hidrogénio verde na Europa.	2024
ACME	Yara	Amónia verde	Acordo vinculante para fornecimento de 100.000 t/ano de amónia renovável para fertilizantes.	2024
NEOM Green Hydrogen Project	Air Products	Amónia verde	Offtake exclusivo de 1,2 milhão t/ano de amónia verde produzida na Arábia Saudita.	2023
H <sub>2</sub> Green Steel (Suécia)	Mercedes-Benz	Aço verde (base H <sub>2</sub> )	Contrato de fornecimento de aço produzido com hidrogénio verde para a indústria automotiva.	2023
H <sub>2</sub> Green Steel	BMW	Aço verde	Offtake de aço descarbonizado produzido com hidrogénio renovável.	2023
Copenhagen Infrastructure Partners	Uniper	Amónia verde	Acordo de fornecimento de amónia verde para uso energético e industrial na	2023
Woodside	Uniper	Amónia verde	Contrato de fornecimento de amónia verde para uso energético e	2023
Fortescue Future Industries	EON	Hidrogénio verde	Memorando de offtake para fornecimento de hidrogénio renovável à Alemanha.	2023
ACWA Power / NEOM	Air Products	Amónia verde	Contrato exclusivo de comercialização global da produção do projeto NEOM.	2023

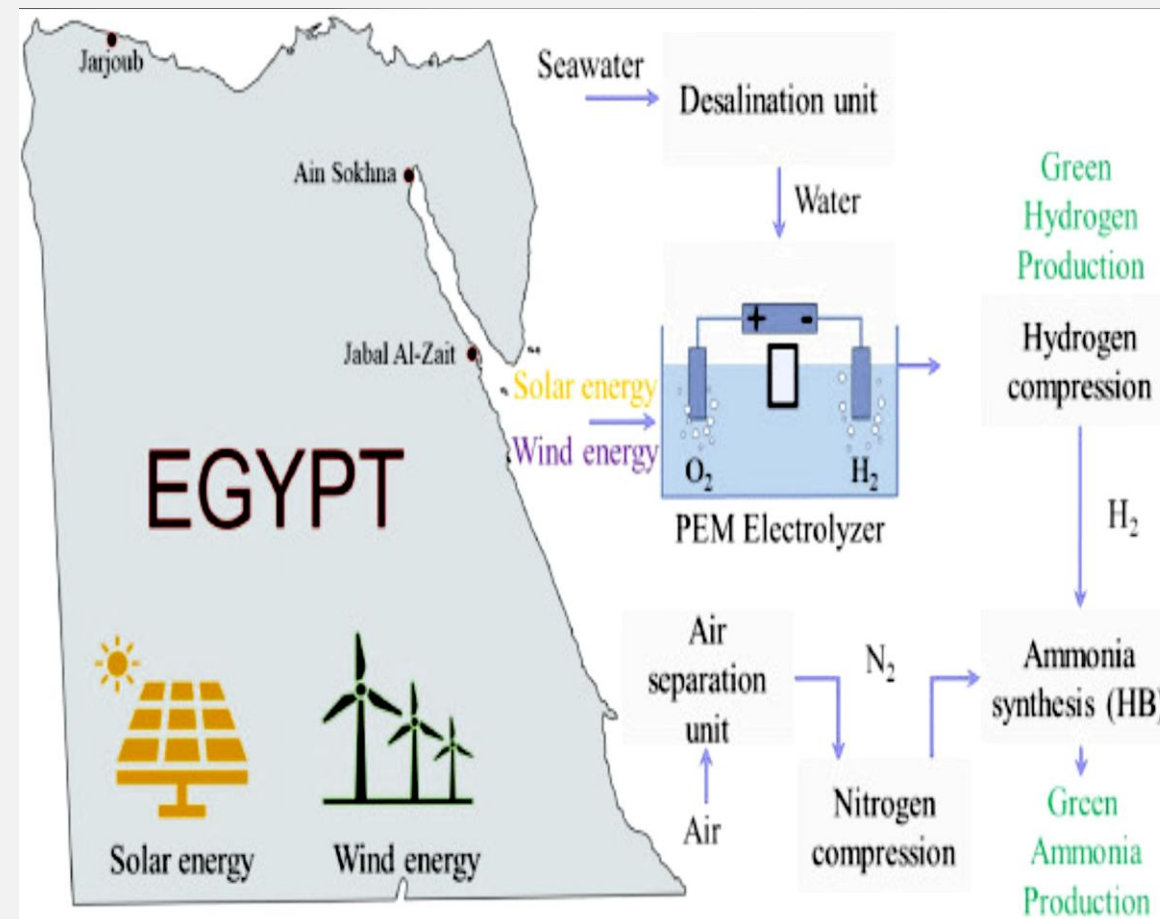
Fontes: RWE, TotalEnergies, Fertiglobe, Scatec, ACME, NEOM, H<sub>2</sub> Green Steel. Copenhagen Infrastructure Partners, Woodside, Fortescue Future Industries, Plug Power.

# Projeto Fertiglobe (vencedor Leilão H2Global)

## Projeto vencedor do 1º Leilão H2Global (Amônia Renovável – Egito)

Empresa vencedora	Fertiglobe (joint venture ADNOC + OCI Global)
Tipo de produto contratado	Amônia renovável (derivado do hidrogênio)
Iniciativa	H2Global – Alemanha (operador Hintco)
País do projeto	Egito
Localização	Zona Econômica do Canal de Suez – Ain Sokhna
Projeto industrial	Egypt Green Hydrogen / Egypt Green Ammonia
Mercado de destino	União Europeia (importação via Porto de Roterdã)
Início das entregas	2027
Período contratual	até 2033
Volume contratado	até 397.000 toneladas de amônia
Volume inicial	~19.500 t em 2027
Preço contratual	~€ 1.000/t entregue na Europa
Valor máximo do contrato	€ 397 milhões
Produção de H <sub>2</sub>	Hidrogênio renovável usado como insumo da amônia
Eletrólise	~100 MW
Renováveis associadas	~70 MW solar + ~203 MW eólica
Ofertas recebidas	22 empresas de 5 continentes
Estrutura de financiamento	Contrato de compra de longo prazo (HPA) + revenda curta pela Hintco (leilão duplo)

Fonte: elaboração própria com base em dados da Hintco / Fertiglobe (H2Global).



São estabelecidas referências de mercado

# Projetos de H2BC de Larga Escala no Brasil (Intenções de Investimento, sem FID)

Projeto	Localização	Produto	Capacidade (GW)	Investimento	Produção Anual (t)
Casa dos Ventos / TotalEnergies	Pecém, Ceará	Amônia Verde	1,20	USD 2,28B	900.000
Fortescue	Pecém, Ceará	Hidrogênio Verde	1,20	USD 3,37B	170.000
FRV (Fase 1)	Pecém, Ceará	Amônia Verde	0,50	USD 1,12B	400.000
Qair – Fraternité & Liberté	Pecém, Ceará	H2 Verde, NH3, O2	2,52	USD 3,32B	1.680.000
Atlas Agro	Uberaba, MG	Fertilizantes Nitrogenados	0,30	USD 1,12B	530.000
European Energy	Suape, PE	e-Metanol	0,15	USD 0,38B	100.000
Voltalia	Pecém, Ceará	Amônia Verde	0,28	USD 0,50B	250.000
Acciona/Nordex	RN (Macau, etc.)	Amônia Verde	0,50	USD 2,06B	430.000
EDF (Pecém)	Pecém, Ceará	Amônia Verde	0,20	N/A	170.000
EDF (Bahia)	Bahia	e-Metanol	0,10	N/A	80.000
Qair – Suape	Suape, PE	H2 Verde, NH3, O2	2,24	USD 2,94B	1.680.000
FRV (Fase 2)	Pecém, Ceará	Amônia Verde	1,50	USD 3,37B	1.200.000

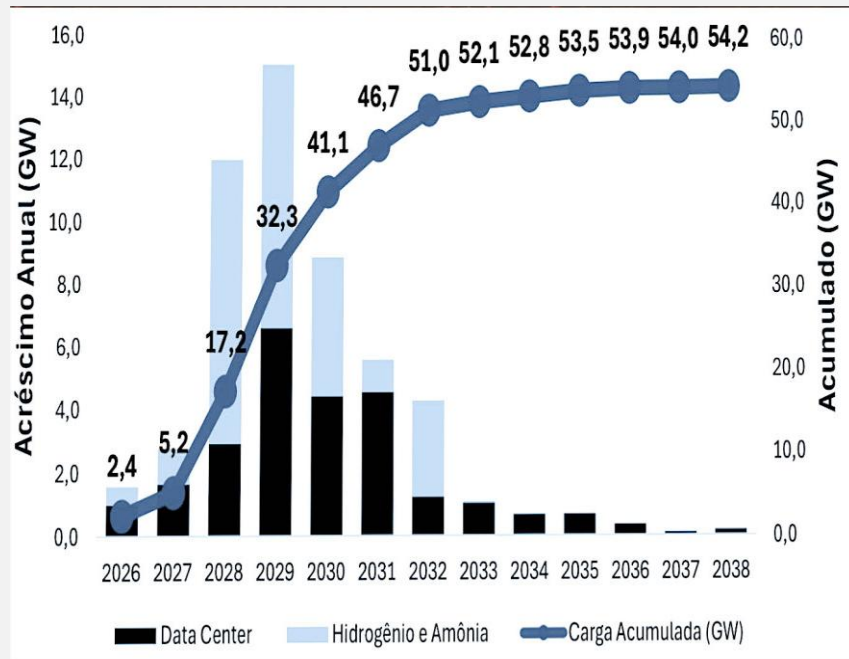
Relevância das cargas de grande porte para o requisitos de potência do sistema elétrico;

Cargas concentradas em pontos específicos do SIN, exigem investimentos em reforço e ampliação das redes de transmissão e subestações;

Avaliação integrada: localização da carga, solução de conexão, arranjo de contratação e alocação de custos.

# Carga de Energia de Projetos de Larga Escala no Brasil

**Pedidos de Conexão à Rede Básica junto ao MME até 2038**



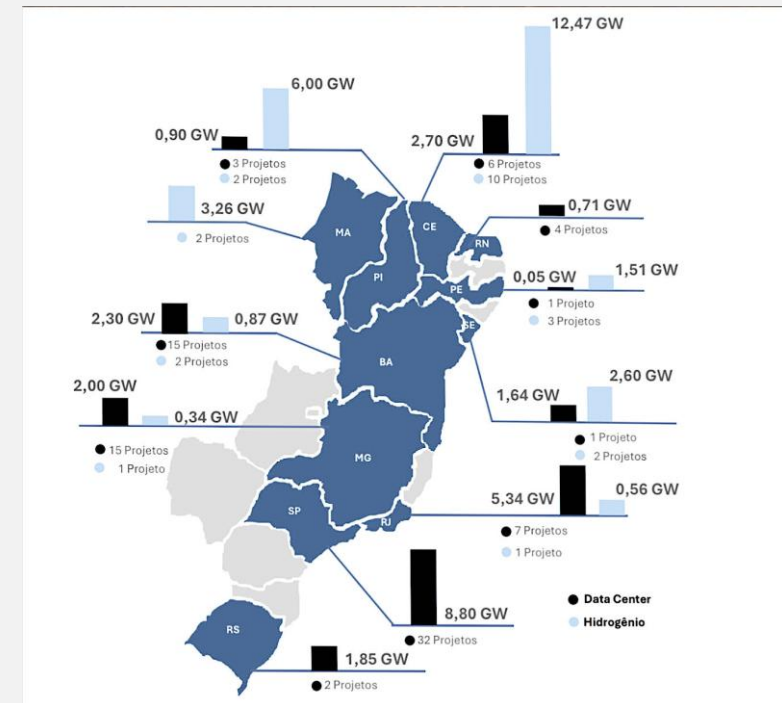
Fonte: MME (out/2025), Plano Decenal de Expansão de Energia 2035

No PDE 2035, as cargas especiais atingem 15 GWp no cenário mais favorável.

A carga projetos de H2BC: 27,9 GWp do PDE 2035. Número de projetos: 24.

Está sendo realizado pela EPE estudo prospectivo relativo à expansão de 4 GW de cargas de hidrogênio no Nordeste.

**Localização e Número de Projetos de Hidrogênio**



Fonte: Plano Decenal e Expansão de Energia 2035

# Projetos de Hidrogênio de Baixo Carbono aprovados em 2025 no âmbito do PD&I ANEEL

Projeto / Empresa	Localidade	Objetivo Principal	Investimento Estimado	Apoio
Eletronorte (Eletrobras)	Região Norte (planta piloto)	Implantação de planta piloto de hidrogênio renovável para aplicação no setor industrial	Não divulgado publicamente	PD&I ANEEL
Parnaíba II (Eneva)	Maranhão (ambiente industrial)	Produção de hidrogênio renovável para descarbonização da indústria de alimentos	Não divulgado publicamente	R\$ 18,9 milhões via PD&I ANEEL
Petrobras	Refinaria (Sudeste)	Produção de hidrogênio de baixo carbono por eletrólise integrada ao processo de refino	R\$ 170–238 milhões	R\$ 8,0 milhões via PD&I ANEEL
Rio Paraná Energia / CTG Brasil	Região Sul (papel e celulose)	Planta de hidrogênio renovável com rastreabilidade e certificação de baixo carbono	Não divulgado publicamente	R\$ 60,0 milhões via PD&I ANEEL
CTG Brasil (projeto merchant H2V)	Brasil (planta piloto)	Projeto piloto de produção e comercialização ('merchant') de hidrogênio verde	Não divulgado publicamente	R\$ 37,8 milhões via PD&I ANEEL

Continuidade da agenda do H2BC com base em apoio de recursos de PD&I

Aporte de R\$ 196 milhões na subvenção ao Capex de projetos piloto

Maior ênfase em projetos com offtakers previamente identificados

Busca por modelos de negócios escaláveis

Fonte: ANEEL – Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (PD&I), 2025.

# Programa de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva de H2 Verde (H2V) Estado do Rio Grande do Sul (2025)

Projeto / Empresa	Localidade	Objetivo Principal	Investimento Estimado	Apoio do Governo do RS
Âmbar Sul Energia S/A	Candiota (RS)	Planta industrial de H2 verde a partir de energia solar para uso industrial	Não divulgado publicamente	Subvenção econômica via Badesul
Tramontina – Hidrogênio Verde	Carlos Barbosa (RS)	Produção de H2V por eletrólise para uso interno industrial	Não divulgado publicamente	Subvenção econômica via Badesul
Be8 S.A. – Projeto Piloto	Passo Fundo (RS)	Posto de abastecimento de H2 verde para transporte pesado	R\$ 38,7 milhões	Subvenção (contrapartida mínima 30%)
Rodoplast Indústria e Comércio de Componentes Plásticos	Vacaria / São Sepé (RS)	Produção de H2 verde integrada a resíduos sólidos urbanos (RSU)	Não divulgado publicamente	Subvenção econômica via Badesul

Fonte: Governo do Estado do Rio Grande do Sul – Programa de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva de H2 Verde (H2V).

Iniciativa de ente subnacional buscando adensamento local da cadeia do H2BC

Aporte de R\$ 100 milhões na subvenção ao Capex de projetos piloto

Maior ênfase em projetos com offtakers industriais

Busca por modelos de negócios escaláveis: biocombustíveis, uso industrial.

# Chamada Pública BNDES / FINEP – Combustíveis Sustentáveis

Planos de Negócio Selecionados – SAF, Biocombustíveis Avançados e Combustíveis Marítimos de Baixo Carbono

Empresa / Grupo Líder	Localização do projeto (principal)	Segmento / tecnologia	Produto principal	Investimento estimado
Acelen Renováveis	Bahia – Biorrefinaria associada à Refinaria de Mataripe	Biorrefino HEFA	SAF e diesel renovável (HVO)	≈ US\$ 2,5 bilhões
Raízen	Interior do Estado de São Paulo	Rota ATJ (álcool-to-jet) / biomassa	SAF a partir de etanol	≈ US\$ 1–2 bilhões
Petrobras	Refinarias no RJ, SP e RS	Coprocessamento em refinarias	SAF e combustíveis marítimos de baixo carbono	≈ R\$ 2–3 bilhões
Vibra Energia	Hubs logísticos no Sudeste	Integração logística de SAF	Distribuição de SAF e combustíveis sustentáveis	≈ R\$ 1 bilhão
Copersucar	Estado de São Paulo	Integração etanol-SAF	SAF via rota álcool-to-jet	≈ US\$ 1 bilhão
FS Bioenergia	Mato Grosso	Etanol de milho integrado	SAF e biocombustíveis avançados	≈ US\$ 800 milhões
Atvos	Goiás e Mato Grosso do Sul	Biomassa e etanol	SAF e bioenergia avançada	≈ US\$ 1 bilhão
São Martinho	Estado de São Paulo	Cana-de-açúcar / etanol	SAF via rota ATJ	≈ US\$ 500–800 milhões
BP Bunge Bioenergia	Goiás e Minas Gerais	Bioenergia integrada	SAF e combustíveis renováveis	≈ US\$ 1 bilhão
Inpasa	Mato Grosso e Mato Grosso do Sul	Etanol de milho	SAF e combustíveis renováveis	≈ US\$ 500 milhões
Be8 (BSBIOS)	Rio Grande do Sul	Biorrefinaria avançada	SAF e diesel renovável	≈ US\$ 700 milhões
ECB Group / Omega Green	Paranaíba – Mato Grosso do Sul	Biorrefinaria de grande escala	SAF e diesel renovável	≈ US\$ 1,5–2 bilhões
GranBio	Alagoas	Biomassa celulósica (2ª geração)	SAF de segunda geração	≈ US\$ 600 milhões

## **2. Marco Legal, PHBC e Rehidro**

# Definição do Marco Legal do H2BC

Em 2024 foi aprovado o **Marco Legal do Hidrogênio** (Lei 14.948);

O hidrogênio de baixo carbono é definido como sendo a molécula que, no ciclo de vida do processo produtivo, resulte em um valor de emissões menor ou igual a 7 kgCO<sub>2</sub>eq/kgH<sub>2</sub>;

A regulação RED II implica em um nível de emissões menor que 3 kgCO<sub>2</sub>/kgH<sub>2</sub>;

As Políticas Públicas apoiam diferentes rotas tecnológicas de produção de H<sub>2</sub>BC, desde que atendam aos requisitos relativos aos níveis de emissões.



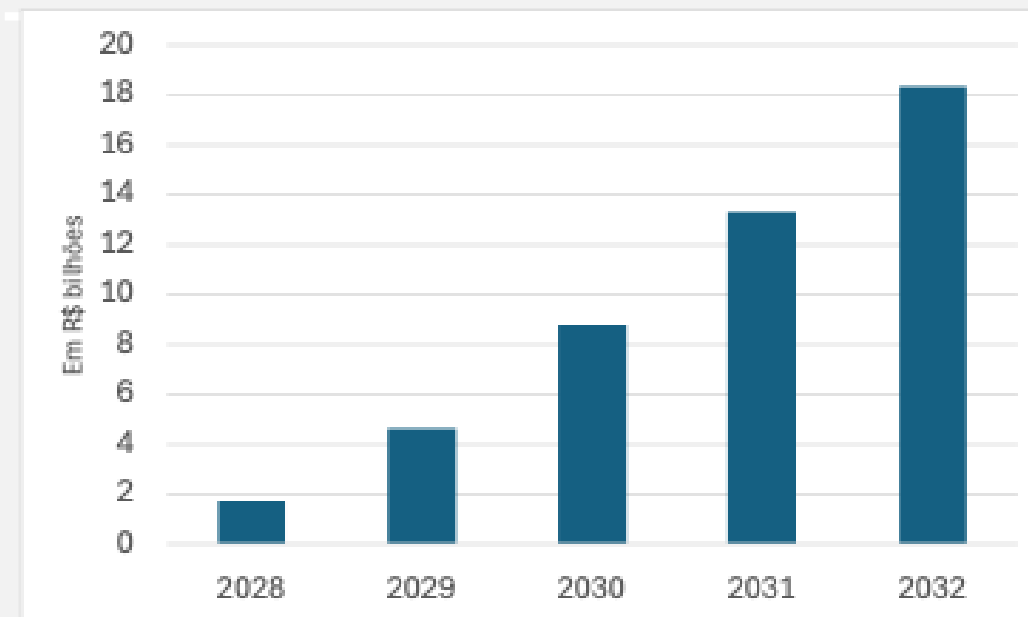
# Programa do Hidrogênio de Baixo Carbono (PHBC)

O Programa Nacional de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono PHBC foi criado, em 2024, pela Lei 14.990.

No âmbito do PHBC, é previsto que, no período 2028/2032; sejam alocados, por meio de processos competitivos (leilões), **créditos fiscais** que somam R\$ 18,3 bilhões;

Os créditos fiscais poderão ser utilizados na comercialização do H2BC, tanto por **produtores** como **compradores**, bem como pelas respectivas controladoras; em um montante até 100% da diferença de preço entre o H2BC e o H2 de origem fóssil;

Orçamento Acumulado de Créditos Fiscais  
(PHBC)



# PHBC

O crédito fiscal pode representar um prêmio fixo a ser apropriado pelo produtor e/ou comprador, favorecendo o estabelecimento de contratos de compra e venda de H2BC de longo prazo;

Para o produtor, o crédito fiscal reduz o LCOH por meio do menor opex; para o comprador, aumenta a propensão a pagar pelo H2BC. Favorece o match contratual entre produtor e offtaker.

Estimativas realizadas (Plataforma H2GLab) apontam que o PHBC tem potencial para alavancar uma produção de cerca de 1 Mt/ano de H2BC, implicando na implantação de 6 GW de capacidade de eletrólise, caso 100% do incentivo fiscal seja destinado à rota tecnológica da eletrólise.



# Rehidro

Rehidro criado pela Lei 15.269/2024, no âmbito do Marco Legal;

Direcionado para subvencionar o Capex de ; projetos ligados à cadeia do H2BC;

Redução do PIS/PASEP, Confins, PIS/Confins-Importação sobre aquisição de máquinas, equipamentos, matérias de construção e serviços;

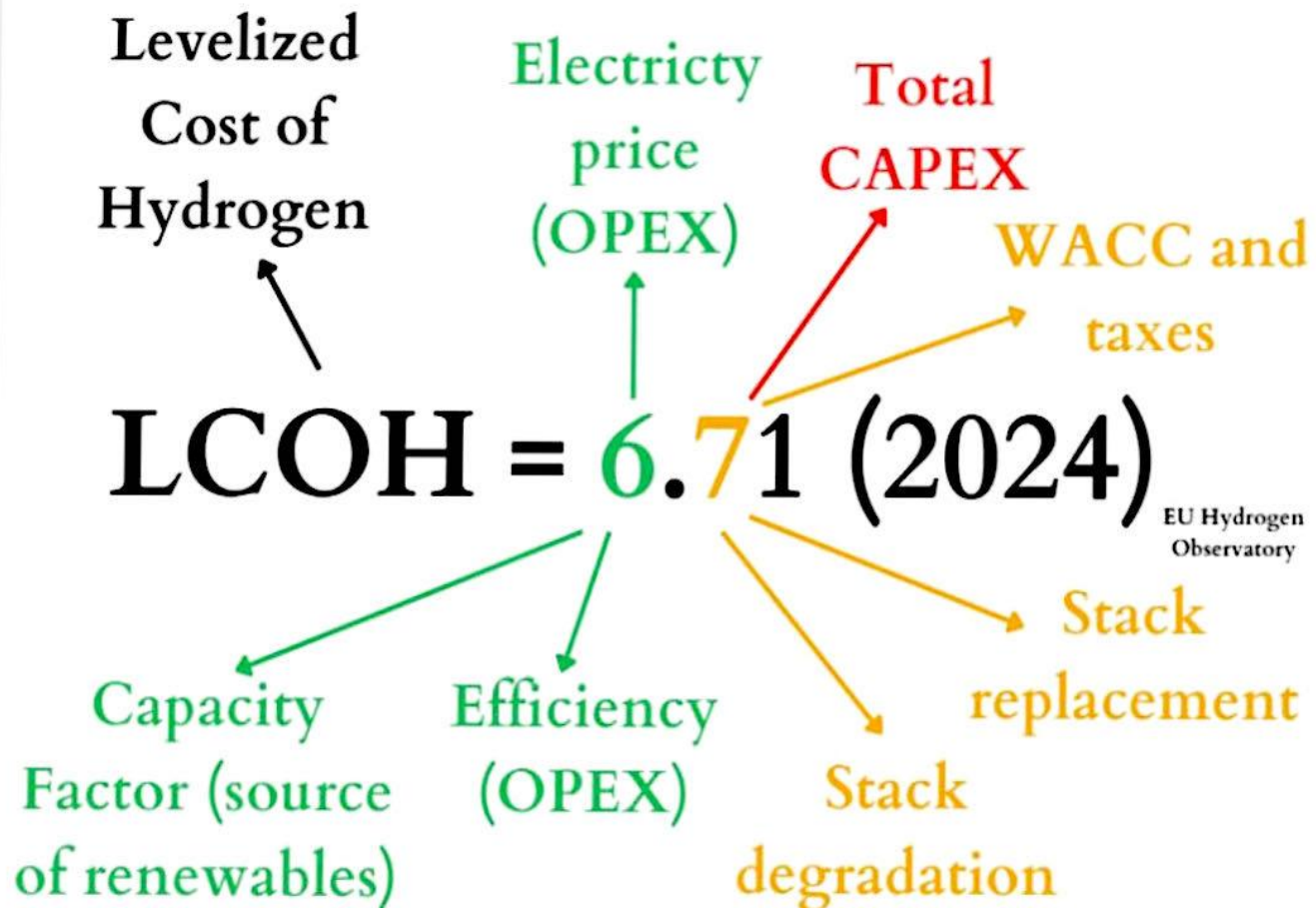
PHBC → subvenção ao Opex

Rehidro → subvenção ao Capex



### **3.A Plataforma H2GLab, o Custo Nivelado de Produção do H2BC (LCOH) e os Modelos de Negócios**

# Custo Nivelado de Produção do Hidrogênio (LCOH)



O LCOH é o principal indicador de competitividade para o H2BC. Indica o preço mínimo de comercialização (R\$/kg) necessário para um projeto se tornar atrativo para investidores e financiadores, dado: indicadores técnico-operacionais; valores do Capex, Opex; e custo de capital.

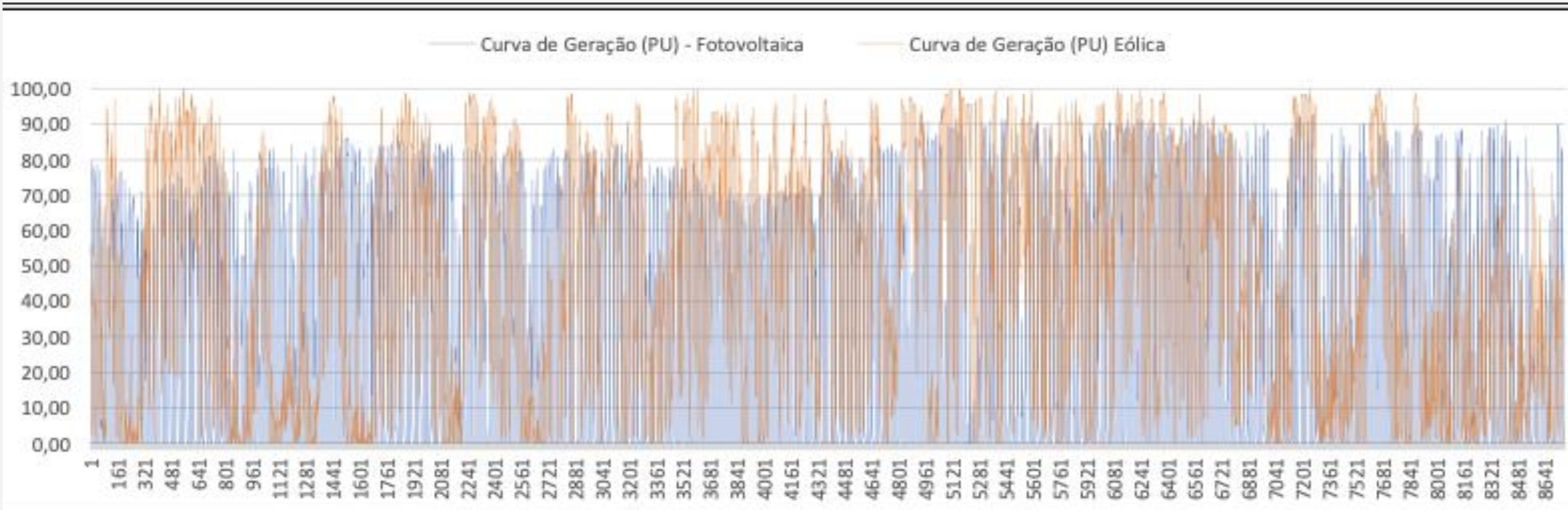
Variáveis mais importantes que afetam o LCOH: preço da energia; fator de capacidade, eficiência, Capex, taxa de degradação e custo de capital

Fatores a otimizar: localização; fonte de energias renováveis; modelo contratual, tecnologia do eletrolisador e funding.

# Custo Nivelado do Hidrogênio (LCOH) e os Modelos de Negócios

	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>	<b>Cenário 4</b>	<b>Cenário 5</b>
<b>Resumo</b>	Caso-base: Modelo Integrado de Produção	Modelo Desintegrado de Produção	Unidades de produção no mesmo local das unidades de geração	Modelo de Otimização da Geração Própria	Modelo de Diferimento do Investimento em Geração Própria
<b>Há investimento em geração própria?</b>	Sim	Não	Sim	Definido pela ferramenta de otimização	Definido pela ferramenta de otimização
<b>Capacidade Nominal do Parque Eólico (MWp)</b>	180	0	180	Definido pela ferramenta de otimização	Definido pela ferramenta de otimização
<b>Capacidade Nominal da Usina Solar (MWp)</b>	120	0	120	Definido pela ferramenta de otimização	Definido pela ferramenta de otimização
<b>Encargos incidem sobre a energia comprada?</b>	Sim	Sim	Incidem apenas sobre a energia do mercado livre, mas não sobre a energia própria	Sim	Sim
<b>Há otimização do montante contratado para a TUSTg?</b>	Não	Não	Sim	Não	Não
<b>Há diferimento no investimento em geração de energia?</b>	Não	Não	Não	Não	Sim

# Curva de Geração Horária Solar PV e eólica



Fonte: Plataforma H2GLab, a partir de dados do ONS.

Foram consideradas, visando minimizar o LCOH, diferentes combinações de capacidade de geração própria (solar PV e/ou eólica) de projetos greenfield.

Utilizou-se *match* horário ou mensal, entre geração e consumo de energia.

# Curva de Geração Horária Solar PV e eólica

Hora/Ano	Diferença: Geração Total - Consumo (MWh)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	-22,6	-33,3	-36,3	-36,8	-37,2	-37,7	-38,2	-38,6	-39,1	-39,6	-40,1	-40,6	-41,1	-41,6	-42,1	-36,1	-36,5	-37,0	-37,5	-37,9
2	-35,2	-45,8	-48,8	-49,2	-49,6	-50,1	-50,5	-50,9	-51,4	-51,8	-52,3	-52,7	-53,2	-53,6	-54,1	-48,1	-48,5	-48,9	-49,3	-49,8
3	-38,0	-48,6	-51,6	-52,0	-52,4	-52,8	-53,3	-53,7	-54,1	-54,6	-55,0	-55,4	-55,9	-56,3	-56,8	-50,8	-51,2	-51,6	-52,0	-52,4
4	-36,4	-47,0	-50,0	-50,4	-50,8	-51,2	-51,7	-52,1	-52,5	-53,0	-53,4	-53,9	-54,3	-54,8	-55,2	-49,2	-49,6	-50,0	-50,5	-50,9
5	-30,1	-40,7	-43,7	-44,2	-44,6	-45,1	-45,5	-46,0	-46,4	-46,9	-47,4	-47,8	-48,3	-48,8	-49,2	-43,2	-43,7	-44,1	-44,5	-45,0
6	-18,2	-28,9	-32,0	-32,5	-32,9	-33,4	-33,9	-34,4	-34,9	-35,4	-35,9	-36,4	-36,9	-37,4	-37,9	-31,9	-32,4	-32,9	-33,4	-33,8
7	-16,4	-27,2	-30,2	-30,7	-31,2	-31,7	-32,2	-32,7	-33,2	-33,7	-34,2	-34,7	-35,2	-35,7	-36,3	-30,3	-30,8	-31,3	-31,8	-32,3
8	-8,8	-19,8	-22,9	-23,4	-24,0	-24,5	-25,1	-25,6	-26,2	-26,7	-27,3	-27,9	-28,4	-29,0	-29,6	-23,7	-24,2	-24,8	-25,3	-25,8
9	-1,8	-13,0	-16,1	-16,7	-17,3	-17,9	-18,5	-19,1	-19,7	-20,3	-20,9	-21,5	-22,1	-22,7	-23,4	-17,5	-18,1	-18,7	-19,2	-19,8
10	9,2	-2,0	-5,2	-5,8	-6,4	-7,0	-7,7	-8,3	-8,9	-9,5	-10,2	-10,8	-11,5	-12,1	-12,7	-6,9	-7,5	-8,1	-8,7	-9,4
11	8,4	-2,8	-5,9	-6,5	-7,1	-7,7	-8,3	-8,9	-9,5	-10,2	-10,8	-11,4	-12,0	-12,7	-13,3	-7,4	-8,0	-8,6	-9,2	-9,8
12	11,7	0,4	-2,8	-3,4	-4,0	-4,6	-5,3	-5,9	-6,5	-7,2	-7,8	-8,5	-9,1	-9,8	-10,4	-4,6	-5,2	-5,8	-6,4	-7,1
13	20,7	9,4	6,2	5,6	4,9	4,3	3,7	3,0	2,4	1,7	1,1	0,4	-0,3	-0,9	-1,6	4,2	3,6	3,0	2,3	1,7
14	-2,8	-13,7	-16,8	-17,3	-17,8	-18,4	-18,9	-19,4	-20,0	-20,5	-21,1	-21,6	-22,2	-22,8	-23,3	-17,4	-17,9	-18,5	-19,0	-19,5
15	-9,3	-20,2	-23,2	-23,8	-24,3	-24,8	-25,3	-25,8	-26,3	-26,9	-27,4	-27,9	-28,5	-29,0	-29,6	-23,6	-24,2	-24,7	-25,2	-25,7
16	13,4	2,3	-0,9	-1,4	-2,0	-2,6	-3,2	-3,8	-4,4	-5,0	-5,6	-6,2	-6,8	-7,4	-8,0	-2,1	-2,7	-3,3	-3,9	-4,4
17	16,0	4,9	1,7	1,1	0,5	-0,1	-0,7	-1,3	-1,9	-2,5	-3,1	-3,7	-4,3	-5,0	-5,6	0,3	-0,3	-0,9	-1,5	-2,1
18	21,7	10,5	7,3	6,7	6,1	5,5	4,9	4,3	3,7	3,1	2,4	1,8	1,2	0,5	-0,1	5,7	5,1	4,5	3,9	3,3
19	27,5	16,3	13,2	12,5	11,9	11,3	10,7	10,1	9,4	8,8	8,2	7,5	6,9	6,2	5,6	11,4	10,8	10,2	9,6	9,0
20	25,0	13,8	10,7	10,1	9,5	8,9	8,2	7,6	7,0	6,4	5,7	5,1	4,5	3,8	3,2	9,0	8,4	7,8	7,2	6,6
21	-8,0	-18,8	-21,9	-22,4	-22,9	-23,4	-23,9	-24,5	-25,0	-25,5	-26,0	-26,6	-27,1	-27,7	-28,2	-22,3	-22,8	-23,3	-23,8	-24,3
22	-13,5	-24,3	-27,4	-27,8	-28,3	-28,8	-29,3	-29,8	-30,3	-30,8	-31,4	-31,9	-32,4	-32,9	-33,4	-27,5	-28,0	-28,5	-29,0	-29,4
23	-3,6	-14,5	-17,6	-18,1	-18,7	-19,2	-19,7	-20,2	-20,8	-21,3	-21,9	-22,4	-23,0	-23,5	-24,1	-18,1	-18,7	-19,2	-19,7	-20,2
24	27,9	16,7	13,6	12,9	12,3	11,7	11,1	10,5	9,8	9,2	8,6	7,9	7,3	6,6	6,0	11,8	11,2	10,6	10,0	9,3

Calculado para 8760 horas do ano, a projeção, a quantidade de energia que será intercambiada com a rede, seja excedentes ou déficits.

Definição do volume de autossuprimento de energia e seus respectivos custos.

Fonte: Plataforma H2GLab, a partir de dados do ONS.

# Custo Nivelado do Hidrogênio (LCOH), variando o LCOE e o Fator de Capacidade

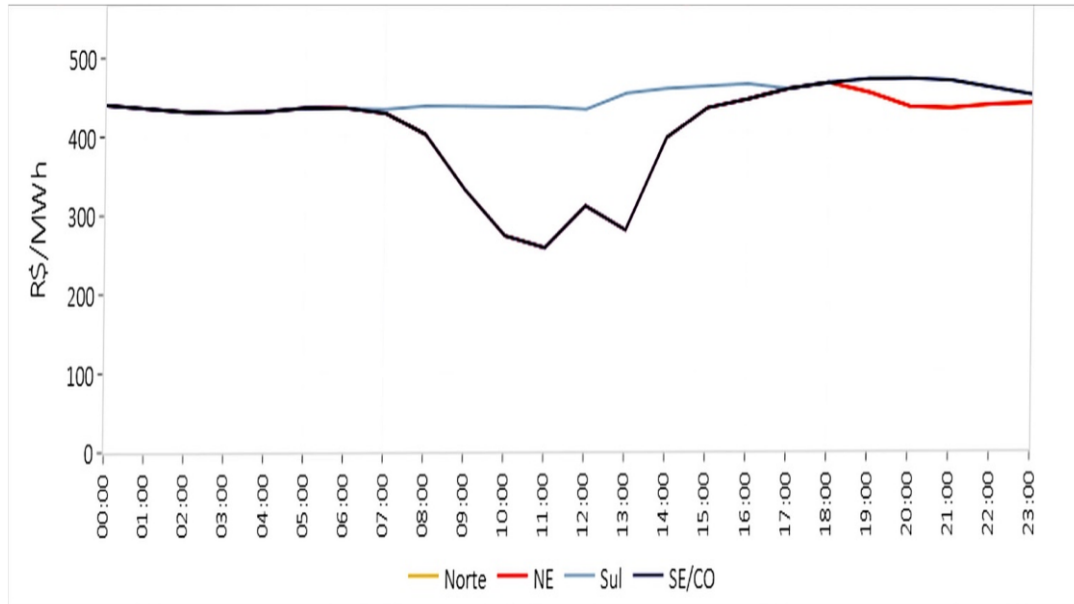
LCOE					
					US\$/kg
US\$ 0/MWh	5,7	2,8	1,9	1,4	1,1
US\$ 10/MWh	6,1	3,3	2,4	1,9	1,6
US\$ 20/MWh	6,6	3,8	2,8	2,4	2,1
US\$ 30/MWh	7,1	4,2	3,3	2,8	2,5
US\$ 40/MWh	7,5	4,7	3,8	3,3	3,0
US\$ 50/MWh	8	5,2	4,2	3,7	3,5
US\$ 100/MWh	10,3	7,5	6,5	6,1	5,8
	10%	20%	30%	40%	50%
	<b>Fator de Capacidade</b>				

- Energia elétrica é o principal item de custo do H2 verde, respondendo por mais de 70% do LCOH;
- O eletrolisador é o segundo maior componente dos custos de produção;
- Energia renovável tanto pode ser Capex (projeto integrado) ou Opex (compra da energia).

Fonte: Hydrogen Council – Parth to hydrogen competitiveness – A cost perspective – jan/2020 and Mckinsey Energy Insights

# LCOH e os Modelos de Negócios: Preço horário

Preço Horário da Energia no Mercado de Curto Prazo no dia 13/02/2026 (PLD)



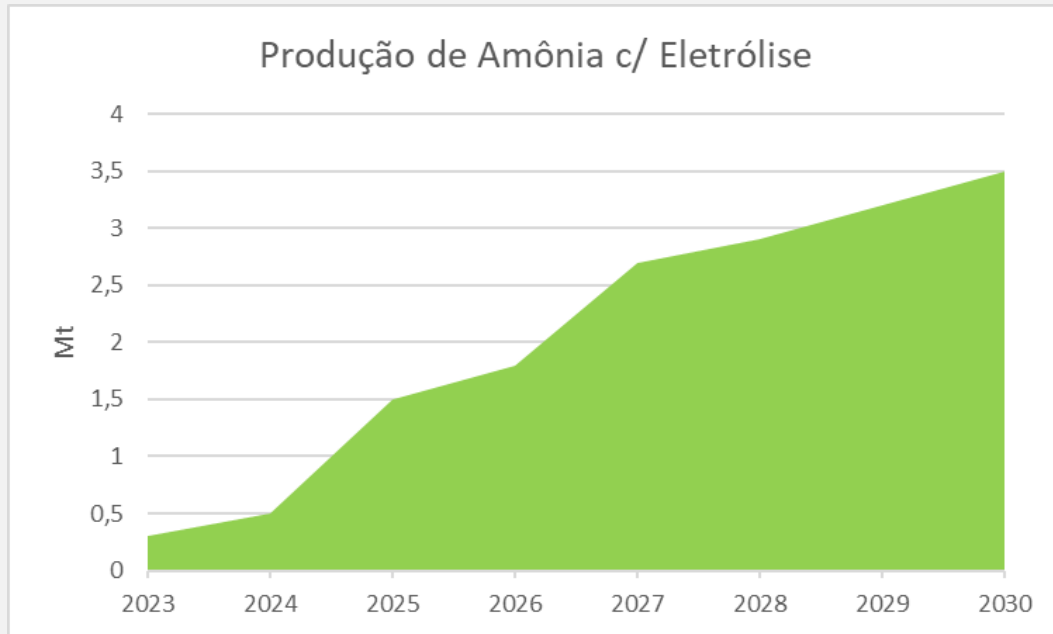
Fonte: CCEE, InfoPLD Diário 13/02/2026

- Precificação horária da energia (PLD horário), oportunidade de menor custo;
- Excesso de geração renovável variável nas horas de pico de geração solar;
- Otimizar:
  - curva de demanda de H2
  - curva de suprimento Mwh
  - localização
  - fontes de suprimento de energia
  - infraestrutura e logística,
  - custos de transmissão,
  - encargos setoriais
  - alternativas regulatórias (autoprodução)
  - estrutura contratual

Fonte: Hydrogen Council – Parth to hydrogen competitiveness – A cost perspective – jan/2020 and Mckinsey Energy Insights

## **4. H<sub>2</sub>BC-Derivados: Amônia**

# H2-Derivados: Amônia

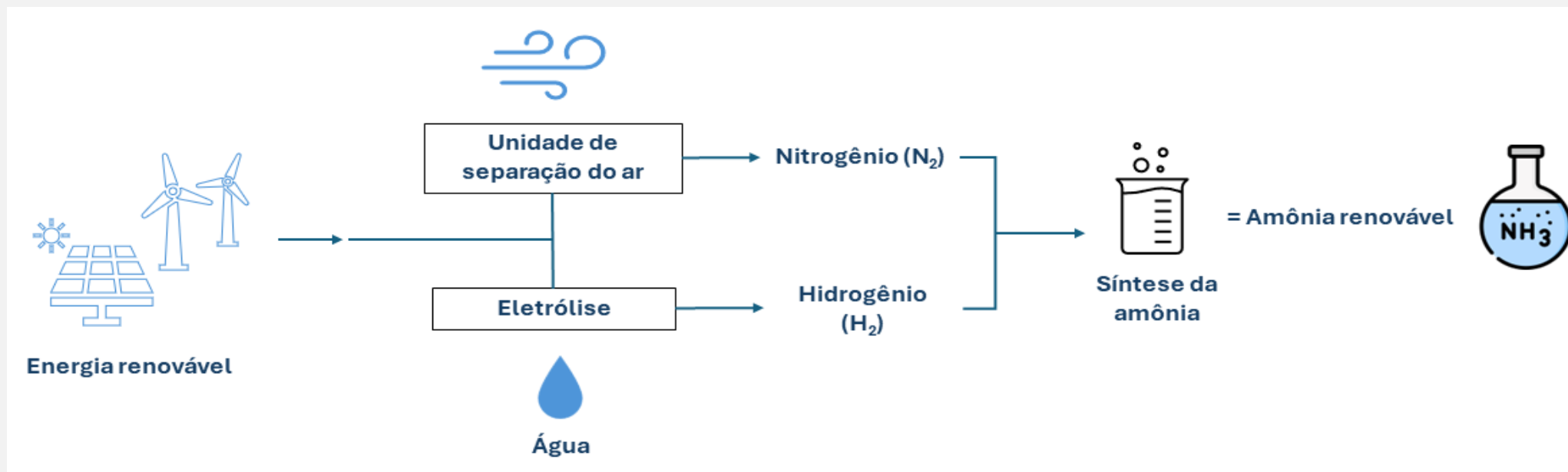


Fonte: IEA (2021) Ammonia Technology Roadmap - Toward more sustainable nitrogen fertiliser production

(\*) inclui projetos anunciados em construção, com decisão final de investimento ou estudo de viabilidade concluído. Não incluem projetos em estágio conceitual – data base junho/2021.

- Mais da metade dos off-takers de H<sub>2</sub>BC se dão na forma de amônia,
- 1 ton de amônia demanda 180 kg de H<sub>2</sub>;
- Estima-se que a energia elétrica responde por 77% do LCOA. Segundo maior componente: 14% equipamentos (eletrolisador e síntese da amônia);
- Obter um baixo preço médio ponderado de suprimento de energia (PMEC) é fundamental para reduzir o LCOA, cabendo explorar alternativas no mercado, além do autoabastecimento.

# Fluxo de Produção e modelo técnico-operacional



Indicadores técnicos da produção de amônia verde (3º ano)

Indicador	Valor	Unidade
Produção Horária NH <sub>3</sub>	9,4	t/h
Produção Diária NH <sub>3</sub>	225,7	t/d
Produção Anual NH <sub>3</sub>	82.395	t/a
Consumo Energia Horário Síntese NH <sub>3</sub>	25	MWh
Consumo Energia Diário Síntese NH <sub>3</sub>	595	MWh
Consumo Energia Anual Síntese NH <sub>3</sub>	217.350	MWh
Consumo de H <sub>2</sub> por ton de NH <sub>3</sub>	176	kg H <sub>2</sub> V/t NH <sub>3</sub>
Consumo de N <sub>2</sub> por ton de NH <sub>3</sub>	824	kg N <sub>2</sub> /t NH <sub>3</sub>

Unidades de Compressão (3º ano)

Indicador	Valor	Unidade
Fluxo de Massa	1,9	T/h
Pressão de entrada	30,0	Bar
Pressão de saída	80	Bar
Consumo de Energia	1	MWh/t
Consumo Horário de Energia	9	MWh
Consumo Diário de Energia	228	MWh
Consumo Anual de Energia	83.140	MWh

Indicadores Técnicos da Unidade de Captura de Nitrogênio (3º ano)

Indicador	Valor	Unidade
Fator N <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> V	4,6	-
Produção Horária de N <sub>2</sub>	7,8	t/h
Produção Diária de N <sub>2</sub>	187	t/d
Produção Anual de N <sub>2</sub>	68.294	t/a
Consumo de Energia Horário N <sub>2</sub>	8	MWh
Consumo de Energia Diário N <sub>2</sub>	187	MWh
Consumo de Energia Anual N <sub>2</sub>	68.294	MWh

# Custo Nivelado da Amônia (LCOA) com 3 tecnologias:

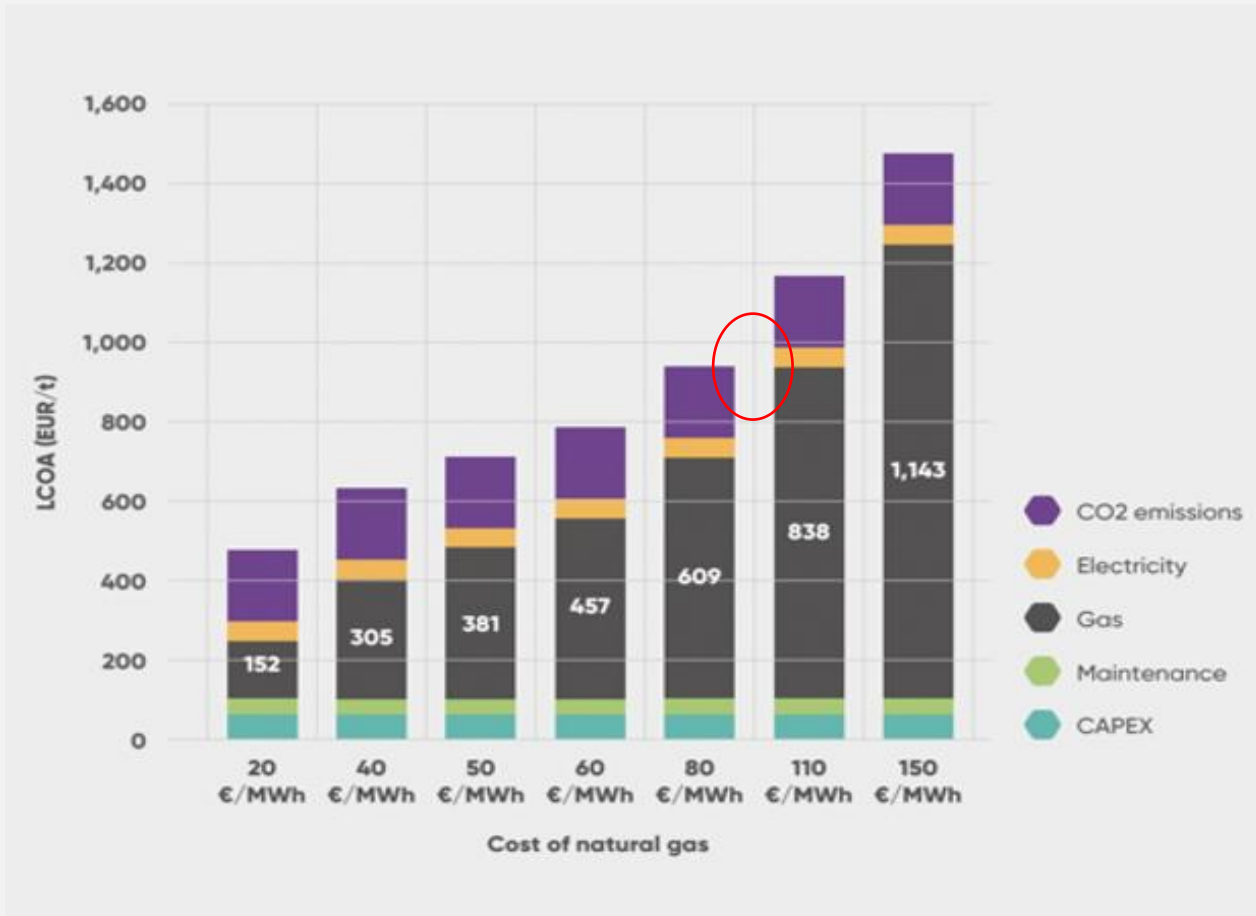
Quanto aos Custos Nivelados de Produção da Amônia, verifica-se:

Localidades	SMR	SMR c/CCS	ATR c/ CCS	Eletrólise com VRE dedicada	Eletrólise conectada ao grid
Capex	180	220	210	480	200
Opex fixo	85	80	80	215	60
CO2 Captura e Estocagem		30	30		
Combustível	85	90	50	30	40
Materia Prima / Energia	100	100	110	215	600
<b>Total</b>	<b>450</b>	<b>520</b>	<b>480</b>	<b>900</b>	<b>900</b>

Fonte: IEA 2022, Hydrogen Review

# LCOA da Amônia cinza em função do preço do gás natural

LCOA da Amônia de acordo com o preço do gás natural

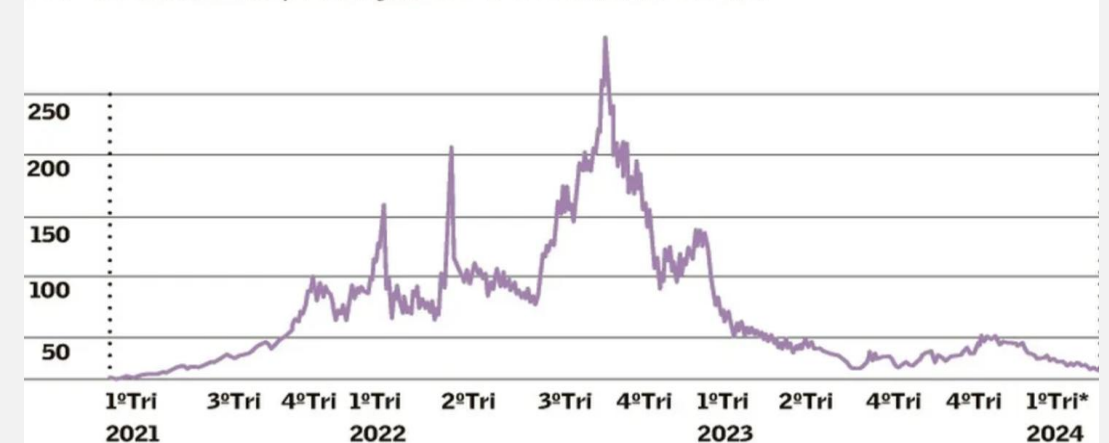


Fonte: Hydrogen Europe (2023)

A amônia verde mostra-se **competitiva para preços do gás natural acima de 80 EUR/MWh**. Para preços do gás abaixo deste patamar, a amônia cinza mostra-se mais competitiva.

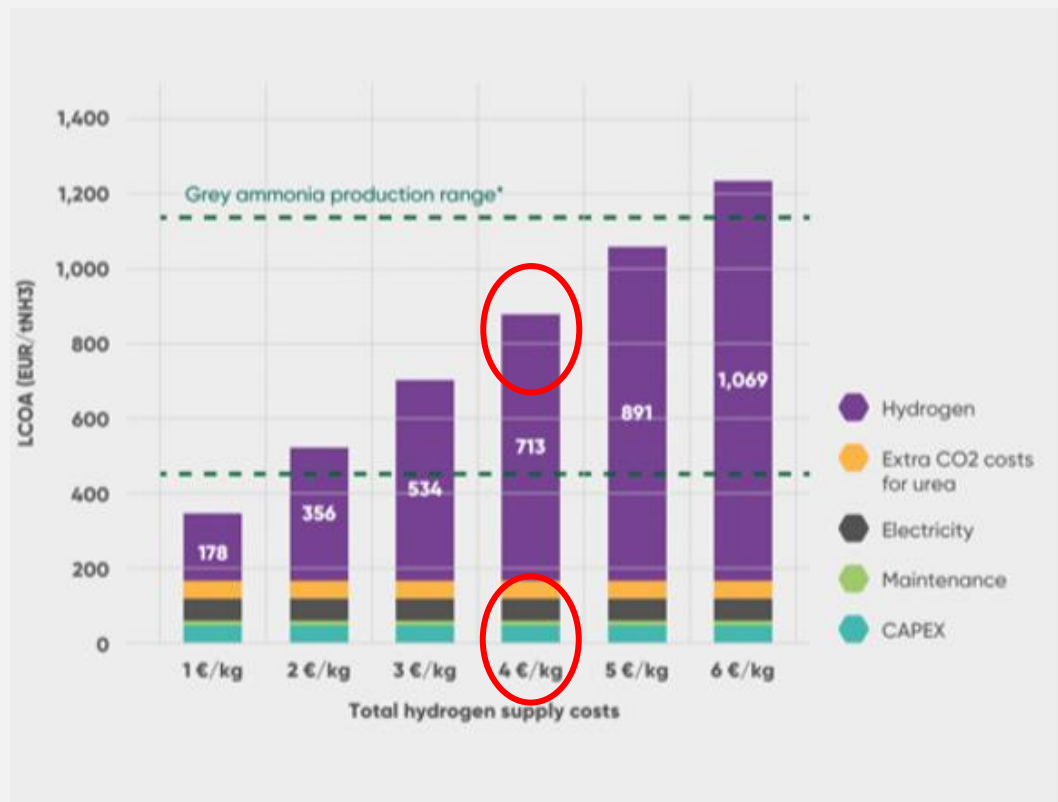
## Preço do gás em queda na Europa

TTF (unidade de produção de 1 MWh, em euros)



# Principais Resultados: Comparação internacional resultados

## LCOA em EUR/t (Amônia Verde)



Fonte: Hydrogen Europe; (2023) *Clean Amônia In Future Energy System*

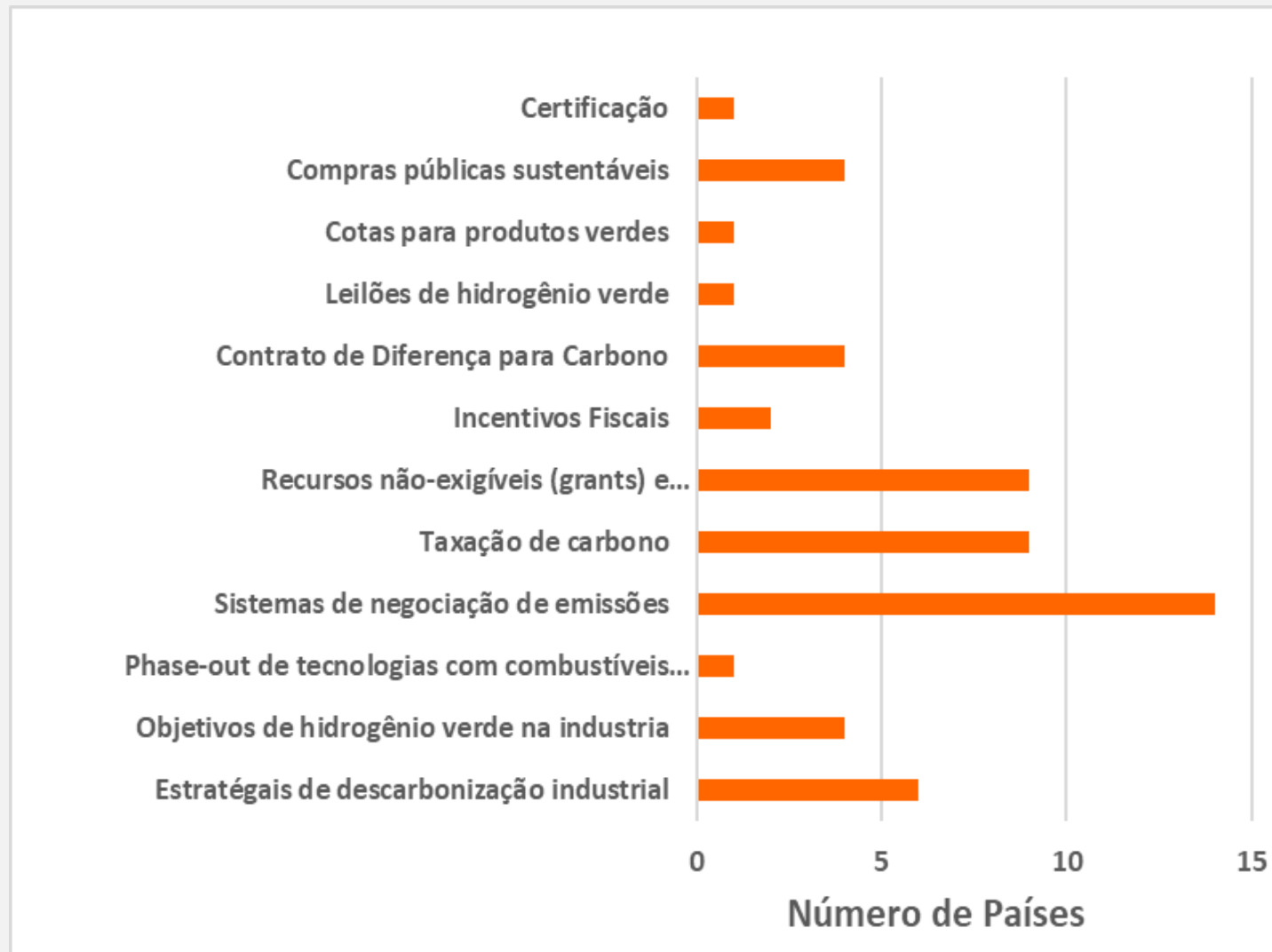
- O LCOA do Cenário 3 (Plataformam H2GLab), sem impostos e sem os encargos setoriais, equivale a **EUR 763/t**. Absolutamente em linha com os indicadores da **Hydrogen Europe (2023)**.

- Os resultados apresentados também estão em linha com a estimativa do LCOA realizado pelo **Instituto Fraunhofer (2023)**. Produção de amônia no Rio Grande do Norte como tendo um LCOA equivalente a **EUR 886/t**.

- Também em linha com resultados do **Leilão H2Global (Preço FOB Egito de EUR 811/t)**.

## **5. Políticas Públicas e Bancabilidade**

# Status das Políticas Industriais Hidrogênio Verde (2022)



# Políticas Públicas para o desenvolvimento da indústria do H2BC no BR

<b>Fiscal</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Crédito Fiscal</li><li>Diferimento</li><li>Lucro Pressumido</li><li>Redução de Alíquotas (II, IR, IPI, ICMs, PIS/COFINS)</li><li>Harmonização entre entes federados</li><li>Fundos Regionais - FNE</li></ul>	<b>Regulatória</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Mecanismo de Leilão Duplo</li><li>Injeção na rede de gás</li><li>Geração Autoprodução</li><li>Normas Técnicas/ABNT</li><li>Certificação Energia Renovável</li><li>Precificação Horária da Energia</li><li>Harmonização Aneel/ANP</li><li>Estocagem de Energia</li><li>Mercado de Carbono</li></ul>
<b>Financeira</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Programas BNDES/FINEP/BNB</li><li>Debêntures Incentivadas</li><li>Fundo Garantidor</li><li>BNDES/FINAME/Equipamentos</li><li>Private Equity</li></ul>	<b>Infraestrutura</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Portuária</li><li>Logística (dutos)</li></ul>
<b>P&amp;D</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Recursos não-exigíveis (Aneel/ANP)</li><li>Biocombustíveis</li><li>Mobilidade</li></ul>	<b>Institucional</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Visão Holística: natureza intersetorial e transversal</li><li>Ministérios Minas e Energia, Infraestrutura, Economia, Relações Exteriores, Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia</li><li>Associações Empresariais</li><li>Entes subnacionais</li></ul>

# Principais barreiras ao financiamento de projetos H2BC

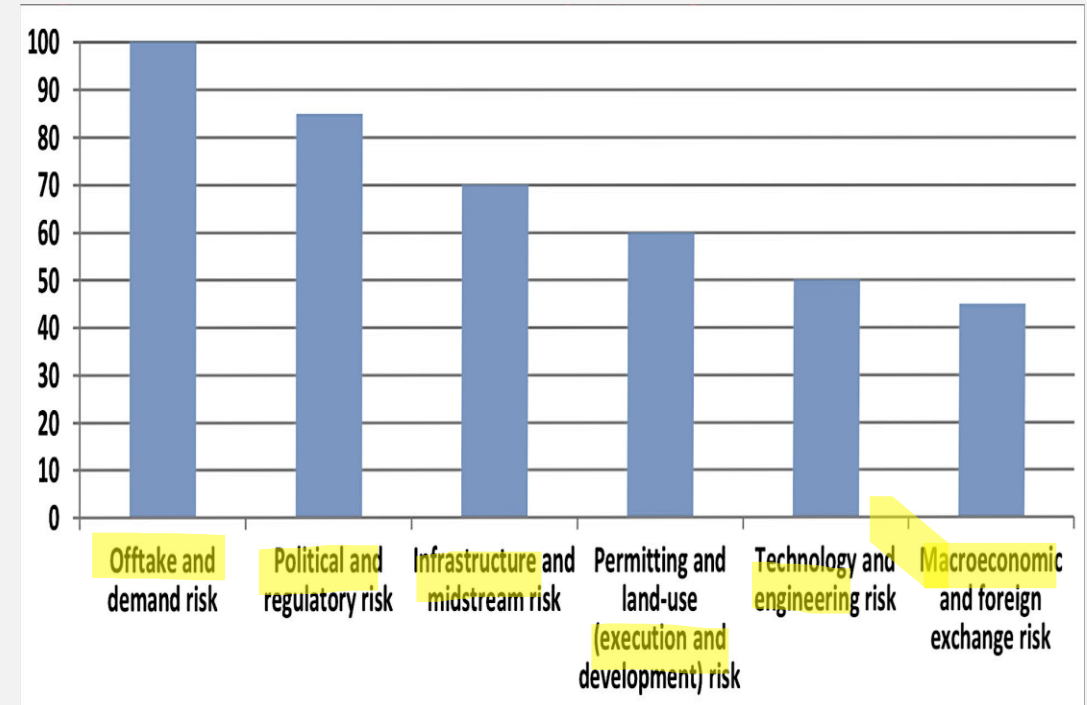
Projetos Capital-Intensivos: Project finance

Principais métricas financeiras: custo nivelado do hidrogênio (LCOH) e o Índice de Cobertura do Serviço da Dívida (ICSD)

Para cada risco identificado é endereçado um mecanismo de mitigação.

Risco	Mitigador
Sobrecusto na implantação do projeto	Contrato EPC a preço fixo; <i>funding</i> para contingências
Sobrecusto na operação	Constituição de contas-reserva para custos de O&M
Performance inadequada dos equipamentos	Garantias de performance e disponibilidade fornecidas pelo fabricante
Risco financeiro (captação de recursos e estrutura de capital)	Uso de <i>blended finance</i> ; crédito enhancement (garantias); desenvolvimento em fases
Risco de demanda	Contratos de compra e venda de longo prazo a preço fixo; Contratos por Diferença (CfD)

## Principais Riscos no Financiamento de H2BC (0=menos importante e 100=mais importante)



Fonte: The Oxford Institute for Energy Studies (January, 2026, OIES Paper: ET 52, Bankability of Hydrogen Projects: Key Risks, Financing Challenges and Mitigation Solutions)  
Adapted from World Bank (2024)

# Visão 2030

A produção de H2BC para 2030 foi revista: 37 Mt de H2BC (IEA, 2025);

H2BC permanece como um nicho na matriz energética, com papel na transição energética, agenda de descarbonização, requerendo uma combinação de mecanismos, como redução dos custos (LCOH) e precificação do carbono (CCfD);

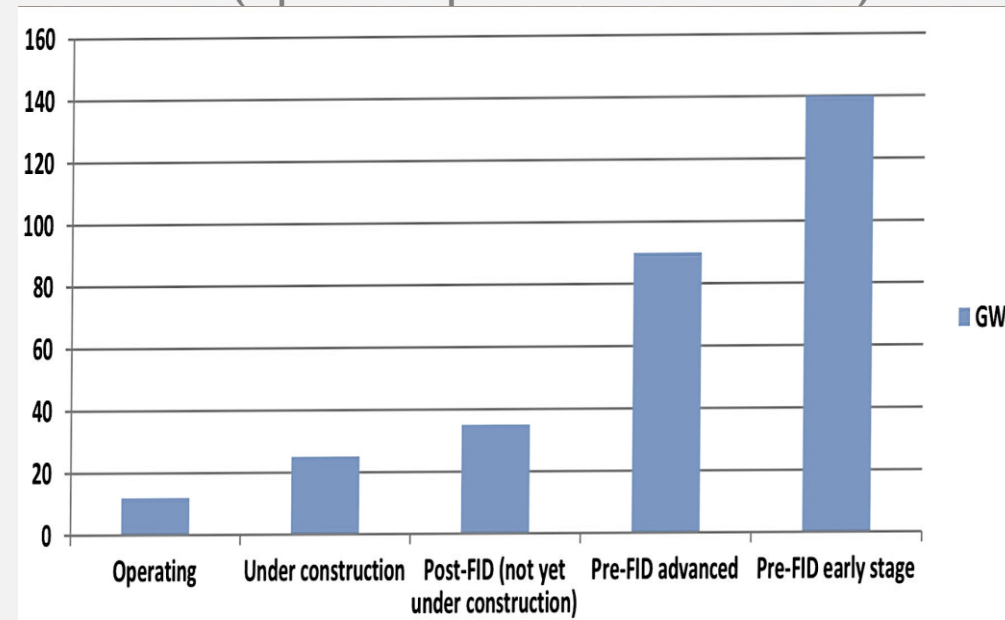
Criação de demanda: foco primário;

Implantação em fases: validação da tecnologia, mitigação de riscos;

Infraestrutura: desenvolvimento integrado e compartilhado.

## Pipeline de Projetos de H2BC em 2030

(capacidade equivalente de eletrólise GW)



Fonte: The Oxford Institute for Energy Studies (January, 2026, OIES Paper: ET 52, Bankability of Hydrogen Projects: Key Risks, Financing Challenges and Mitigation Solutions  
Adapted from World Bank (2024)

Muito obrigado!!!

Nelson Siffert FH  
Email: [nfsfoo@gmail.com](mailto:nfsfoo@gmail.com)