



Sessão: “O potencial dos combustíveis alternativos na indústria cerâmica”
(Gás natural – Hidrogênio, Energia Elétrica, Biogás e Biometano)

“Biogás, biometano e hidrogênio renovável”

Prof. Dr. Helton José Alves



PQ1D-CNPq – Engenharia de Energia

Diretor Técnico-Científico da ABH2

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação - UFPR

Laboratório de Materiais e Energias Renováveis – LABMATER

Departamento de Engenharia Química / Setor de Tecnologia – UFPR



Laboratório de Materiais e Energias Renováveis



LABMATER
LABORATÓRIO DE MATERIAIS
E ENERGIAS RENOVÁVEIS



www.labmater.ufpr.br

- ◆ Credenciado junto à ANP
- ◆ Prestação de serviços
- ◆ Projetos de P&D+I
- ◆ Formação de RH

- ◆ Tecnologia do Hidrogênio desde 2015
- ◆ Combustíveis e Biocombustíveis



QUEM SOMOS

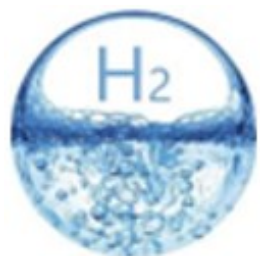


LABMATER
LABORATÓRIO DE MATERIAIS
E ENERGIAS RENOVÁVEIS



[Vídeo Institucional | LabMater: Laboratory of Materials and Renewable Energy - YouTube](#)

Potenciais Regionais para o Hidrogênio no Estado do Paraná



“É toda matéria orgânica rica em carbono, proveniente de colheitas agrícolas e florestais, produtos animais, massa de células microbianas, resíduos, etc.”

**Empresa de Pesquisa
Energética (EPE)**

**Potencial energético das
biomassas no Brasil:**

2013: 210 milhões de TEP

2050: 460 milhões de TEP

**Associação Brasileira do
Biogás (Abiogás)**

Potencial nacional:

82,6 bilhões m³/ano (setores
sucroenergético, produção
agrícola, proteína animal e
saneamento).



Processos de conversão da biomassa

- **COMBUSTÃO DIRETA**
(queima do bagaço de cana)



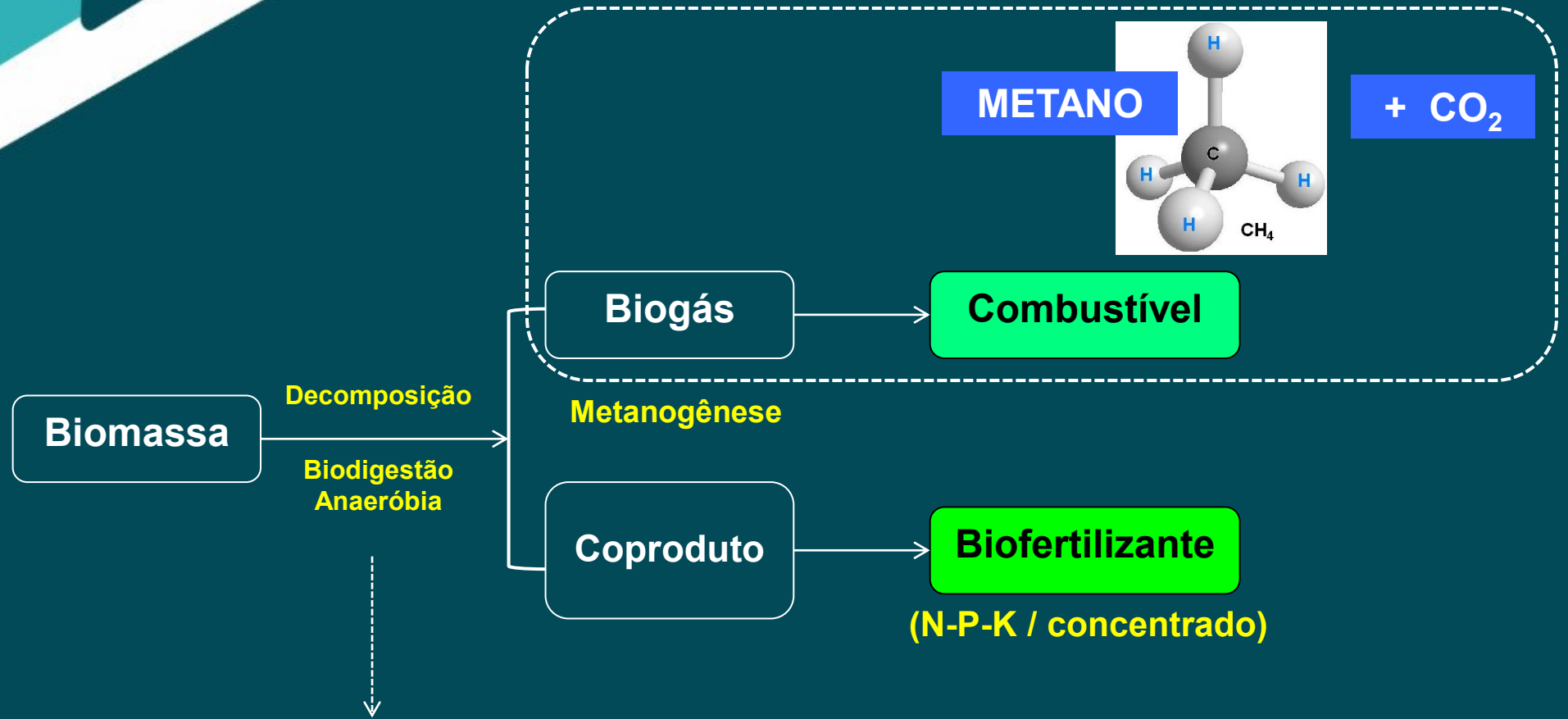
- **PROCESSOS QUÍMICOS E TERMOQUÍMICOS**
(óleo-biodiesel / gaseificação)



- **PROCESSOS BIOLÓGICOS**
(biodigestão anaeróbia)



Biodigestão, biogás e biofertilizante



Biodigestão anaeróbia: diversos grupos de **microrganismos** trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica na **ausência de ar**.

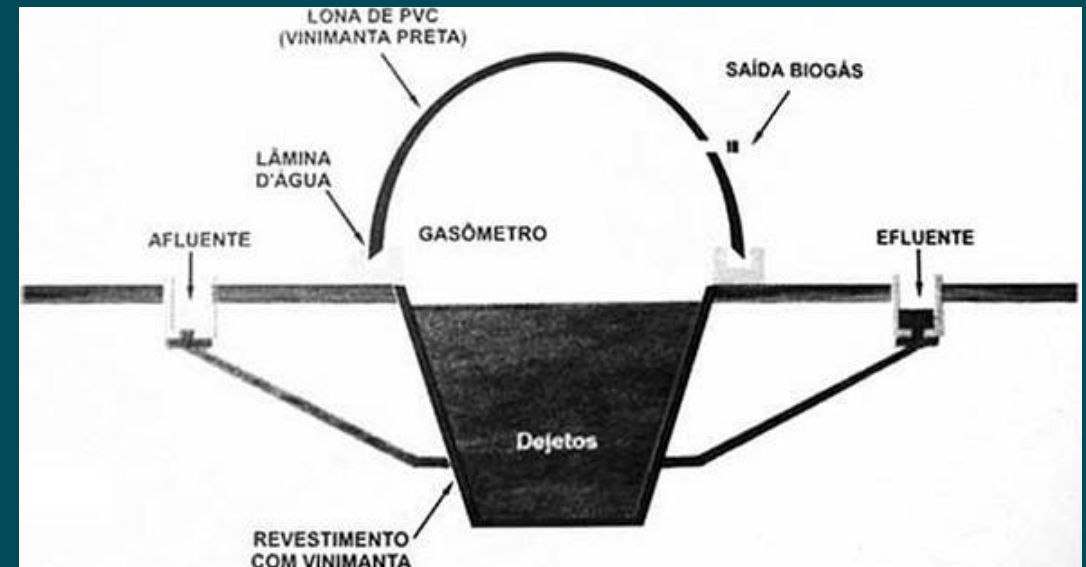
Biodigestor e biodigestão

- Sistema de Digestão Contínuo
- ✓ Biodigestor: **Modelo Canadense**
(lagoa coberta / mais usado)



Flanges de captação do biogás

- Maior área de exposição ao sol.
- Cúpula de PVC (maleável).
- Produção de biogás em maior escala.



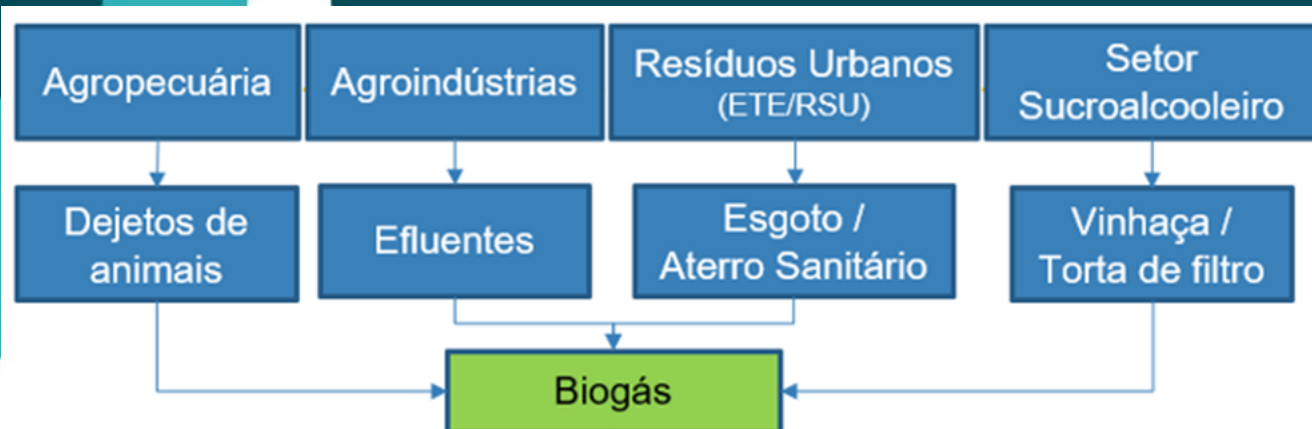
Fatores que influenciam a produção de biogás

- IMPERMEABILIDADE AO AR
- **NATUREZA DO SUBSTRATO**
- TEMPERATURA
- **pH**
- TEMPO DE RETENÇÃO HIDRÁULICA

Produção e energia do biogás

Animal (peso vivo)	Esterco (kg.animal ⁻¹ .dia ⁻¹)	Biogás (m ³ .kg _{esterco} ⁻¹)	Biogás (m ³ .kg ⁻¹ SV)	Biogás (m ³ .animal ⁻¹ .dia ⁻¹)
Suínos (90 kg)	2,3 – 2,8	0,079	0,37 – 0,50	0,24
Bovinos (500 kg)	10 - 15	0,038	0,094 – 0,31	0,36
Aves (2,5 kg)	0,12 – 0,18	0,050	0,31 – 0,62	0,014

SV: Sólidos voláteis

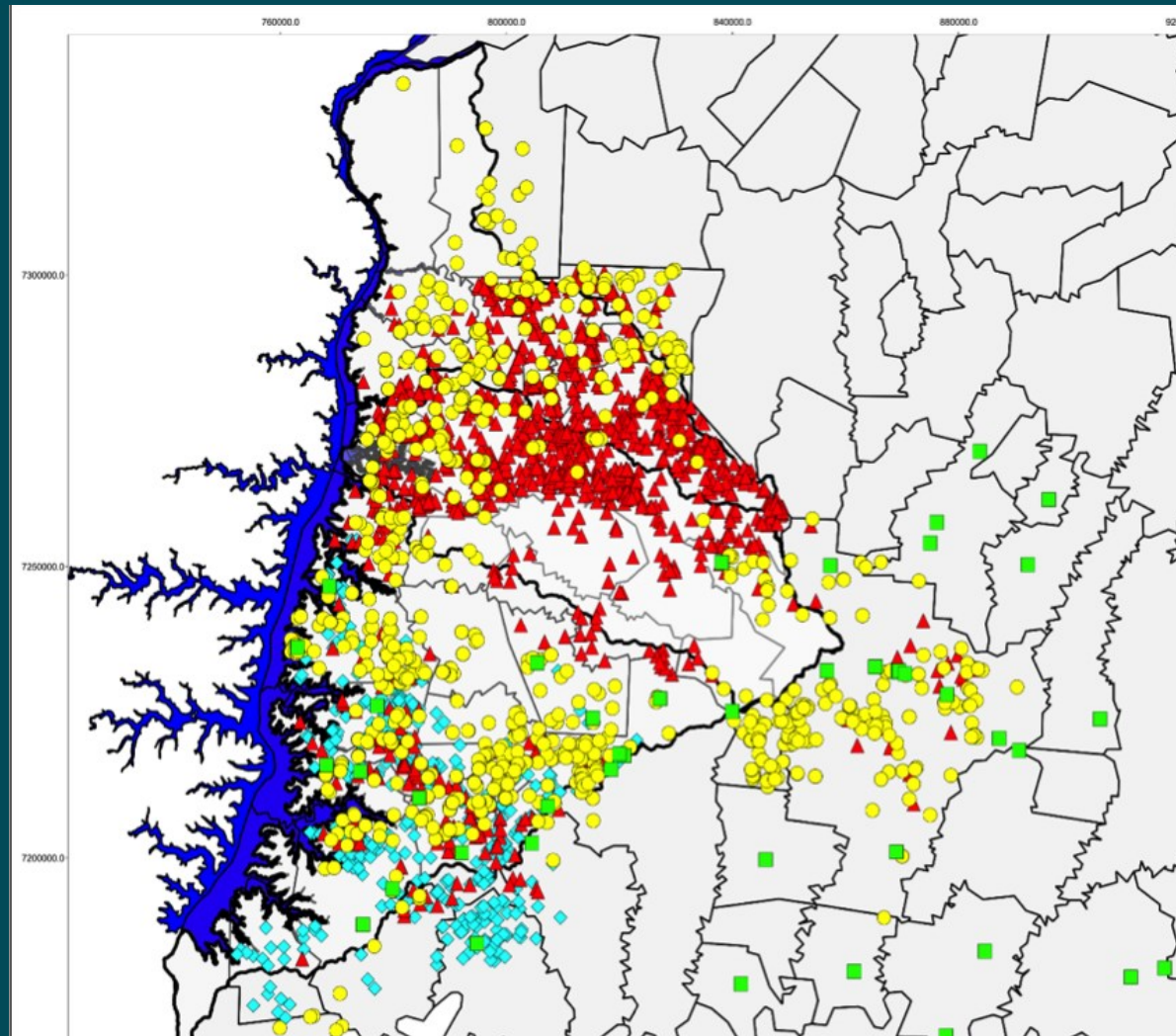


Combustível	Quantidade equivalente a 1Nm ³ de biogás
Carvão Vegetal	0,8 kg
Lenha	1,5 kg
Óleo Diesel	0,55 l
Querosene	0,58 l
Gasolina Amarela	0,61 l
GLP (Gás Liquefeito de Petróleo)	0,45 l
kWh	1,43
Álcool Carburante	0,80 l
Carvão Mineral	0,74 kg

Base: biogás com 65% de metano

Potencial do biogás na região oeste do PR

Pré-sal caipira



Problema ambiental



Grande potencial de
geração de energia

- Produção dispersa
 - Arranjos locais
- Grandes agroindústrias

Amarelo: aves

Vermelho: suínos

Azul: bovinos

Rotas energéticas do biogás



**USINA DE
BIOGÁS**



ELETRICIDADE



CALOR



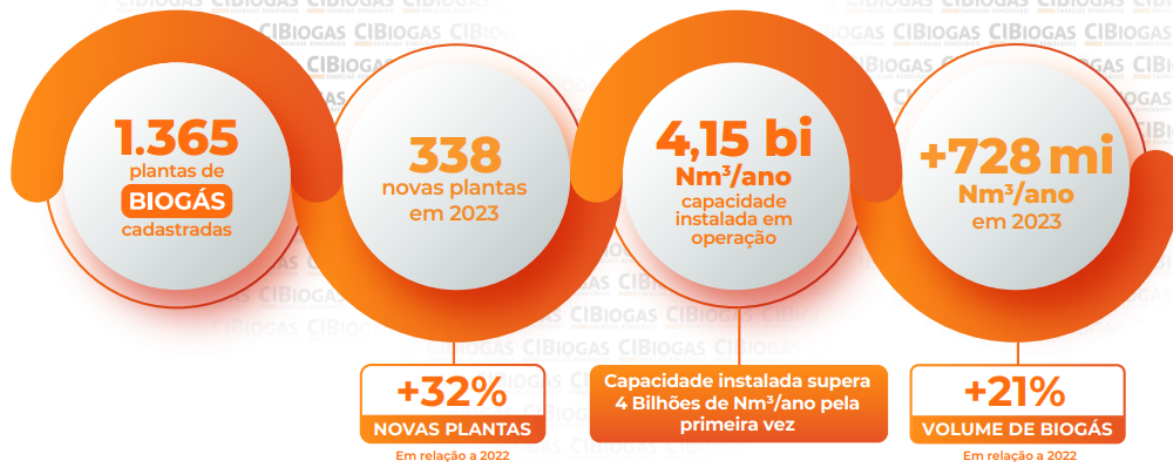
COMBUSTÍVEL



FERTILIZANTES

Crescimento do Setor de Biogás no Brasil

Total de plantas cadastradas no Biogásmap em 2023



Número de plantas e capacidade instalada



Crescimento do Setor de Biogás no Brasil

Aproveitamento energético do biogás, projeção de produção e potencial teórico:



1

Aterros Sanitários

Sistema de aproveitamento energético do metano gerado em aterros sanitários controlados

2

Resíduos Industriais

Aproveitamento energético de resíduos industriais

3

Resíduos do Agronegócio

Biodigestão para o tratamento de resíduos orgânicos gerados na atividades agrícolas

Capacidade instalada $\approx 4,8\%$ do potencial

*Fonte: ABIORGÁS, Associação Brasileira de Biogás e Biometano. ABIorgás divulga novo potencial do biogás para o mercado brasileiro. São Paulo: ABIorgás, 2021.

**Instituto 17 Biogás no Brasil: Potencial Oferta a Curto Prazo. Programa de Energia para o Brasil – BEP (Brasil). Relatório técnico 02-2021. São Paulo/SP: Instituto 17, 2021.

Biogás: Exemplos de arranjos locais

Entre Rios do Oeste-PR (prefeitura e 18 produtores)

- População de suínos: 30 vezes maior que o número de habitantes
- Dejetos de animais: 215 toneladas/dia
- Produção: **5.000 m³ de biogás/dia**
- Potência instalada: 480 kW
- Energia elétrica gerada: atende a demanda dos prédios públicos



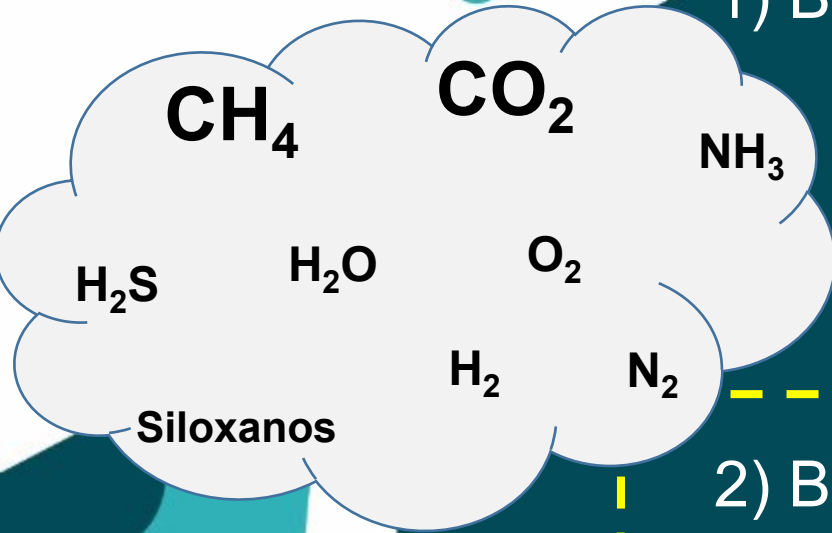
Potencial do Estado de São Paulo na geração de biogás

- Vinhaça / Usinas Etanol: 151.424 m³/h de biometano
- Aterros sanitários: 136.096 m³/h de biometano
- ETE e resíduos de abatedouros: 32.180 m³/h de biometano

TOTAL: 321.700 m³/h de biometano / > 50% consumo GN do Estado



Composição do biogás



1) Biogás *in natura*: 55 – 70% CH₄ (metano)

30 – 45% CO₂

100-5000 mg/m³ H₂S (depende da matéria prima)

siloxanos, NH₃, O₂, H₂, N₂, H₂O

2) Biogás parcialmente tratado: **remoção de H₂S e outros**

3) Biogás enriquecido em **biometano**: min. 90,0% mol CH₄

máx. 3,0% mol CO₂

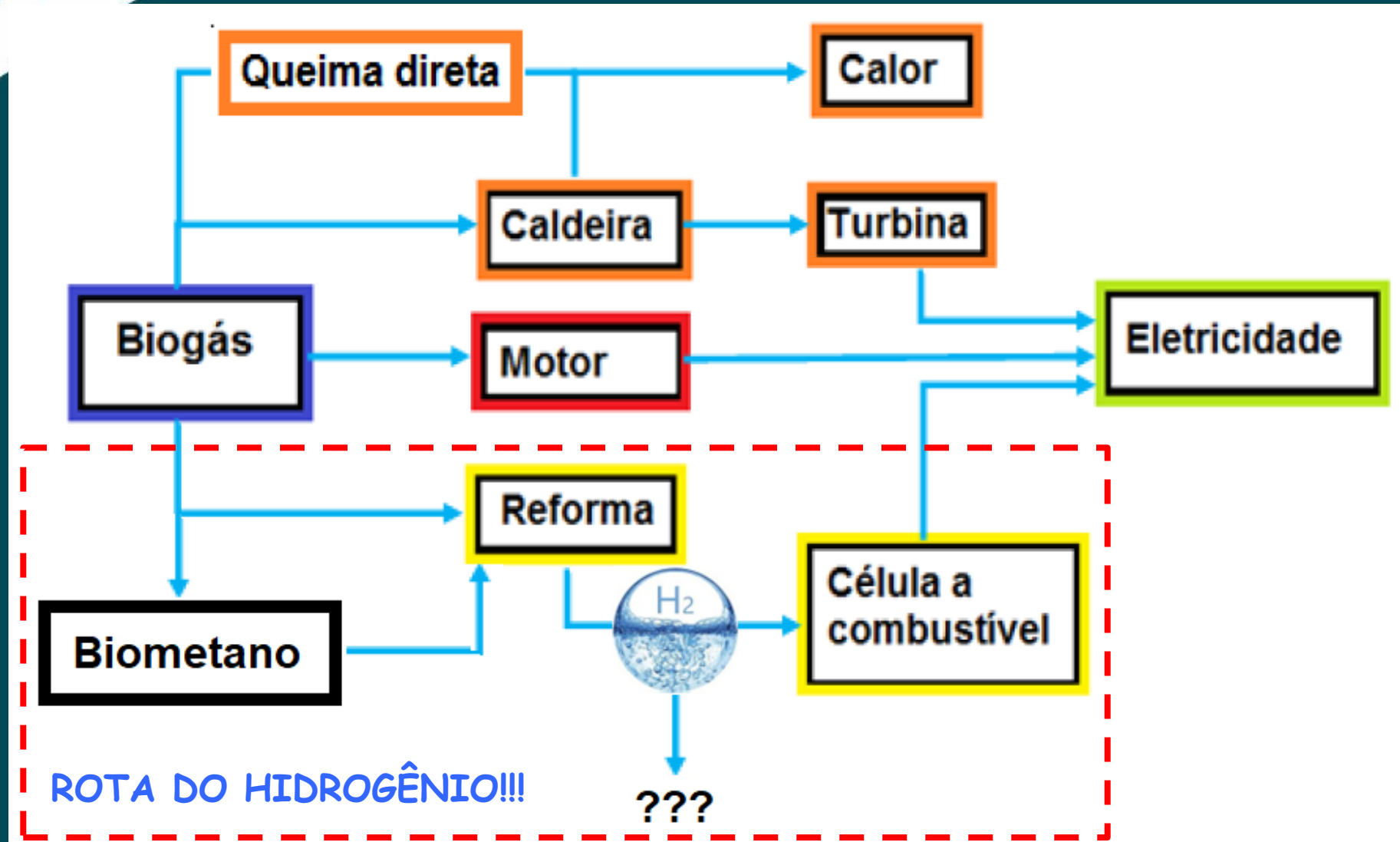
máx. 10 mg/m³ H₂S

máx. 0,3 mgSi/m³ siloxanos

Res. ANP: 8/2015, 685/2017, **886/2022** e 906/2022

Composição e PCI semelhantes ao GN

Rotas energéticas do biogás

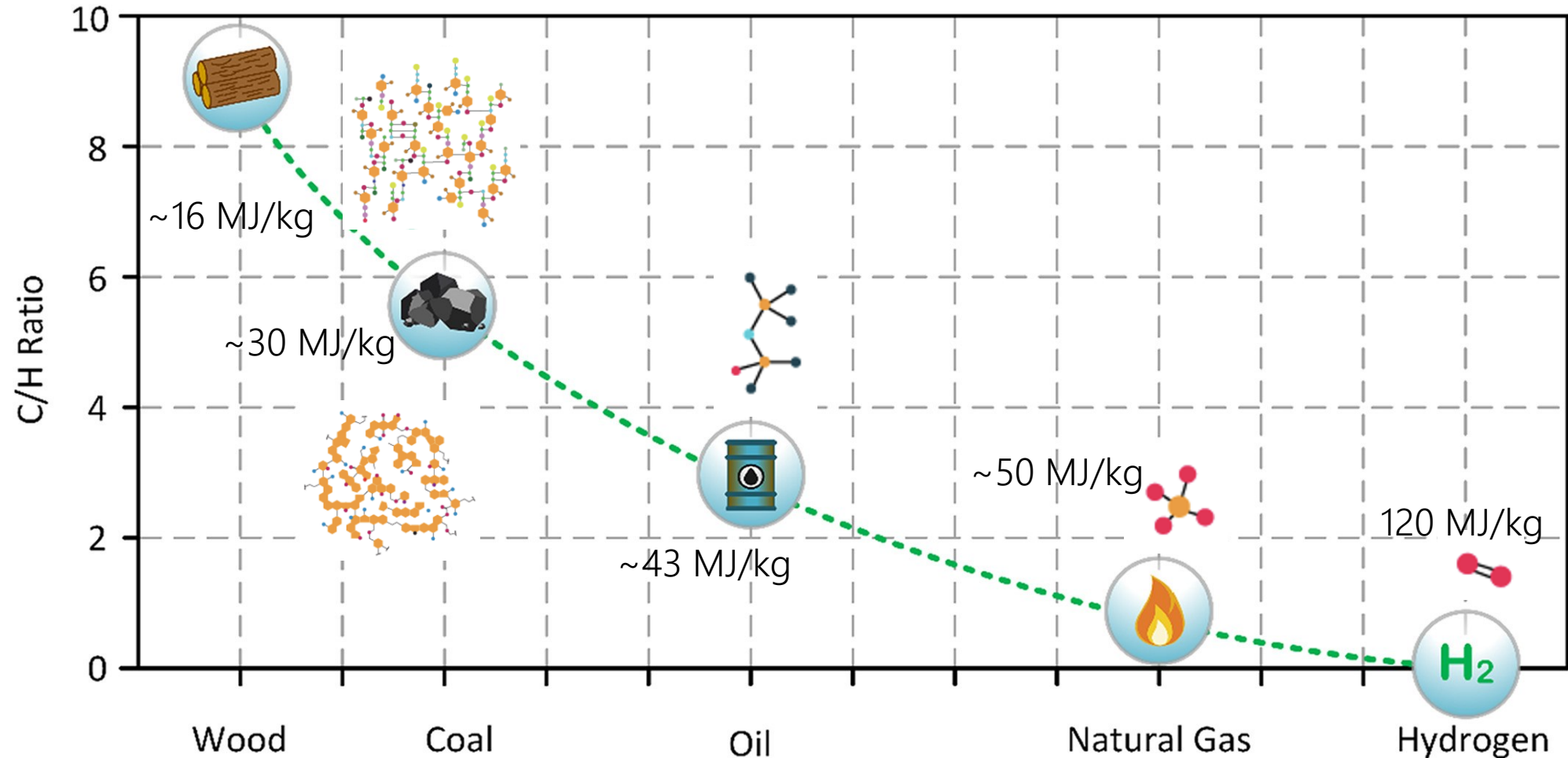


HYDROGEN ENERGY: WORLD

Economical Development



Decarbonization



Source: adapted from I. Dincer, International Conference on Hydrogen Production, ICH2P, 2021.

Low Emission Hydrogen in Brazil; Brazilian Hydrogen Association; March; 2024

Propriedades do hidrogênio

PROPRIEDADES	VALORES
Fórmula Química	H ₂
Massa Molecular	2,0158 g/mol
Qtd. de energia por unidade de massa	120,0 MJ/kg
Massa volumétrica	0,08967 kg/m ³
Ponto de ebulição	- 252,88 °C
Ponto de fusão	- 259,20°C



- Elevado poder calorífico (3X o da gasolina)
- Grande dificuldade de compressão exigindo elevadas pressões ou tecnologias mais sofisticadas (transporte caro)

Fontes e usos do H₂ - Mundo

> 100 milhões de ton/ano

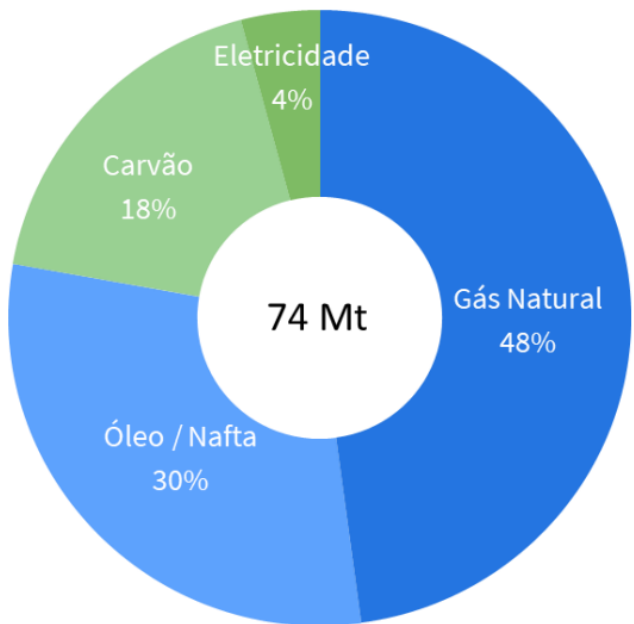
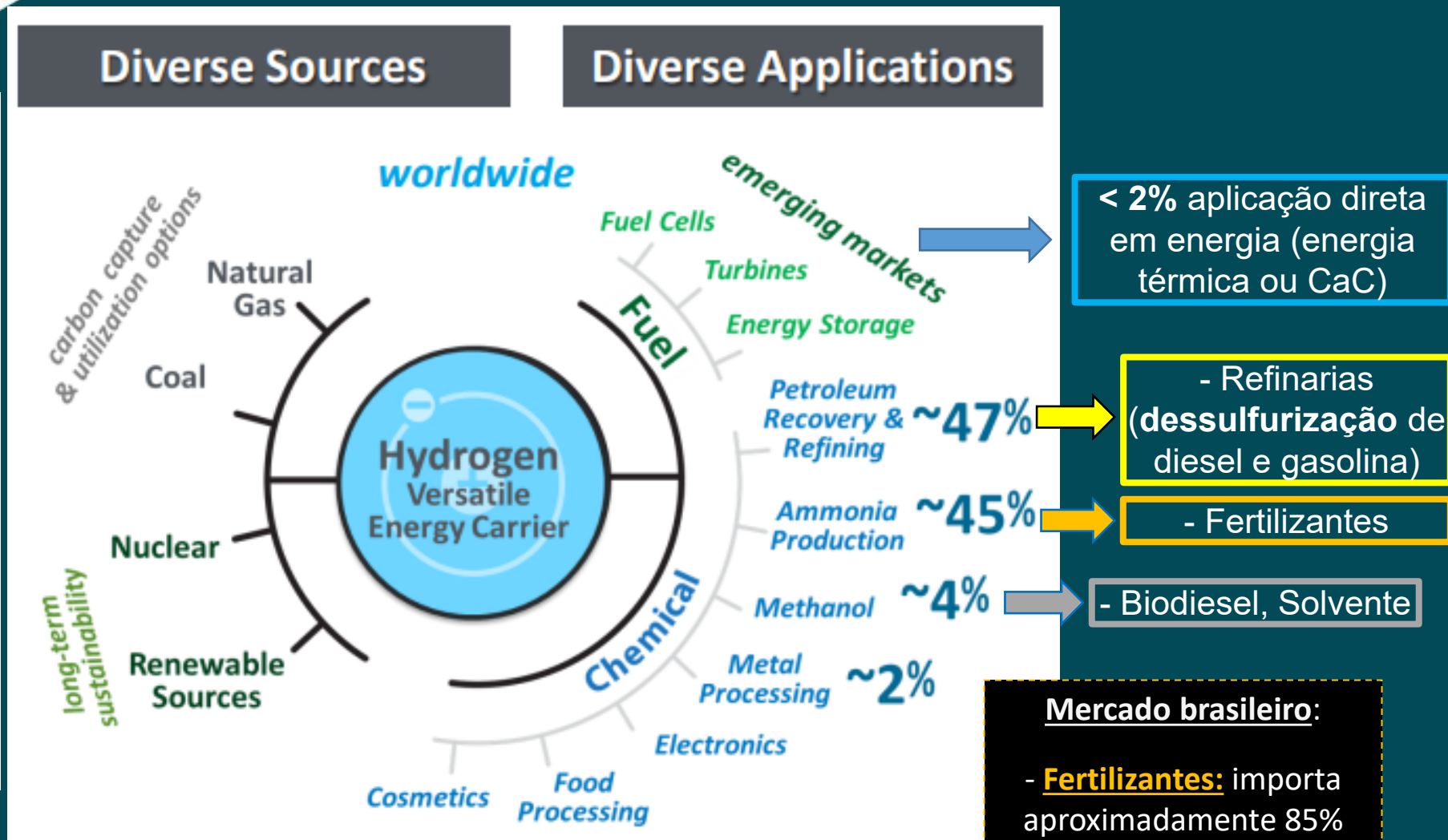


Figura 1 - Fontes de geração de hidrogênio no mundo. Fonte: IEA (2019a).

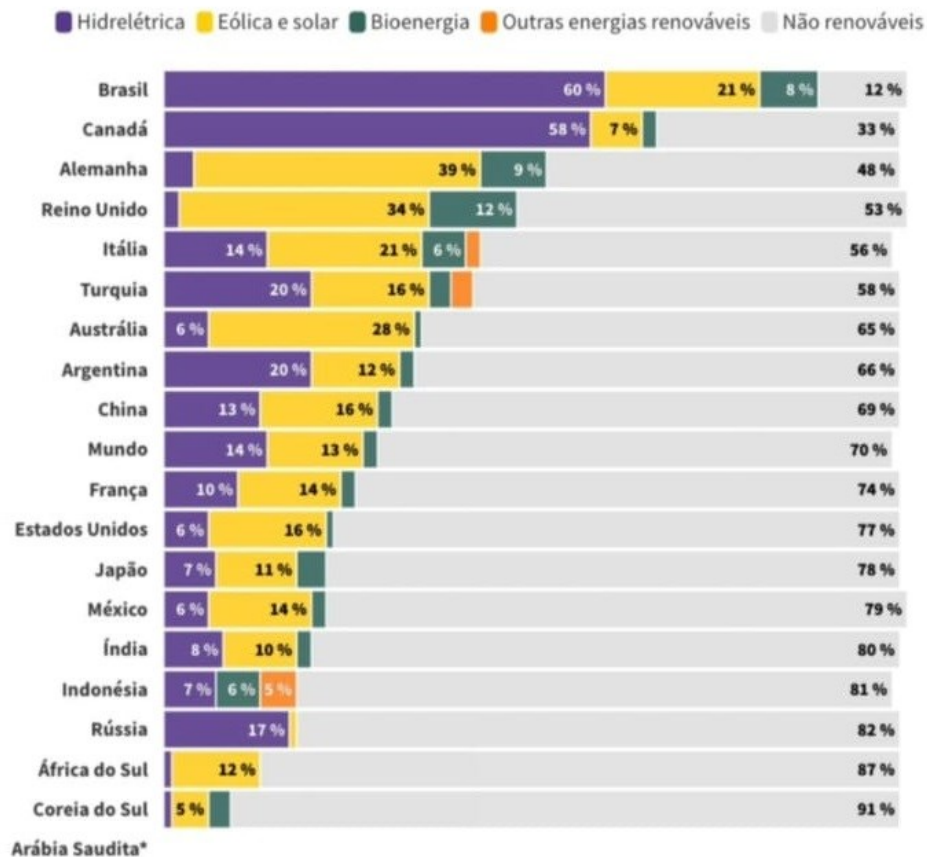


Diferencial brasileiro: Hidrogênio renovável



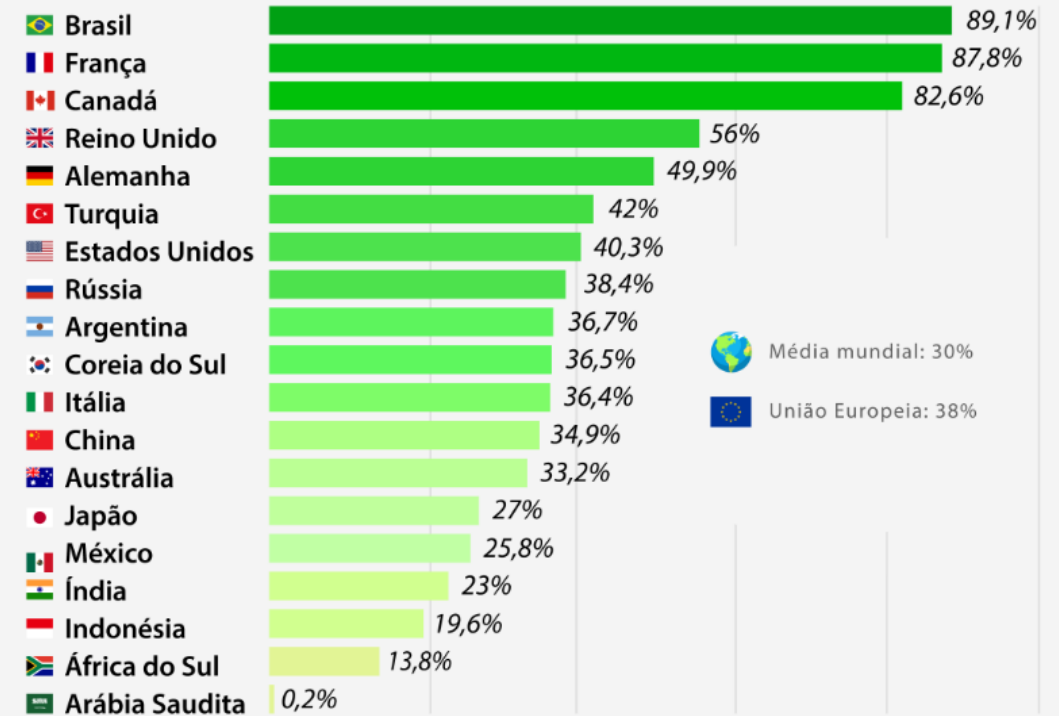
- **Sistema elétrico (grid):** integrado e renovável (> 90%)
- * potencial para grande expansão da energia eólica e fotovoltaica

Fontes de energia elétrica nos países do G20



Energia Renovável do Mundo

Considerando apenas as maiores economias do mundo (G20)

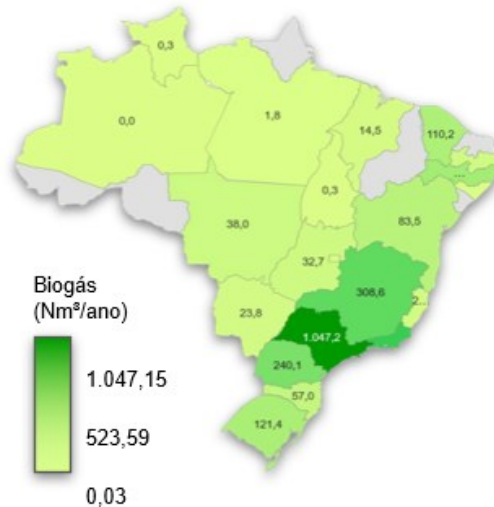


Diferencial brasileiro: Hidrogênio renovável



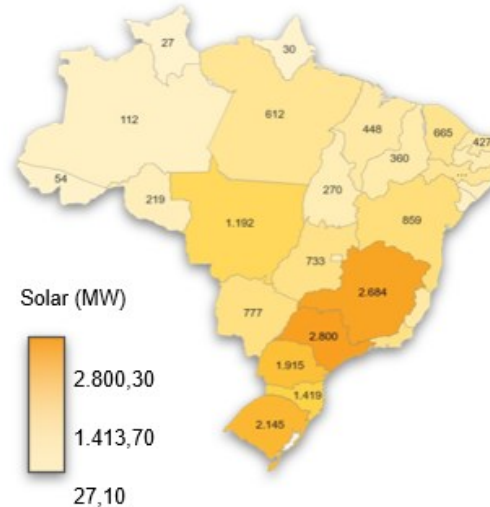
- **Biomassa (residual):** grande volume gerado de forma contínua, disponível em todo o país / produção de syngas ($H_2 + CO$), com versatilidade para a obtenção de diversos produtos (SAF, metanol, amônia/ureia, etc).

Produção de biogás no Brasil



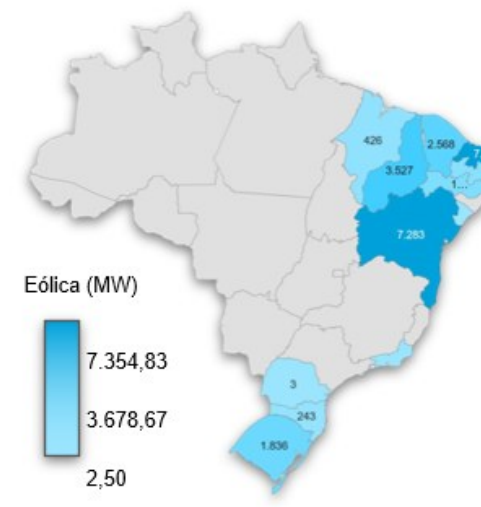
Fonte: CIBiogás/ABILOGÁS, 2022

Capacidade instalada de energia solar no Brasil



Fonte: ABSOLAR, 2023

Capacidade instalada de energia eólica no Brasil



Fonte: ABEEÓLICA, 2023

Fontes para produção de hidrogênio renovável



Fonte: CIBiogás, UFPR, ABSOLAR, ABEEÓLICA, ABILOGÁS, ABH2, 2023

Custo de produção do H₂ – Brasil

Brasil: está entre os países mais competitivos para a produção de hidrogênio no mundo.

Estimativa de custo ideal da energia elétrica:
USD 30 a 35/MWh

Custo nivelado do hidrogênio eletrolítico no Brasil estimado:
~ 1,50 USD/kg de H₂ em 2030 e ~ 1,25 USD/kg de H₂ em 2040
(McKinsey & Company, 2021).



Wind and Solar Energy Prices - Brazil



Fonte: Adaptado de ANEEL. Resultados dos Leilões de Expansão da Geração

Hidrogênio verde mais barato que gasolina?

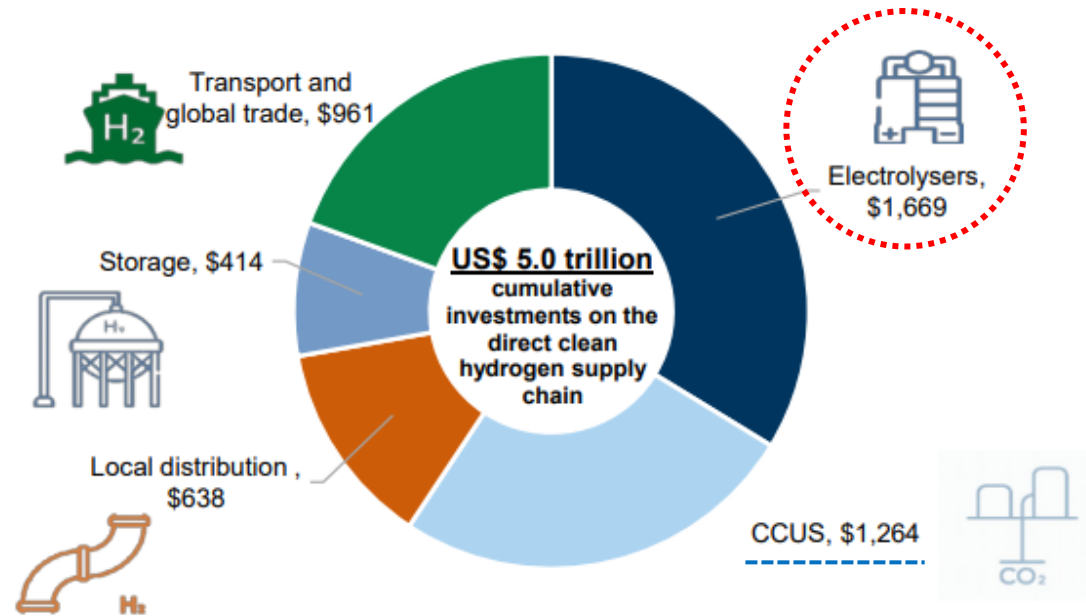
Com custo estimado entre US\$ 1,20 e US\$ 1,40/kg até 2030, o H₂V produzido no Brasil pode ser mais barato que a gasolina no futuro próximo, avalia CEO da Comerc Eficiência

Nayara Machado — 26 de outubro de 2022
Em Combustíveis, Diálogos da Transição, Hidrogênio

epbr

Descarbonização – Investimentos e mercado

We estimate **US\$5.0 tn** of investments will be required in the **global clean hydrogen supply chain to net zero..**
Investments required in the clean hydrogen supply chain for net zero



Source: Goldman Sachs Global Investment Research

Início - Forbes ESG

Hidrogênio verde terá mercado de US\$ 10 trilhões, diz CEO da Plug Power

 Alan Ohnsman

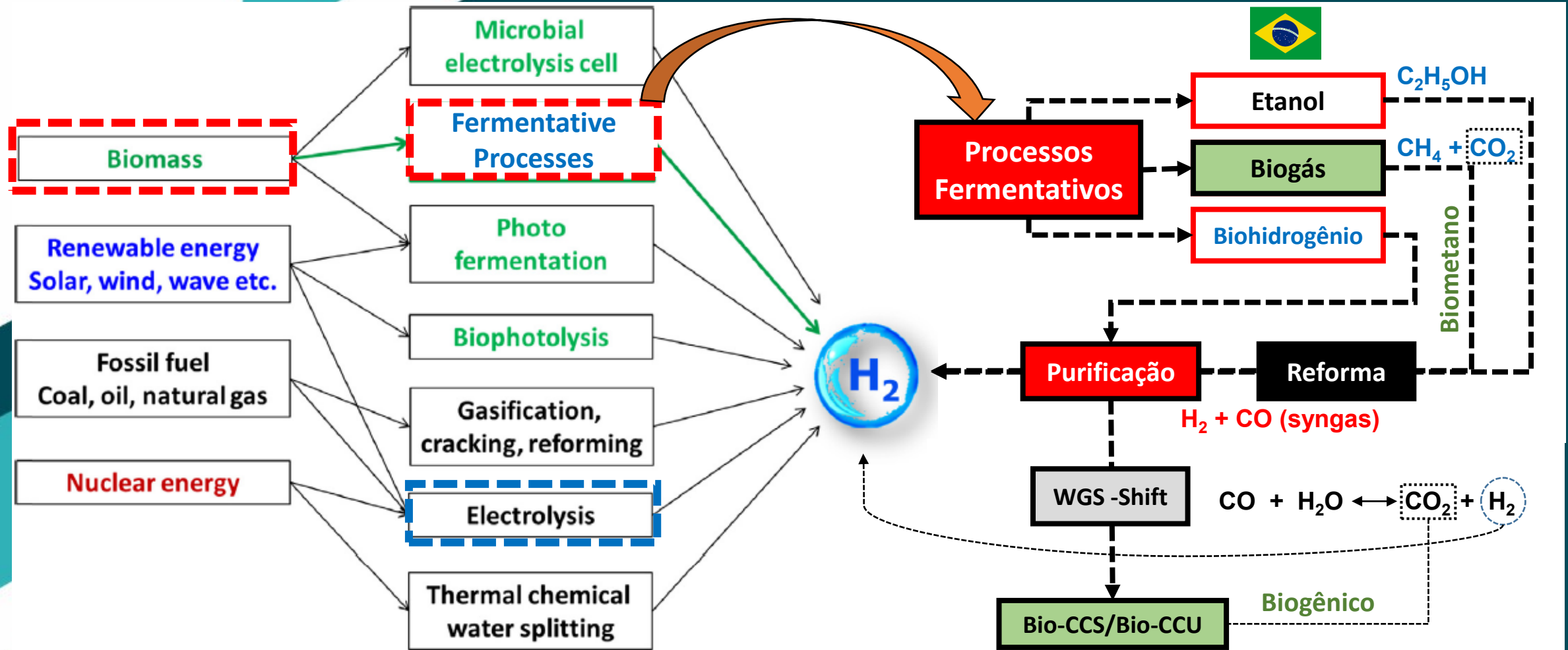
19 de novembro de 2022



Divulgação

Andy Marsh, CEO da Plug Power, aposta que o mercado de hidrogênio verde será gigante

Rotas - H₂ renovável a partir da biomassa



Principais matérias primas e rotas de produção de Hidrogênio



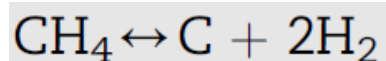
Catalytic Reforming

Dry reforming ^[9, 10]



- Endothermic reaction ($\Delta H = +247 \text{ kJ/mol}$);
- $T = 800 - 900^\circ\text{C}$;
- $P = \text{low } (\pm 1 \text{ bar})$;
- Problems: catalyst deactivation (coke formation);

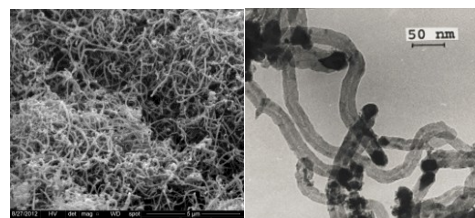
Coque:



B-reforming ^[11]



- Endothermic reaction ($\Delta H = +220 \text{ kJ/mol}$);
- $T = 800 - 850^\circ\text{C}$;
- $P = 1 - 7 \text{ bar}$;
- Problems: reactant conversions and catalyst deactivation;



Steam reforming ^[6, 9]



- Endothermic reaction ($\Delta H = +206 \text{ kJ/mol}$);
- $T = 750 - 900^\circ\text{C}$;
- $P = 15 - 30 \text{ bar}$;
- Problems: consumes > 15 tons of steam for each 1 ton of H_2 produced;

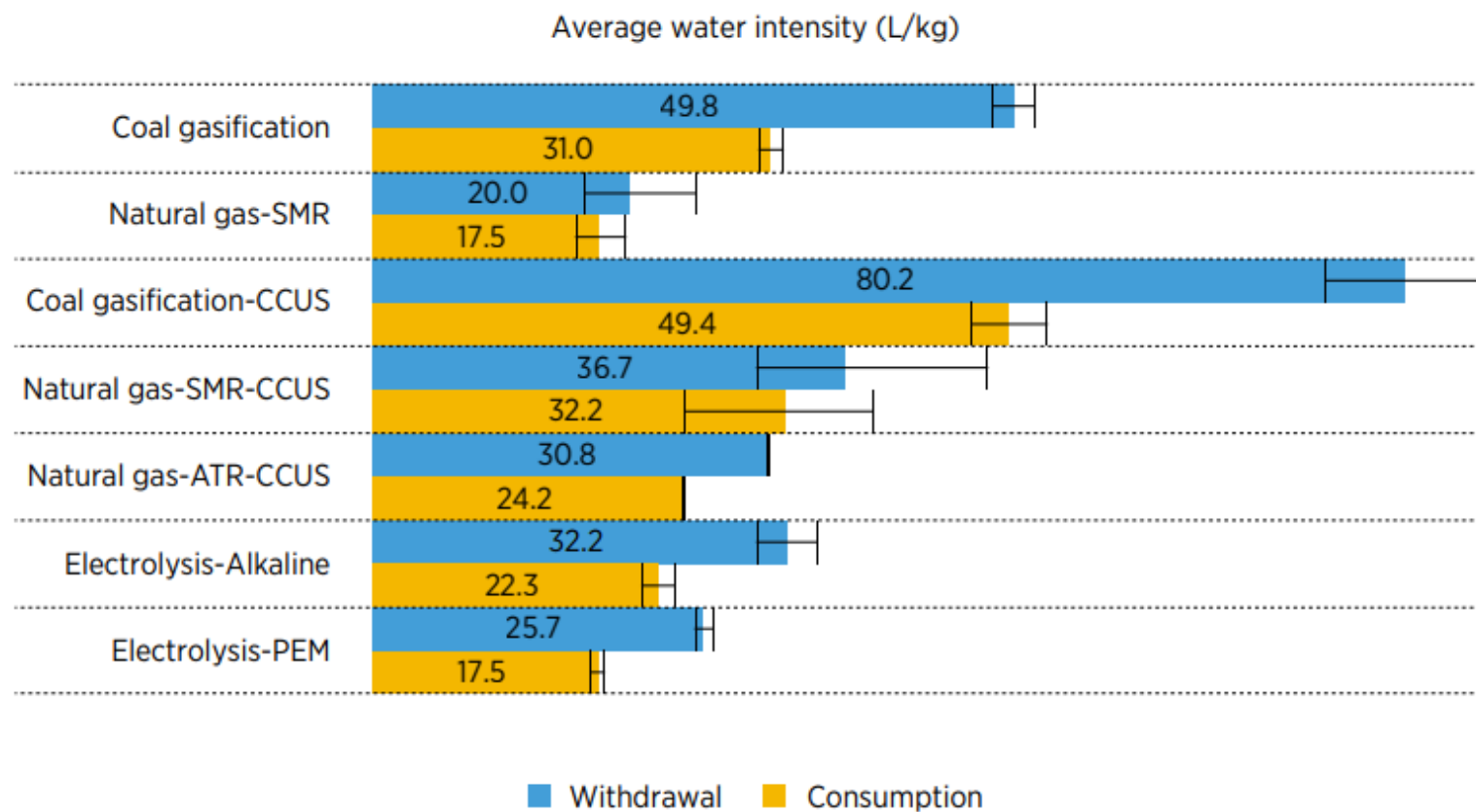
[6] A. L. D. Ramos et. al. 2011. *Quim. Nova*, vol. 34, no. 10, pp. 1704–1716.

[9] M. T. Ashraf et. al. 2015. 23rd European Biomass Conference and Exhibition.

[10] P. Cao et. al. 2018. *Appl. Energy*, vol. 227, pp. 190–197.

[11] N. Entesari et. al. 2020. *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 59, no. 22, pp. 10542–10551.

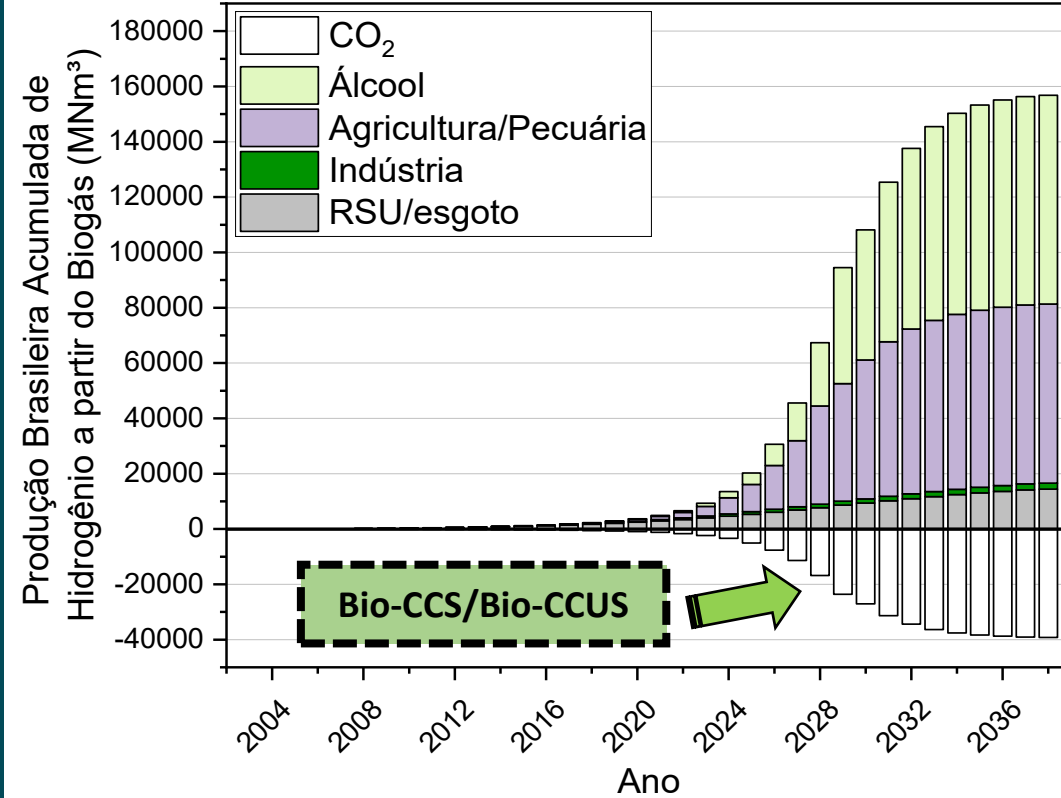
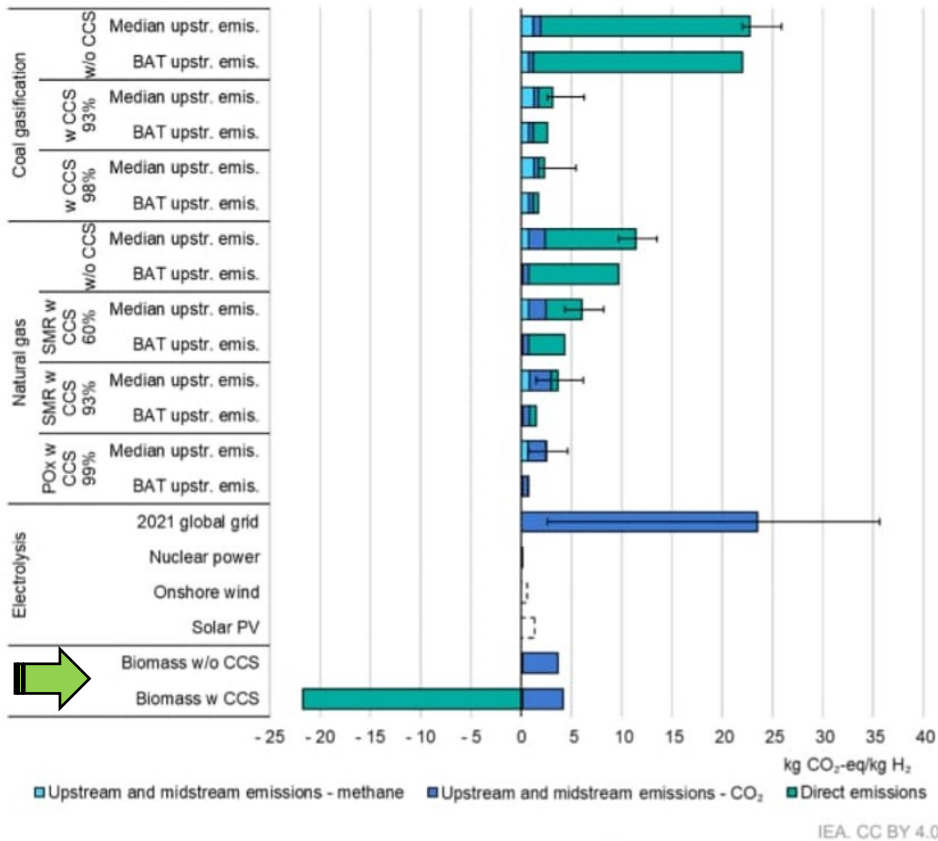
FIGURE 2.3 A comparison of average water withdrawal and consumption intensities by hydrogen production technology



Note: Tap water (or sources with similar water quality) is (are) used or assumed to be the water source(s) behind these data points. For blue hydrogen, the cooling requirements for CCUS systems are included. For PEM and ATR, available data points are limited since these technologies are relatively new – thus the much smaller ranges of values. ATR = autothermal reforming; CCUS = carbon capture, utilisation and storage; kg = kilogramme of hydrogen; L = litre; PEM = proton exchange membrane; SMR = steam methane reforming.

Cenário hipotético: H₂ a partir do biogás

Figure 2.2 Comparison of the emissions intensity of different hydrogen production routes, 2021



Potencial de produção de hidrogênio considerando a conversão de biogás por reforma catalítica e a conversão de CO pelo processo de reação WGS. Emissão líquida CO₂ capturado no processo. Dados sobre estimativas (sigmoidais) de produção de biogás. Excluindo as emissões relacionadas a CO₂ e outros GEE durante o armazenamento permanente. (Fonte: o autor).

H₂ ≈ 160 bilhões de Nm³/ano
≈ 15% da produção mundial atual

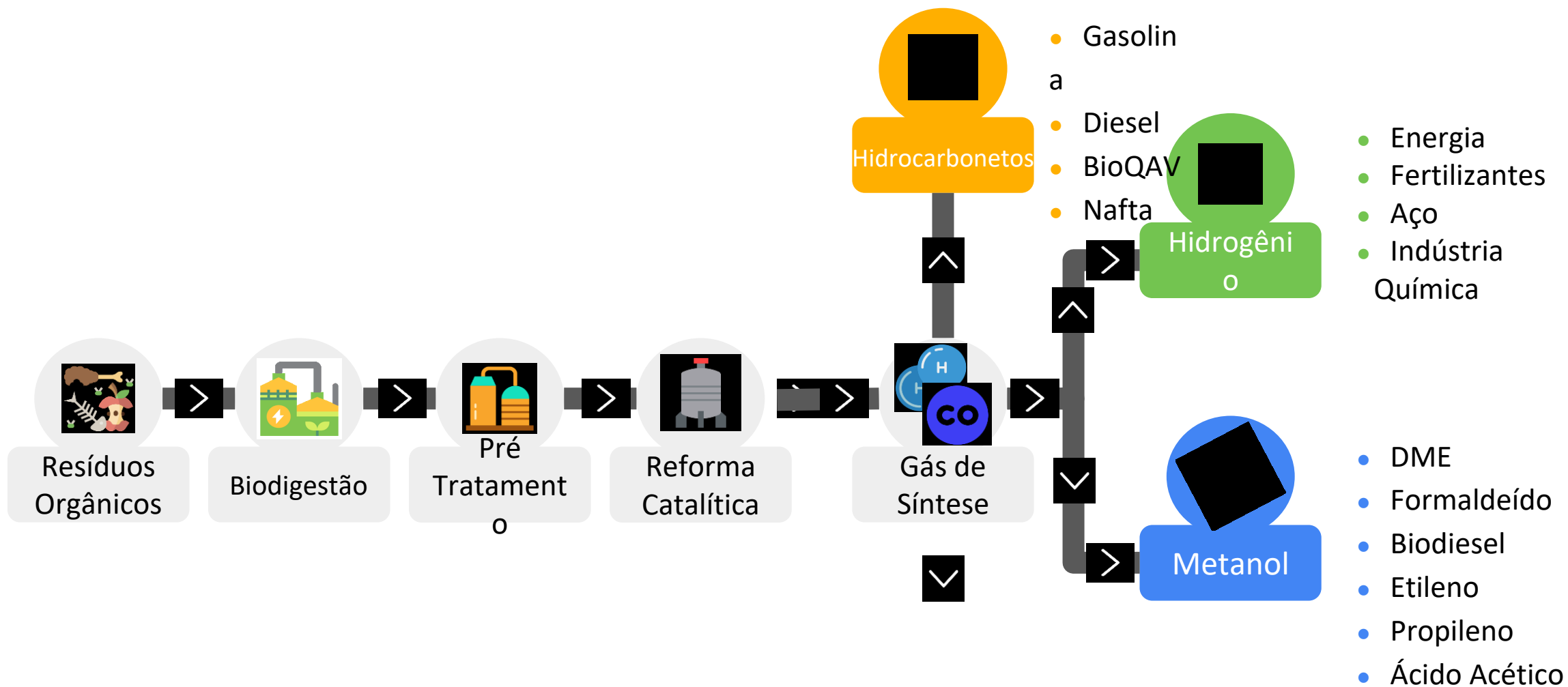
CO₂ biogênico ≈ 40 bilhões de Nm³/ano
(carbono negativo)

14,5 milhões de ton/ano

78,4 milhões de ton/ano

Produção de **Combustíveis Avançados** e outros produtos de valor agregado

Rota tecnológica para o Biogás e Biometano



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO HIDROGÊNIO



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA DO
HIDROGÊNIO

POR TODAS AS OPÇÕES DE PRODUÇÃO E USO

THE BRAZILIAN HYDROGEN ASSOCIATION

FOSTERING THE HYDROGEN VALUE CHAIN



Leis e PLs do Hidrogênio no Brasil

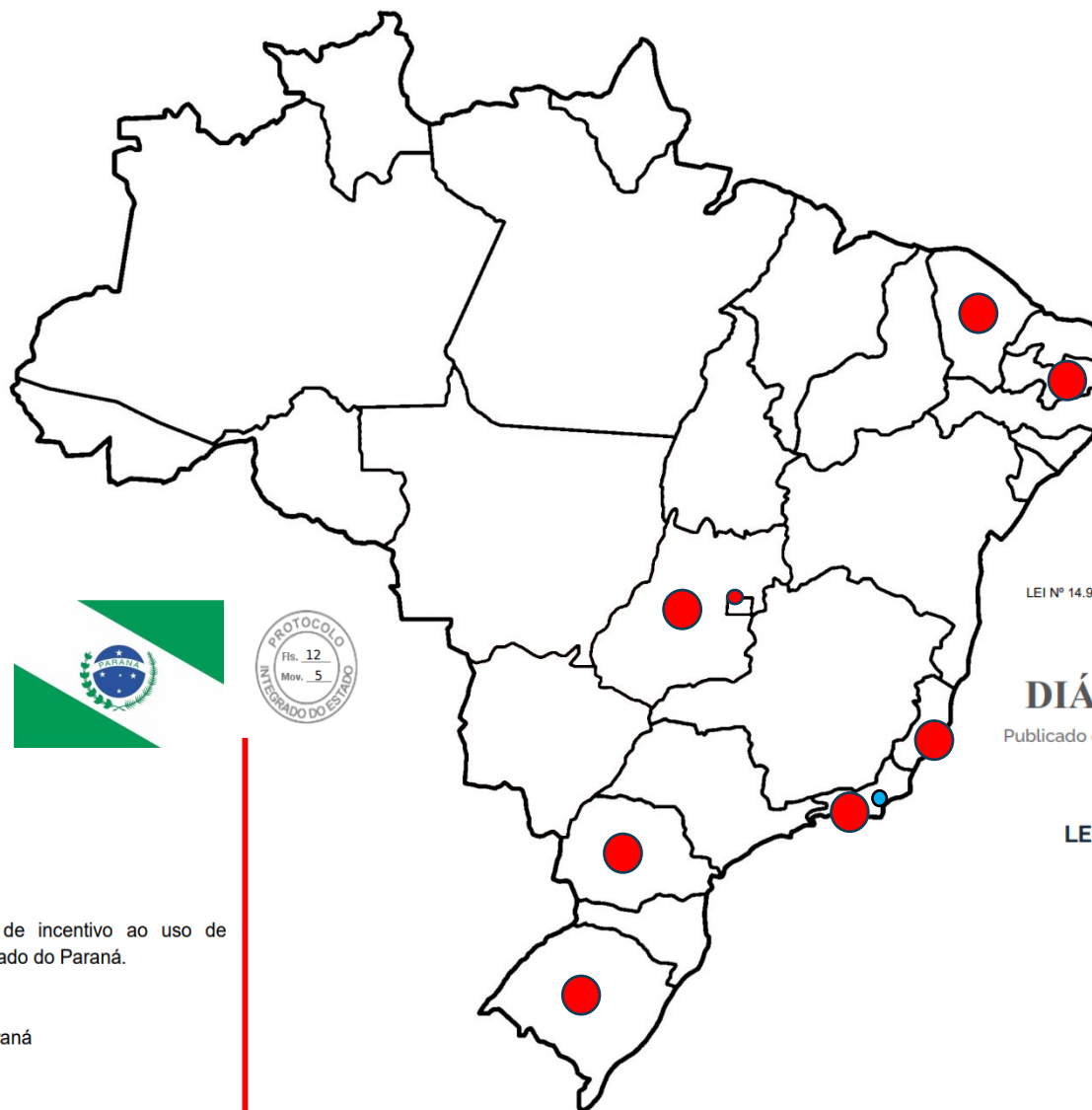
CONGRESSO NACIONAL

SENADO

- PL N° 725, DE 2022
- PL N° 1878, DE 2022
- PL N° 3173, DE 2023

CÂMARA DOS DEPUTADOS

- PL N° 2308/2023
- PL N° 3452/2023



H₂ de baixa emissão de carbono:
< 7 kgCO₂/kgH₂

LEI N° 14.948, DE 2 DE AGOSTO DE 2024 - LEI N° 14.948, DE 2 DE AGOSTO DE 2024 - DOU - Imprensa Nacional

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO

Publicado em: 02/08/2024 | Edição: 148-A | Seção: 1 - Extra A | Página: 1

Órgão: Atos do Poder Legislativo

LEI N° 14.948, DE 2 DE AGOSTO DE 2024

Institui o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono; dispõe sobre a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono; institui incentivos para a indústria do hidrogênio de baixa emissão de carbono; institui o Regime Especial de Incentivos para a Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Rehidro); cria o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC); e altera as Leis n°s 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e 9.478, de 6 de agosto de 1997.



LEI 21.454

Lei n° 21.454

3 de maio de 2023.

Dispõe sobre parâmetros de incentivo ao uso de hidrogênio renovável no Estado do Paraná.

A Assembleia Legislativa do Estado do Paraná decretou e eu sanciono a seguinte lei:

Art. 1º Esta Lei disciplina o incentivo ao uso de hidrogênio renovável no Estado do Paraná.

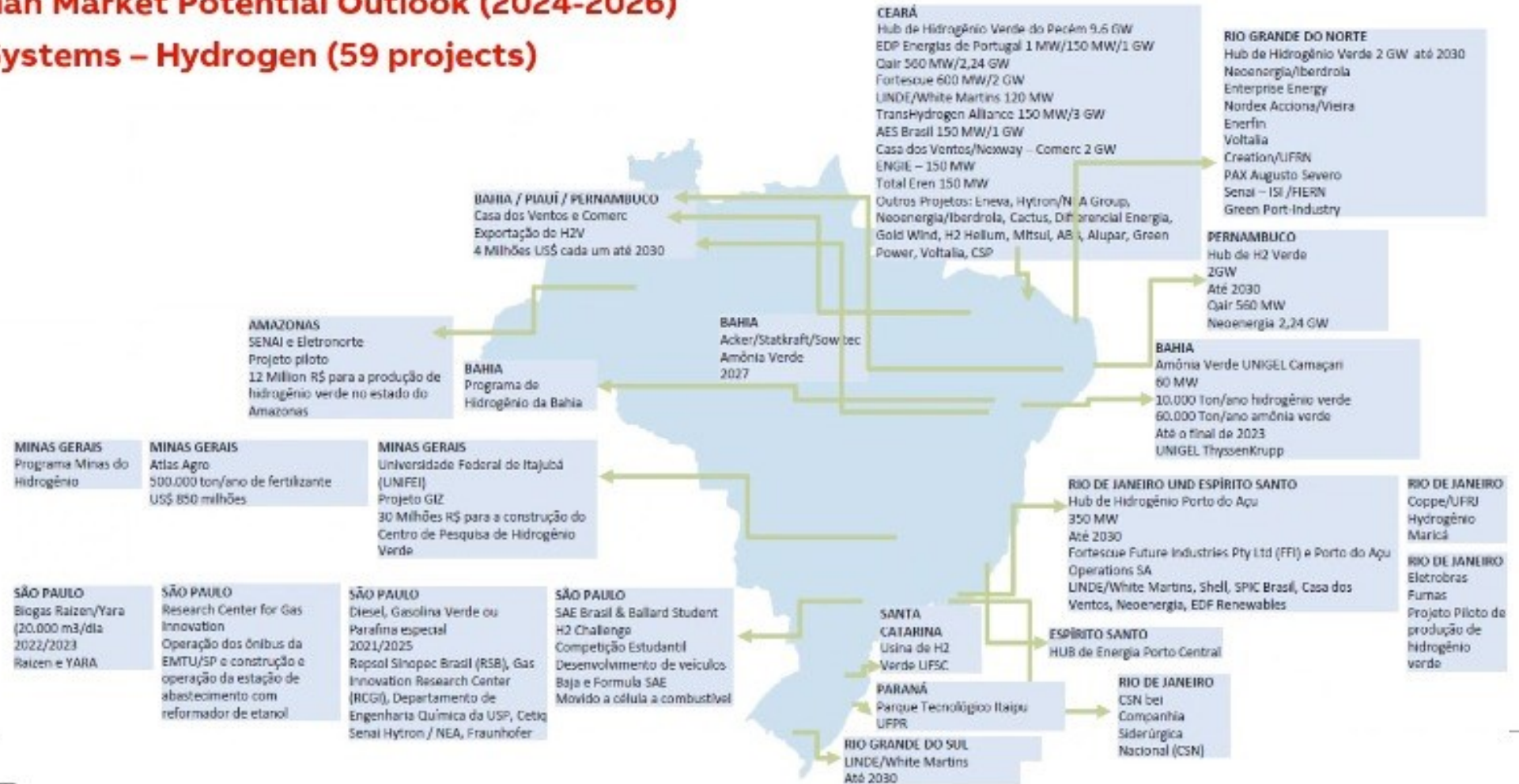


PROJETOS DE NOVOS SISTEMAS ENVOLVENDO HIDROGÊNIO

High Power Rectifiers

Brazilian Market Potential Outlook (2024-2026)

New Systems – Hydrogen (59 projects)



Source: H2 SAE BRASIL



ATUAÇÃO DO LABMATER NA ÁREA PROJETOS DE PD&I



LABMATER

LABORATÓRIO DE MATERIAIS
E ENERGIAS RENOVÁVEIS

CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO DE UNIDADES PILOTO

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

CIBIOGAS
ENERGIAS RENOVÁVEIS

PTI C&T
Ciência e Tecnologia

Piloto/Campo
(0,5 kg_{H2}/h)

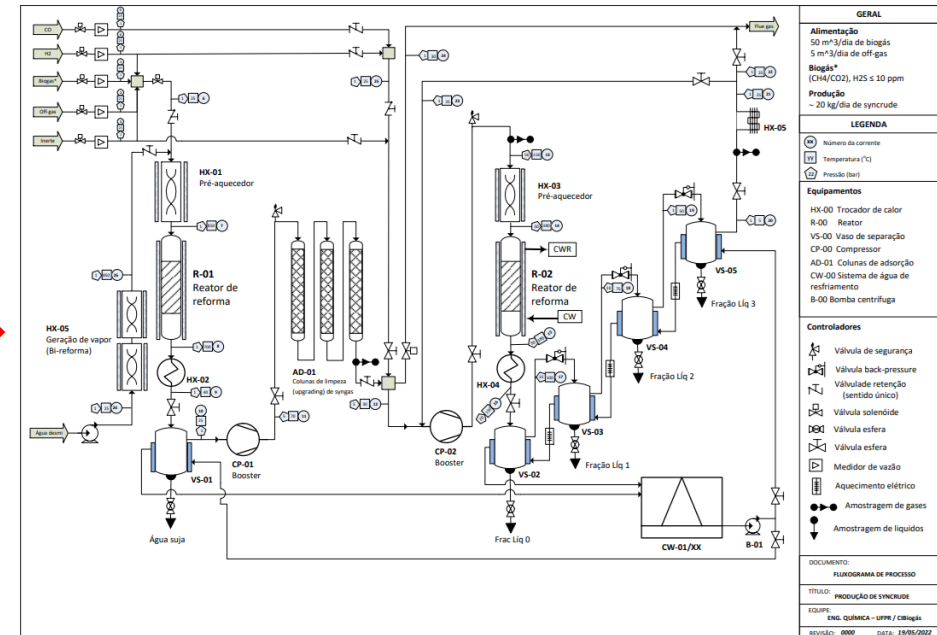
TRL: 6-7



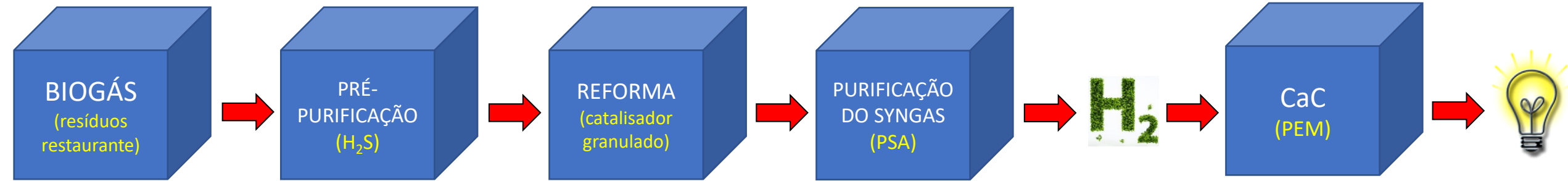
FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA
Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná

Syncrude

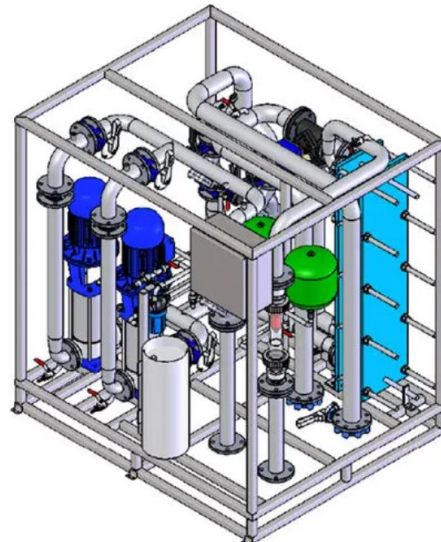
Catalisadores



PROJETO: P&D COPEL



* Integração e automação dos processos e **inteligência artificial**





MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



Subvenção Econômica à Inovação – 08/2022
SELEÇÃO PÚBLICA MCTI/FINEP/FNDCT

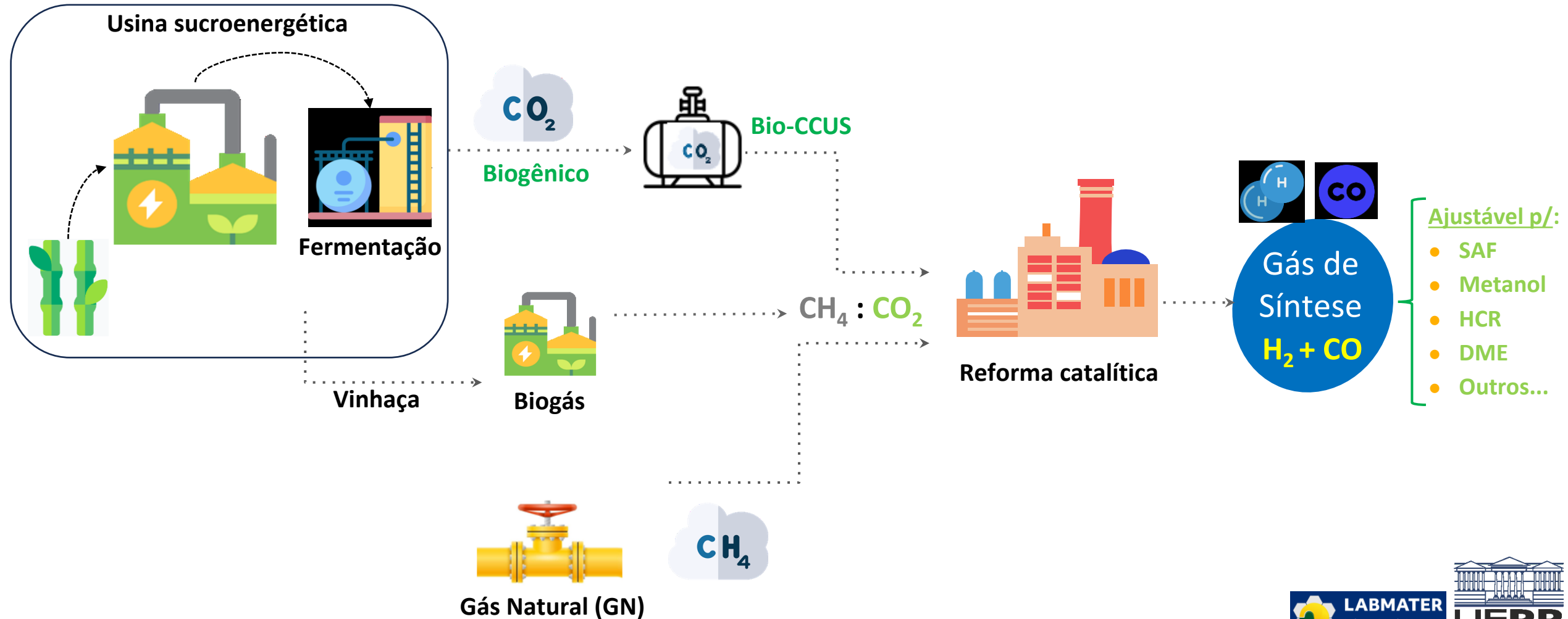
HIDROGÊNIO RENOVÁVEL

Hidrogênio renovável a partir da reforma a seco do biogás proveniente do tratamento de esgoto doméstico como energético para eletromobilidade



23/01/2022

Produção de gás de síntese de baixo carbono – Conceito de projeto



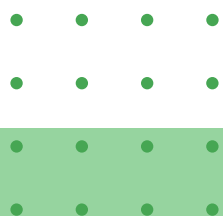


Obrigado pela atenção!

Prof. Dr. Helton José Alves

e-mail: helton.alves@ufpr.br

Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Laboratório de Materiais e Energias Renováveis (LABMATER)
Associação Brasileira do Hidrogênio (ABH2)



labmater.ufpr.br