



Resíduos Sólidos Urbanos e Hidrogênio Verde

Prof Suani Coelho & Danilo Perecin, MSc.

São Paulo, 14 de abril de 2021

Produção de hidrogênio e cores: fontes, tecnologias, e emissões de GEE

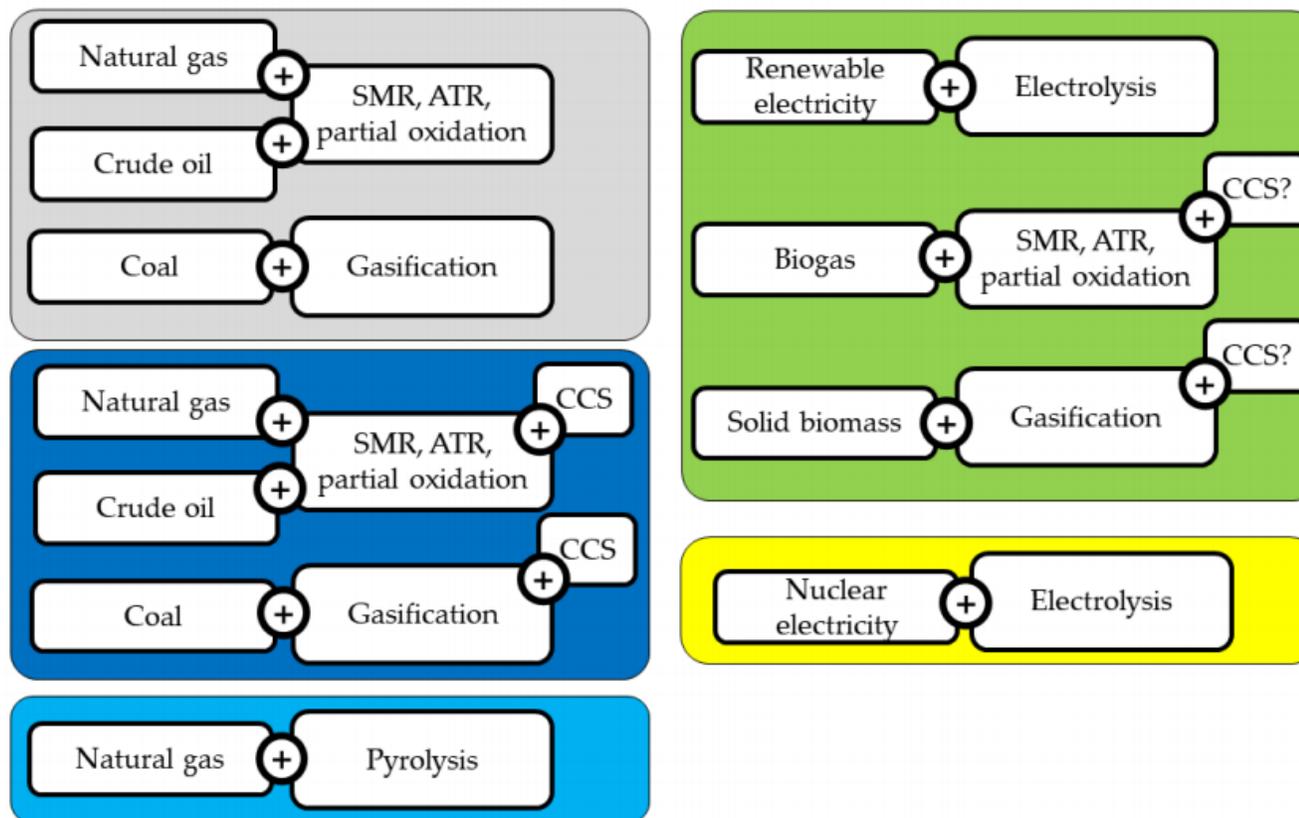


Figure 1. Different hydrogen generation pathways divided by colour. SMR: steam methane reforming, ATR: autothermal reforming, CCS: carbon capture and sequestration.

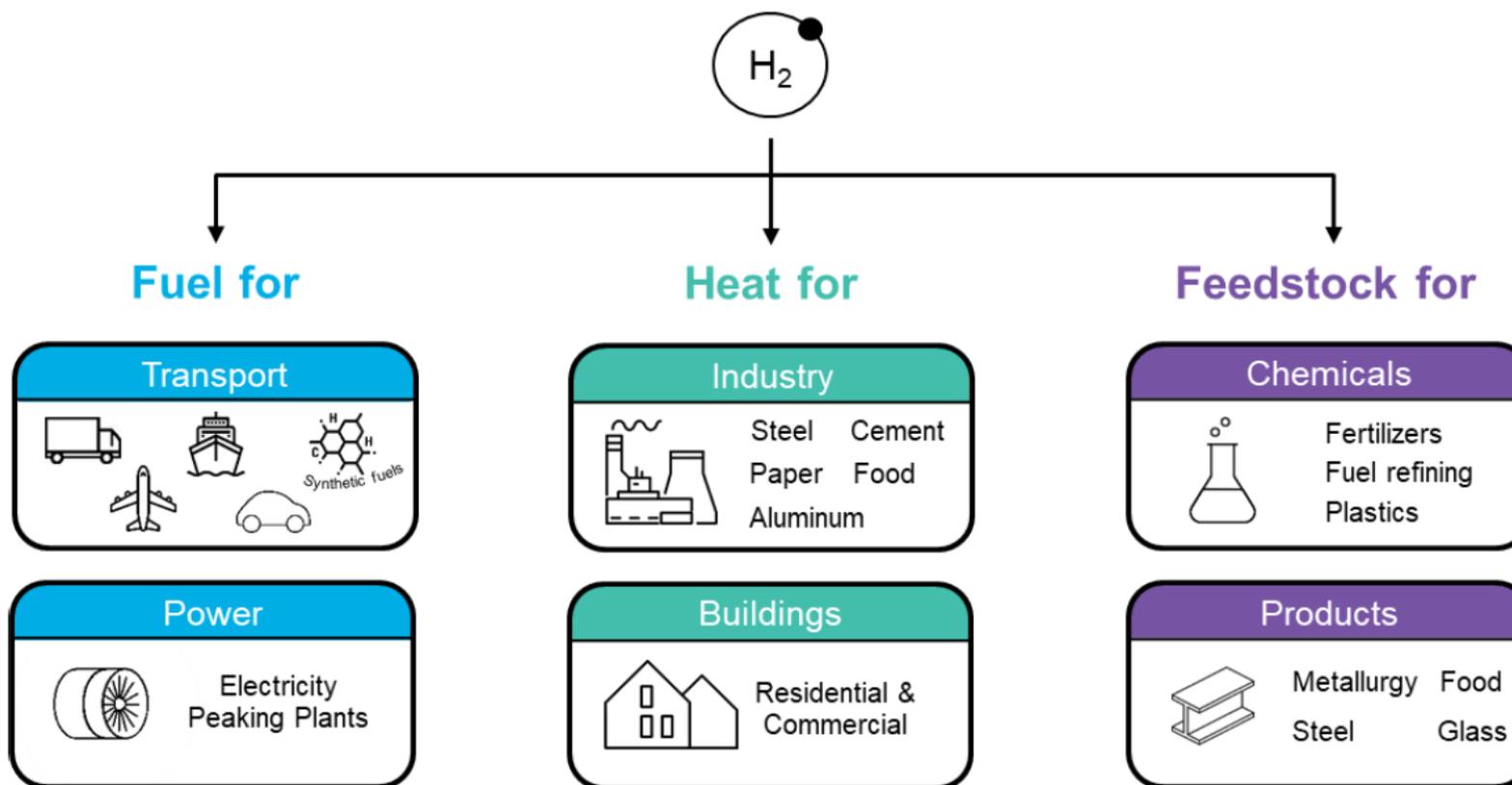
Fonte: Noussan, M. et al. (2021). *The Role of Green and Blue Hydrogen in the Energy Transition: A Technological and Geopolitical Perspective*. <https://doi.org/10.3390/su13010298>

Syngas x Biogás

Gás de Síntese - <i>syngas</i>	Biogás
22% CO	55% CH ₄
16% H₂	40% CO ₂
CO ₂	5% outros gases
2,5% CH ₄	
1,5% H ₂ O	
PCI = 4 a 5 MJ/Nm³ (baixo poder calorífico)	PCI = 20 MJ/Nm³ (médio poder calorífico)

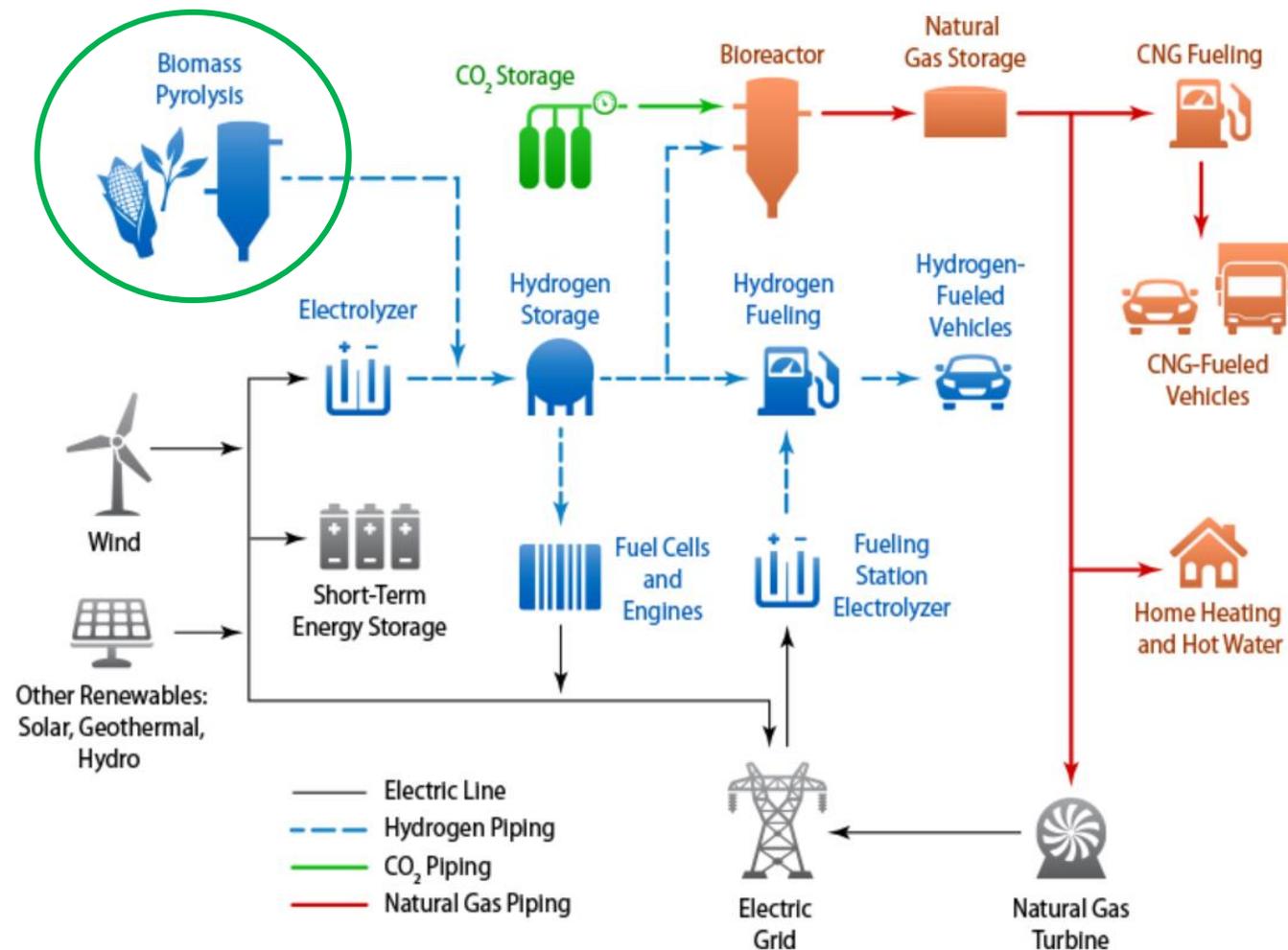
(PCI gás natural = 40 MJ/Nm³)

Diversidade de usos do hidrogênio



Source: BloombergNEF

Integração do sistema energético com hidrogênio



This diagram depicts various scenarios for producing renewable hydrogen and electricity.

Fonte: NREL <https://www.nrel.gov/hydrogen/renewable-electrolysis.html>

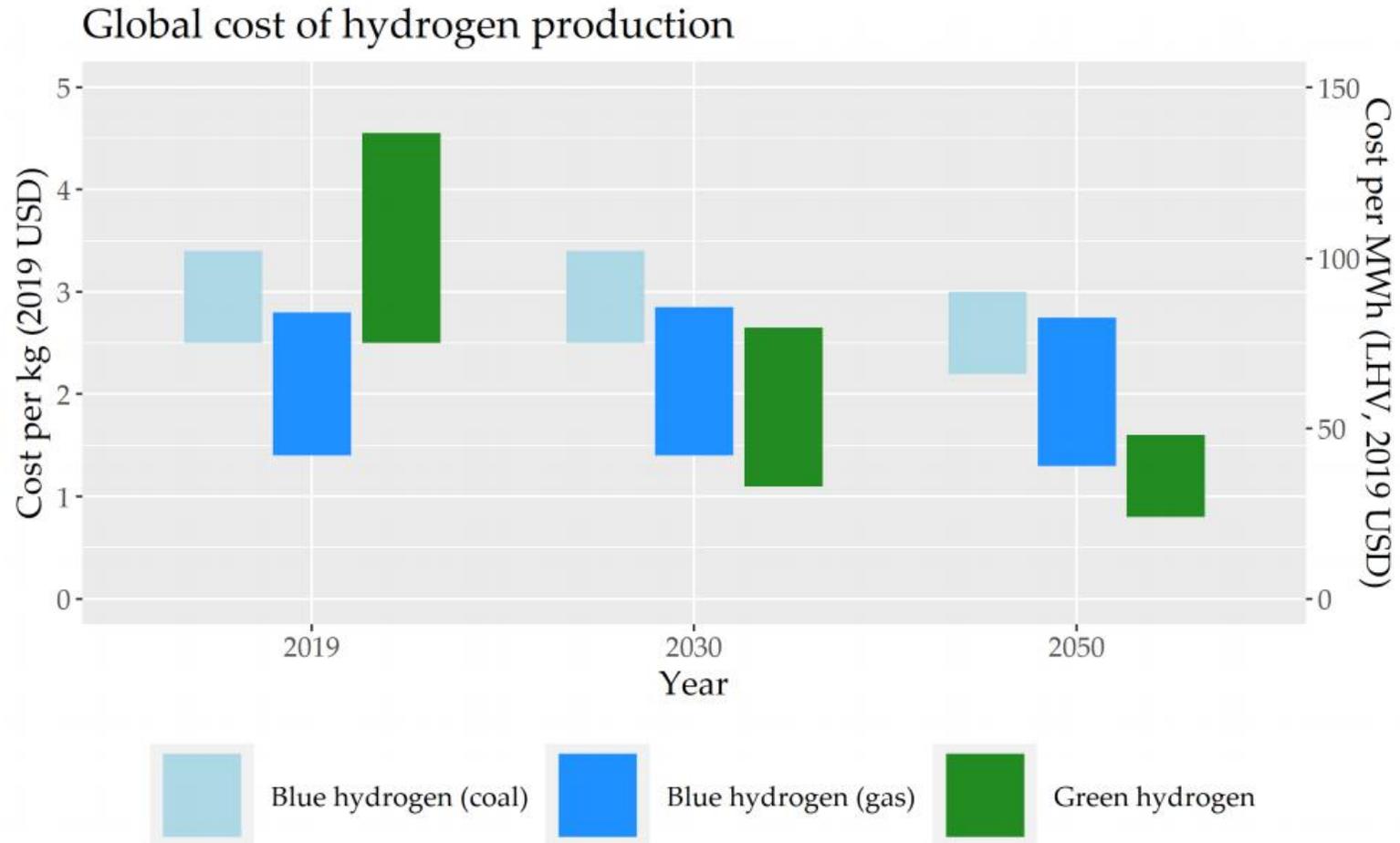


Figure 2. Estimation of future hydrogen costs for different pathways. Energy figures based on hydrogen lower heating value (LHV). Authors' elaboration on BNEF data, 2020 [14].

Fonte: Noussan, M. et al. (2021). *The Role of Green and Blue Hydrogen in the Energy Transition: A Technological and Geopolitical Perspective*. <https://doi.org/10.3390/su13010298>

Gaseificação de biomassa e resíduos no mundo

<http://task33.ieabioenergy.com/>



Status da gaseificação de biomassa no mundo

Matéria-prima: Tendência a mudanças no perfil de biomassa dedicada e “limpa” para a utilização de resíduos, devido a custos e sustentabilidade

Utilização do gás produzido: Cogeração (CHP) é dominante em unidades de pequena escala; Em plantas maiores, a produção de combustíveis (líquidos e gasosos) se torna cada vez mais relevante

Avaliação das tecnologias para H₂:

Hydrogen from biomass gasification



Plantas em operação:

- **Pequena escala: + 1500 (concentradas na Europa)**
- **Grande escala:** alguns casos de sucesso, vínculo com Fischer-Tropsch e produção de combustíveis (TABELA)

Produção de hidrogênio (150 m³/h): Herten, Alemanha

	Owner	Name	Country
	Aemetis/Lanzatech	Project Aemetis Riverbank	USA
	Total	BioTfuel demo	FR
	Enerkem	Westbury commercial demonstration facility	CA
	Enerkem Alberta Biofuels LP	Edmonton Waste-to-Biofuels Project	CA
	GDF Suez + consortium	Gaya	FR
	Go Green Fuels Ltd	GoGreenGas	UK
	KIT bioliq	bioliq	DE
	Tembec Chemical Group	Synthesis Tembec Chemical Quebec	CA
	Vanerco (Enerkem & Greenfield Ethanol)	Varenes Cellulosic Ethanol	CA
	West Biofuels	LLC Thermal Reformer Synthesis West BiofuelsWoodland , CA	US

	Operational
	Under construction / under commissioning

Fonte: IEA Bioenergy Task 33 (2019)

Ways2H (joint venture Clean Energy Enterprises – EUA e Blue Energy Corporation – Japão):

- Alegam que custos de produção do H₂ estão na faixa de US\$ 5/kg, podendo chegar a US\$ 3/kg
- Custo relativamente baixo considera “custos negativos” da matéria-prima
- Planta opera com altos fatores de capacidade
- 1 ton resíduo seco = 40 a 50 kg de H₂ (pode variar de 30 a 120 kg)
- Tecnologia: pré-processamento, **gaseificação**, reforma, limpeza e separação do H₂
- Projeto é operar com CCS
- Desenvolvendo sistemas modulares de 1 ton resíduo/dia

'It's much cheaper to produce green hydrogen from waste than renewables'

California start-up can convert rubbish that would otherwise go to landfill into pure hydrogen — while offering a carbon-negative solution, writes Leigh Collins

<https://www.rechargenews.com/transition/its-much-cheaper-to-produce-green-hydrogen-from-waste-than-renewables/2-1-801160>

Califórnia e o Low Carbon Fuel Standard: produção de H₂ com créditos de carbono

- Programa da Califórnia, similar ao RenovaBio, prevê créditos para produtores de hidrogênio
- Rotas de produção de H₂ já certificadas têm como matéria-prima o gás de aterro, biometano de dejetos animais, eletricidade e gás natural
- Gás de aterro e biometano de dejetos animais podem gerar H₂ de intensidade de carbono **negativa**
- A US\$ 100/tCO₂, o benefício podia passar de US\$ 3/kg. Valor atual é de cerca de US\$ 200/tCO₂

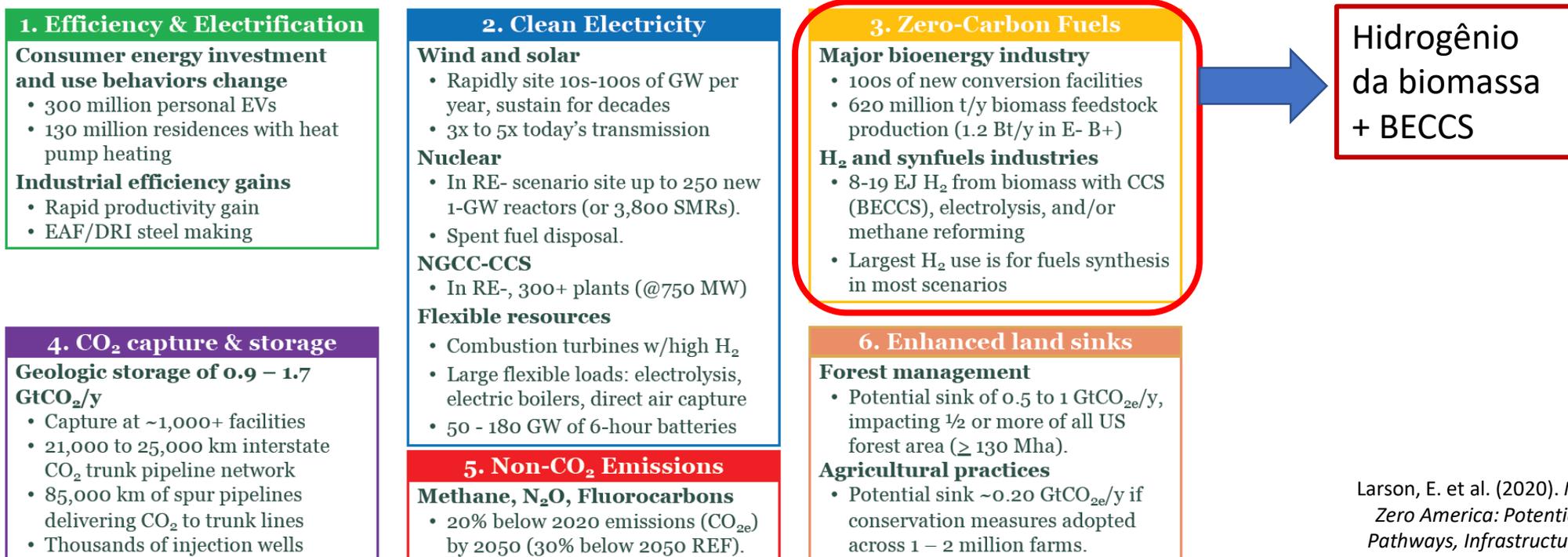
			Assumed Value per Credit: \$100
Fuel Pathway	Applicant	Carbon Intensity (gCO ₂ /MJ)	LCFS Value (\$/kg)
HYGN009	LyTen	29.84	\$2.30
HYGN006	AC Transit	0	\$2.66
HYGN011	Fuel Cell Energy	-0.82	\$2.67
HYGN008	LyTen	-46.91	\$3.22

Fontes: California Air Resources Board (2021); Martinez (2016) - CARB.
https://www.energy.gov/sites/default/files/2016/07/f33/fcto_x-cutting_h2_stn_infrastr_review_2_martinez.pdf

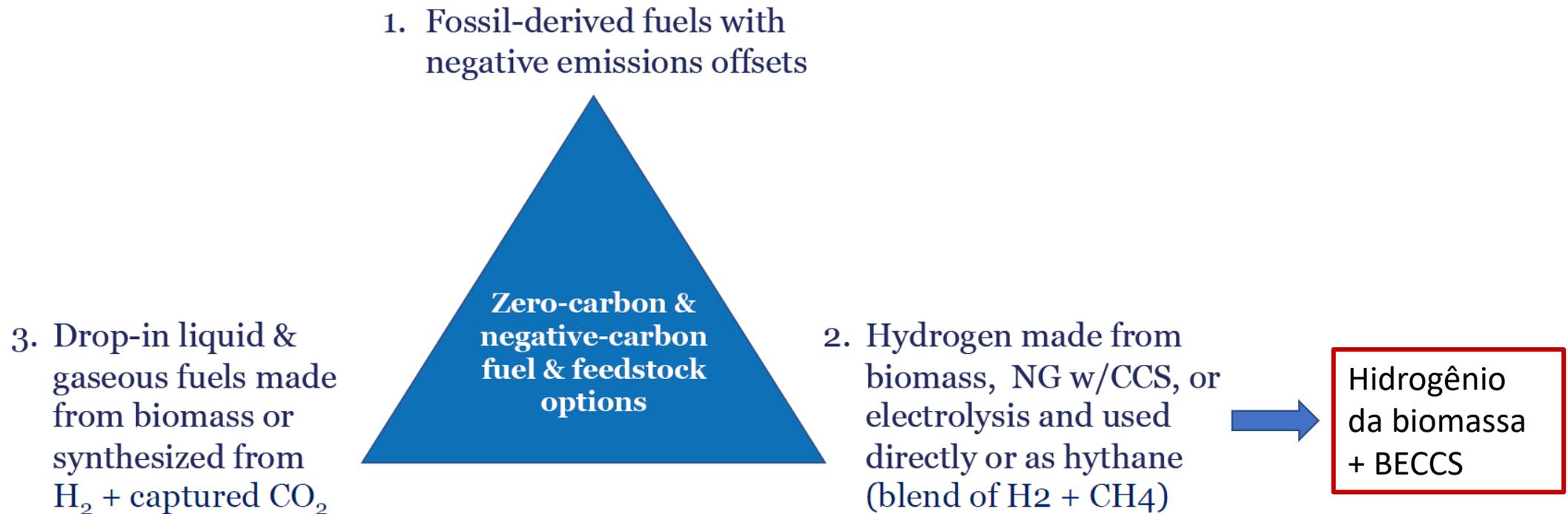


Executive Summary (4/9)

Six pillars expand rapidly for 3 decades. By 2050:



Key zero-carbon fuels and feedstocks



Experiência no Brasil

Gaseificação de RSU

Brasil – Disposição dos RSU

TABELA 3. QUANTIDADE DE MUNICÍPIOS POR TIPO DE DISPOSIÇÃO FINAL ADOTADA

Disposição Final	Brasil 2015	2016 - Regiões e Brasil					
		Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
Aterro Sanitário	2.244	92	458	161	822	706	2.239
Aterro Controlado	1.774	112	500	148	644	368	1.772
Lixão	1.552	246	836	158	202	117	1.559
Brasil	5.570	450	1.794	467	1.668	1.191	5.570



Fonte: Panorama ABRELPE 2016

O caso dos pequenos municípios

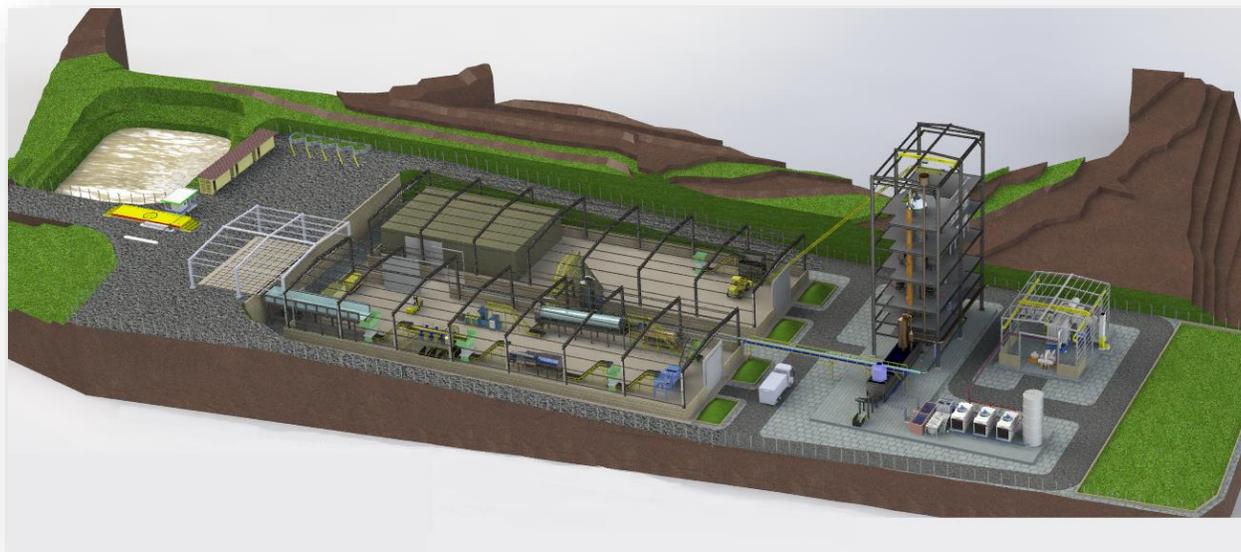
Tabela 21 - Classificação quanto ao porte do município em relação ao número da população residente - Brasil – 2000.

Classificação de acordo com o tamanho da população		Número de municípios	Relação ao Total
Pequeno Porte I	até 20 000	4.074	73,26%
Pequeno Porte II	De 20 001 até 50 000	963	17,32%
Médio Porte	De 50 001 até 100 000	299	5,38%
Grande Porte	Mais de 100 001	225	4,05%
Total		5.561	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor com base no IBGE, 2000.

PROJETO DE P&D

Aproveitamento energético e geração de energia elétrica de resíduos sólidos urbanos a partir de reator termoquímico.





Boa Esperança é um município brasileiro do estado de Minas Gerais. Localiza-se a uma latitude $21^{\circ}05'24''$ sul e a uma longitude $45^{\circ}33'57''$ oeste, estando a uma altitude de 775 metros. Sua população em 2016 é de 40 412 habitantes, de acordo com a estimativa do IBGE.

Local de Instalação: Boa Esperança-MG;

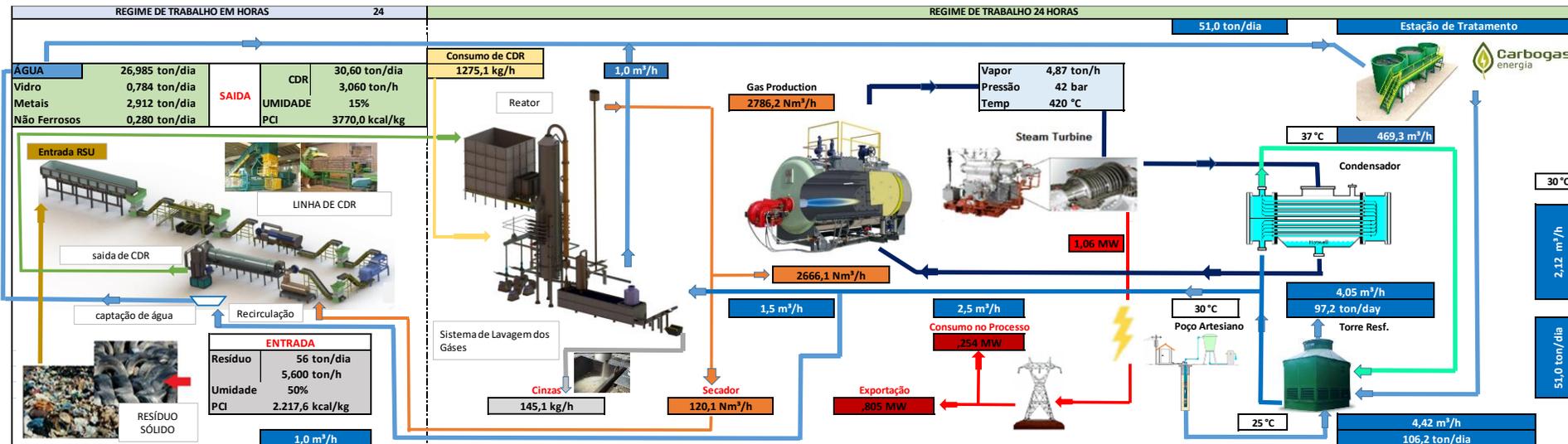
Processo: Sistema Reator Termoquímico em Leito Fluidizado Circulante (Gaseificação);

Capacidade de Geração: 3,54 Gcal/h (4MW_{th});

Rendimento Teórico: 75%;

Range de Trabalho 70%

Aplicação: Geração de Energia Elétrica



Technical figures

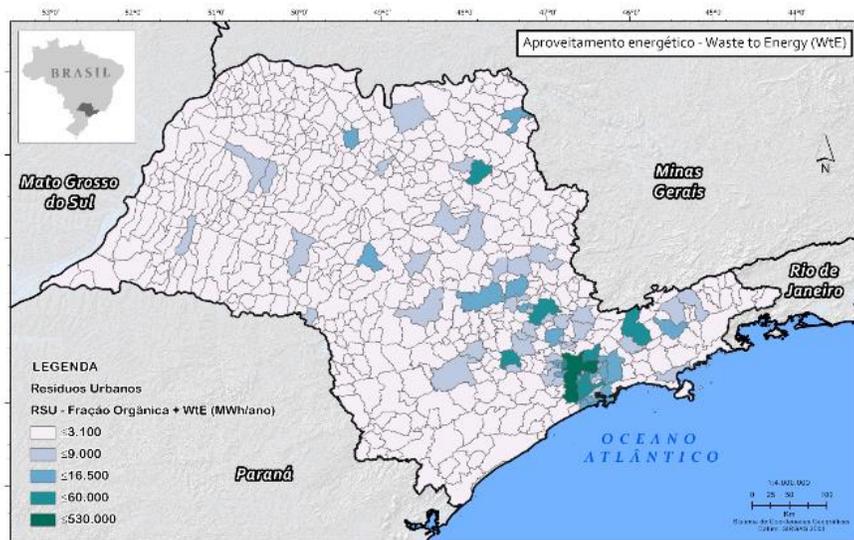
- MSW: 55 ton/day
- Net power generated: 1.06 MW
- Power surplus to export: 0,805 MW
- Area: 7,800 m²

- MSW LHV: 2,217 kcal/kg
- RDF LHV: 3,770 kcal/kg
- Syngas LHV: 1,294 kcal/Nm³



Atlas de Bioenergia do Estado de São Paulo – Largest potentials with WtE - Small/medium municipalities

Potential for Electricity Production – MSW Gasification (<10 MW)



ATLAS DE BIOENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO
Potencial técnico de geração de energia elétrica produzida nos municípios do estado de São Paulo a partir do resíduo de consumo
Elaboração: GIBIOE/USP 2020 - Projeto P&D ANEEL, PD 00881-0657/2017

Municipality	Electricity Potential
	MWh/year
Santo André	58,119
São José dos Campos	57,143
Osasco	56,710
Ribeirão Preto	45,363
Sorocaba	53,621
Mauá	30,716
São José do Rio Preto	29,962
Santos	28,904
Mogi das Cruzes	28,848
Diadema	27,782
Top Ten	417,168
São Paulo State (Gasification)	1,910,475 (more than 10% of state potential)
São Paulo total electricity potential (from biomass residues)	17,985,183