

O POTENCIAL BRASILEIRO DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE A PARTIR DO BIOGÁS DE RESÍDUOS URBANOS

JEFERSON PERES GOMES¹; WILLIAN CEZAR NADALETI²; BRUNO MULLER VIEIRA³

¹ Universidade Federal de Pelotas – gomesjefersonpg@gmail.com

² Universidade Federal de Pelotas – williancezarnadaletti@gmail.com

³ Universidade Federal de Pelotas – bruno.prppg@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, assim como em boa parte do mundo, o hidrogênio (H₂) é majoritariamente produzido a partir do gás natural (GN) usando a reforma à vapor do metano (SMR). Anualmente, esse processo gera 529,5 Gg de hidrogênio cinza no país, o qual recebe esse nome devido à emissão de dióxido de carbono – cerca de dez toneladas por tonelada de hidrogênio (MME, 2021). No entanto, o Brasil tem a capacidade internacionalmente reconhecida de produzir um dos hidrogênios verdes mais baratos do mundo, evitando a emissão de gases de efeito estufa e contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (IEA, 2021). Sendo assim, de acordo com Kelman et al. (2020), o Brasil pode se tornar uma potência global no setor, atendendo toda a futura demanda nacional e exportando o restante para a Europa e em especial para a Alemanha.

Em decorrência das potencialidades do setor no país, o Ministério de Minas e Energia (MME) conduziu um estudo para avaliar a atual aptidão nacional para o desenvolvimento da cadeia de hidrogênio verde (MME, 2021). Os autores concluíram que o cenário brasileiro favorece a evolução do setor. Contudo, apesar dos esforços recentes, ainda há pouco conhecimento sobre o potencial exato de produção de hidrogênio verde no Brasil, especialmente quando a variedade de possíveis fontes é considerada.

Nesse sentido, a produção de hidrogênio verde a partir dos resíduos urbanos ainda carece de uma avaliação à nível nacional. Em aterros sanitários e em estações de tratamento de esgoto (ETEs), um dos principais subprodutos gerados no processo de tratamento é o biogás, uma mistura de metano (CH₄) e dióxido de carbono que é geralmente apenas queimada para reduzir o impacto climático de sua emissão (DEUBLEIN e STEINHAUSER, 2011). Assim, devido à grande disponibilidade de biogás, os resíduos urbanos devem representar uma fonte promissora para a produção de hidrogênio verde no Brasil a partir da geração de biometano e posterior reforma à vapor do mesmo.

Portanto, o objetivo do presente estudo é avaliar o potencial brasileiro e a viabilidade econômica da produção de hidrogênio verde a partir do biogás de resíduos urbanos.

2. METODOLOGIA

O potencial de biometano dos aterros sanitários foi calculado individualmente para cada estado brasileiro usando o modelo de decaimento de primeira ordem dado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (2000) com o fator de normalização corrigido pelo IPCC (2006). Esse método foi usado para determinar a quantidade de metano atualmente produzida pela degradação dos resíduos aterrados

entre 2008 e 2021. Logo, os dados sobre a disposição de resíduos foram obtidos dos relatórios da Associação de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) (c2021). Ademais, as informações climáticas foram retiradas do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (2012). Por fim, se considerou que seria possível capturar 55% de todo metano produzido para posterior aproveitamento.

O potencial de biometano das ETEs foi calculado individualmente para cada ETE levantada pela pesquisa da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (2013) utilizando uma adaptação do modelo de Lobato (2011) com base na situação típica descrita no estudo.

No presente trabalho, a reforma à vapor do biometano foi escolhida como o método de produção de hidrogênio. Consequentemente, uma perda de 3% do potencial de metano foi considerada devido ao processo de purificação do biogás (NOCK et al., 2014). Além disso, se utilizou uma taxa de $2,459 \text{ Nm}^3\text{H}_2/\text{Nm}^3\text{CH}_4$ e um fator de capacidade de 95% para obtenção do potencial de hidrogênio final (INL, 2010; SAUR e MILBRANDT, 2014; IEA, 2017).

O custo nivelado do hidrogênio (LCOH) foi calculado a partir do método de Silveira e Gomes (1999). Tal metodologia contempla os gastos com capital (CAPEX) e com operação e manutenção (O&M) de forma anualizada. Assim, o CAPEX foi estimado a partir do método de custo-para-capacidade utilizando *Chemical engineering plant cost indexes* (CEPCI) para a atualização temporal dos valores (TOWLER e SINNOTT, 2008; MAXWELL, 2020). Por fim, o O&M foi baseado em custos com água, eletricidade, mão de obra e seguro da planta (CIUCHI, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, está ilustrado o potencial brasileiro de produção de hidrogênio verde a partir da reforma à vapor do biometano gerado no tratamento anaeróbio de resíduos urbanos.

Tabela 1 – Potencial de produção de hidrogênio verde

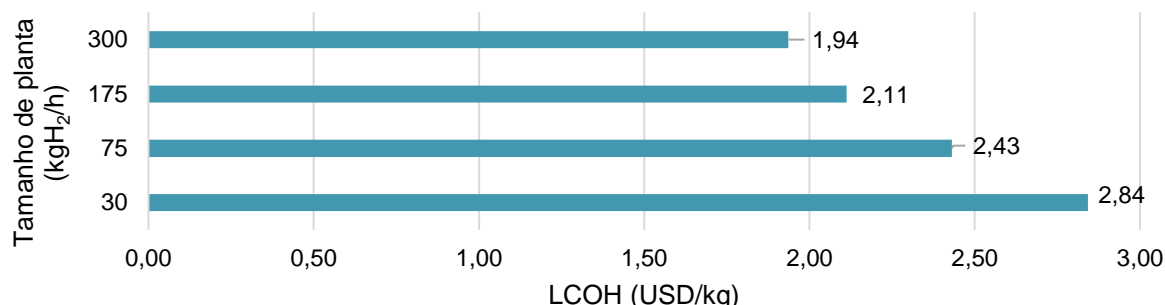
Região	Potencial de hidrogênio verde (Nm^3/ano)	
	Aterros sanitários	Estações de Tratamento de Esgoto
Norte	1,18E+08	9,37E+06
Nordeste	2,55E+08	7,64E+07
Centro-oeste	2,10E+08	3,55E+07
Sudeste	1,98E+09	2,20E+08
Sul	3,04E+08	1,16E+08
Brasil	2,87E+09	4,57E+08

Percebeu-se que o potencial de hidrogênio é fortemente influenciado pela densidade populacional e pela qualidade da gestão dos resíduos. Dessa forma, se verificou uma concentração do potencial das duas fontes na região Sudeste em virtude da grande produção de resíduos e do bom nível de tratamento empregado aos mesmos (ANA, 2013; ABRELPE, c2021). Contudo, notou-se que o potencial das ETEs é menos concentrado do que o dos aterros sanitários. Isso ocorre porque as regiões que produzem a maior quantidade de esgoto no país tendem a ter uma menor taxa de emprego de tecnologias anaeróbias.

Em contraste com a atual produção brasileira de hidrogênio fóssil (cinza), o potencial de hidrogênio verde dos resíduos urbanos é significativo. O mesmo corresponde a 55,93% da atual produção (MME, 2021).

O custo nivelado da produção de hidrogênio verde a partir do processo selecionado está exposto na Figura 1.

Figura 1 – Custo da produção de hidrogênio verde



Para os tamanhos de planta selecionados, o LCOH ficou entre 2,84 e 1,94 USD/kg. Logo, em vista da meta global de produzir hidrogênio verde à 2 USD/kg, foram encontrados resultados extremamente positivos. Aterros sanitários com capacidade a partir de 300 kgH₂/h já estão aptos a alcançar custos até mesmo abaixo dessa faixa. Por outro lado, ETes, por não terem uma capacidade produtiva tão grande, ainda permanecem ligeiramente acima de 2 USD/kgH₂.

Cerca de 55% do custo do hidrogênio cinza é gerado pela compra do GN (NAZIR et al., 2020). Logo, crises globais, como a gerada pela pandemia de COVID-19 ou pela Guerra na Ucrânia, fazem com que o LCOH cresça substancialmente em virtude do aumento do valor do GN. Por outro lado, o uso biometano pode conferir uma maior segurança para a produção por reduzir a sensibilidade dos custos frente ao mercado internacional, podendo, inclusive, representar uma alternativa mais economicamente atrativa em períodos de alta no custo base do GN.

4. CONCLUSÕES

A reforma à vapor do biometano gerado no tratamento anaeróbico de resíduos urbanos representa uma promissora fonte de hidrogênio verde, pois impulsiona a economia circular e está imersa nos princípios do desenvolvimento sustentável. Além de apresentar um potencial de produção significativo em escala nacional, a mesma provou já ser capaz de atingir custos competitivos com o modal fóssil. Portanto, conclui-se que essa fonte pode desempenhar um papel fundamental no desenvolvimento da cadeia de hidrogênio verde no Brasil.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRELPE - Associação de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. c2021. Acessado em: 7 jul. 2022 Online. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas - Estações de Tratamento de Esgoto** (2013) (Planilha). 2013. Acessado em: 05 nov. 2021 Online. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/1d8cea87-3d7b-49ff86b8-966d96c9eb01>.
- CIUCHI, I. **Modelling of Hydrogen production systems through Steam Methane Reforming and CO₂ capture for industrial application**. 2019. 128f. Dissertação

(Mestrado em Inovação em Produção de Energia e Energia Nuclear) – Politécnico de Torino.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources: an introduction**. Weinheim: John Wiley & Sons; 2011, 2ed.

IEA – International Energy Agency. **Hydrogen in Latin America: From near-term opportunities to large-scale deployment**. 2021. Acessado em: 05 fev. 2022 Online. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/hydrogen-in-latin-america>.

IEA. **Techno-Economic Evaluation of SMR Based Standalone (Merchant) Hydrogen Plant with CCS**. Cheltenham, United Kingdom. 2017.

INL – Idaho National Laboratory. **HTGR-Integrated Hydrogen Production via Steam Methane Reforming (SMR): Process Analysis**. Idaho – United States of America. 2010.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas do Brasil: 1991-2020**. Brasília – DF. 2012. Acessado em: 28 set. 2021 Online. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>.

IPCC – International Panel on Climate Change. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 5, Waste**. Hayama – Japan, 2006.

IPCC. **Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories**. Hayama – Japan. 2000.

KELMAN, R. et al. Can Brazil Become a Green Hydrogen Powerhouse? **Journal of Power and Energy Engineering**, v.8, n.11, p. 21-32, 2020.

LOBATO, L. C. S. **Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico**. 2011. 187f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais.

MAXWELL, C. **Cost indices: Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)**. 2020 Acessado em: 02 nov. 2021 Online. Disponível em: <https://www.toweringskills.com/financial-analysis/cost-indices/#chemical-engineering-plant-cost-index-cepci>.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Mapeamento do setor de hidrogênio brasileiro: Panorama atual e potenciais para o hidrogênio verde**. Rio de Janeiro – RJ. 2021.

NAZIR, S. M. et al. Pathways to low-cost clean hydrogen production with gas switching reforming. **International Journal of Hydrogen Energy**. v.46, n.8, p. 20142-20158, 2020.

NOCK, W. J. et al. Modeling the Water Scrubbing Process and Energy Requirements for CO₂ Capture to Upgrade Biogas to Biomethane. **Industrial & Engineering Chemistry Research**. v.53; n.32. p.12783-12792. 2014.

SAUR, G.; MILBRANDT, A. **Renewable Hydrogen Potential from Biogas in the United States**. Golden, United States of America. 2014.

SILVEIRA, J.L.; GOMES, L.A. Fuel cell cogeneration system: a case of technoeconomic analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v.3, n.2-3, p. 233-242. 1999.

TOWLER, G.; SINNOTT, R. **Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design**. Burlington: Elsevier, 2008, 1ed.