

## PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO ATRAVÉS DA REFORMA A VAPOR DO BIOGÁS ORIUNDO DA VINHAÇA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Arthur De Almeida Martins (ITI/UEM), Diego Rafael Mágero Elihimas (Coorientador), Caliane Bastos Borba Costa (Orientadora). E-mail: [cbbcosta@uem.br](mailto:cbbcosta@uem.br).

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia (CTC), Maringá, PR.

**Área e subárea do conhecimento: Engenharia Química / Processos Industriais de Engenharia Química.**

**Palavras-chave:** Hidrogênio verde; Biocombustíveis; Bioenergia.

### RESUMO

Este trabalho avaliou a produção de hidrogênio através da reforma a vapor do biogás oriundo da vinhaça da cana-de-açúcar. A simulação do processo utilizou o software *Aspen Plus v.10* e dados de processos disponíveis na literatura atual. O processo foi capaz de produzir 590 kg/h de hidrogênio, com um percentual molar de 99,8% de  $H_2$ , em uma biorrefinaria que processa dois milhões de toneladas de cana-de-açúcar por ano, com uma safra de 200 dias. Desta forma, os resultados obtidos apontam que a reforma a vapor do biogás usando a vinhaça como matéria-prima é uma tecnologia promissora para a geração de hidrogênio limpo.

### INTRODUÇÃO

A busca por energias limpas e renováveis tem sido cada vez mais intensificada, principalmente por causa de mudanças climáticas e por políticas de descarbonização. O hidrogênio ( $H_2$ ) surge como uma fonte de energia mais sustentável e limpa que pode ser utilizada, por exemplo, em substituição aos combustíveis fósseis nos motores de combustão interna ou na produção de calor e geração de energia elétrica. Atualmente, a reforma a vapor do gás natural, um combustível fóssil composto de metano, é a principal tecnologia utilizada para a produção de  $H_2$  (Mah *et al.*, 2019).

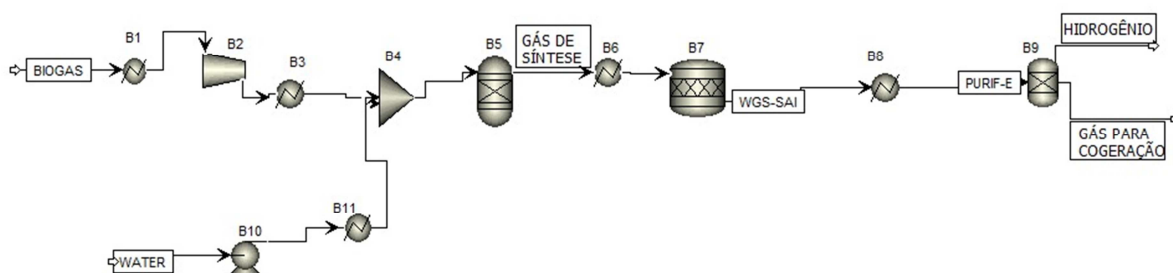
A cana de açúcar é um dos materiais mais utilizados para a produção de etanol, sendo possível ainda aproveitar resíduos do seu processo produtivo, como a vinhaça, para a obtenção de outros produtos de maior valor agregado. Além do seu uso em fertirrigação, a vinhaça tem um alto potencial para ser convertida em biocombustíveis, como biogás e hidrogênio, devido ao seu conteúdo orgânico. Dessa forma, seria possível obter hidrogênio limpo a partir da reforma do biogás gerado pela digestão anaeróbia da vinhaça.

A reforma do biogás oferece várias vantagens, incluindo o uso de recursos renováveis, baixa emissão de gases poluentes e aumento da diversidade de fontes de energia. Sendo assim, o presente trabalho tem como o seu principal objetivo avaliar a produção de hidrogênio verde através da reforma a vapor do biogás produzido pela digestão da vinhaça de cana-de-açúcar.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, foi considerada uma biorrefinaria produtora de etanol de primeira geração e produção de biogás a partir da vinhaça, como é descrito em Leme e Seabra (2017). A destilaria possui safra de 200 dias e processa dois milhões de toneladas de cana-de-açúcar por ano. Além disso, produz etanol hidratado como sua principal mercadoria, gerando 12 litros de vinhaça para cada litro de etanol formado. Assim, cerca de 510 m<sup>3</sup>/h de vinhaça são gerados e transformados para 5020 Nm<sup>3</sup>/h de biogás, cuja composição contém 60% de metano em mol (base seca). Assumiu-se que o H<sub>2</sub>S do biogás foi removido previamente e que o gás restante é composto apenas por CO<sub>2</sub>. Além disso, o biogás foi considerado saturado em água, com um percentual molar de água de 5,55% a 35 °C e 1 bar.

A simulação da reforma a vapor do biogás foi desenvolvida utilizando o software *Aspen Plus v.14* e dados de processo disponíveis na literatura. O modelo termodinâmico, o fluxograma de processo (Figura 1) e respectivos parâmetros foram baseados em Kourdourli *et al.* (2023).



**Figura 1** - Fluxograma do processo de reforma a vapor. Fonte: Adaptado de Kourdourli *et al.* (2023).

O primeiro reator (B5 na Figura 1) é um reformador, onde o biogás reage com vapor de água em excesso a 972 K e 10 atm para produzir gás de síntese, segundo a reação apresentada na Equação 1. Outras reações podem acontecer e, na simulação, foi utilizado um reator de Gibbs, considerando os possíveis produtos na saída do reator, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>.



O gás de síntese é, então, enviado para um reator (B7 na Figura 1), onde ocorre a reação de deslocamento gás-água (*Water gas shift*, WGS, Equação 2) à pressão de 10 atm e temperatura de 573 K, representado na simulação por um reator estequiométrico com 98% de conversão.



A corrente que deixa o segundo reator é enviada para o processo de purificação, realizado com membrana metálica a 723 K e 10 atm, modelada em um separador do tipo SEP. O processo tem eficiência de separação de 85% e gera uma corrente de hidrogênio com pureza superior a 99% e outra com os demais gases.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a simulação do processo ser concluída, foram analisadas principalmente as correntes apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Vazões mássicas dos componentes nas correntes simuladas.

Componente	Vazão mássica (kg/h)			
	Biogás	Gás de síntese	Hidrogênio	Gás para cogeração
<b>CH<sub>4</sub></b>	2.155,86	810,88	1,62	809,26
<b>CO<sub>2</sub></b>	3.942,76	4.947,68	15,15	7.563,58
<b>H<sub>2</sub></b>	0,00	553,04	572,53	101,03
<b>H<sub>2</sub>O</b>	234,83	5.575,94	0,00	4.498,91
<b>CO</b>	0,00	1.708,74	0,07	34,10

Conforme indicado na Tabela 1, o metano do biogás reagiu com vapor d'água no reformador e foi convertido em gás de síntese com vazão de 13.596 kg/h. O excesso de água no reformador favorece a produção de hidrogênio. A composição molar obtida foi de 6% de CH<sub>4</sub>, 21% de CO<sub>2</sub>, 30% de H<sub>2</sub>O, 41% de H<sub>2</sub> e 0,15% de CO. É possível, ainda, observar o consumo de CO e água para aumentar a produção de hidrogênio e, conseqüentemente, de CO<sub>2</sub> na etapa de WGS. Por fim, após a

purificação, foi possível obter uma corrente de hidrogênio com vazão de 590 kg/h e percentual molar de 99,8% de  $H_2$ . Esse hidrogênio pode ser utilizado na mesma biorrefinaria que o produziu ou pode ser comprimido e armazenado para demais usos.

A outra corrente gerada na membrana metálica possui vazão de 13.006 kg/h e composição molar de 9,6% de  $CH_4$ , 32,8% de  $CO_2$ , 47,7% de  $H_2O$ , 9,5% de  $H_2$  e 0,2% de  $CO$ . Dessa forma, esse gás pode ser direcionado para uma unidade de cogeração para gerar calor e/ou eletricidade.

## CONCLUSÕES

Neste estudo, foi simulado o processo de produção de hidrogênio através da reforma a vapor do biogás proveniente da vinhaça de cana-de-açúcar. Com este modelo, foi possível obter um processo que gera cerca de 590 kg/h de  $H_2$  em uma planta que processa 6.333,47 kg/h de biogás. O resultado desta produção pode ser comercializado ou utilizado em outros diversos processos que necessitam de hidrogênio para acontecer.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Universidade Estadual de Maringá (UEM), da empresa Origem Energia S.A., da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), código de financiamento 001 e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processos nº 141891/2023-8 e 307958/2021-3.

## REFERÊNCIAS

KOURDOURLI, F. *et al.* Modeling of hydrogen production from biomass bio-digestion under Aspen Plus. **Computers & Chemical Engineering**, v. 175, p. 108273, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2023.108273> Acesso em: 23/04/2024

LEME, R. M.; SEABRA, J. EA. Technical-economic assessment of different biogas upgrading routes from vinasse anaerobic digestion in the Brazilian bioethanol industry. **Energy**, v. 119, p. 754-766, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.029> Acesso em: 19/08/2024

MAH, A. X. Y. *et al.* Review of hydrogen economy in Malaysia and its way forward. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, n. 12, p. 5661-5675, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.01.077> Acesso em:

33º Encontro Anual de Iniciação Científica  
13º Encontro Anual de Iniciação Científica Júnior



10 e 11 de Outubro de 2024

23/08/2024

