Encontro Nacional do Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP - 2026

Produção de hidrogênio por processo fermentativo integrado com eletrólise microbiana usando biomassa como matéria-prima

Gabriel Facundo Simão

Orientadora: Prof.ª Dra. Maria Valderez Ponte Rocha

Coorientadora: Prof.ª Dra. Carla Luzia Borges Reis

PRH 31

Tipo de bolsa: Mestrado

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Laboratório de Bioengenharia e Valorização da Biomassa (LBVBio)

Gestão:

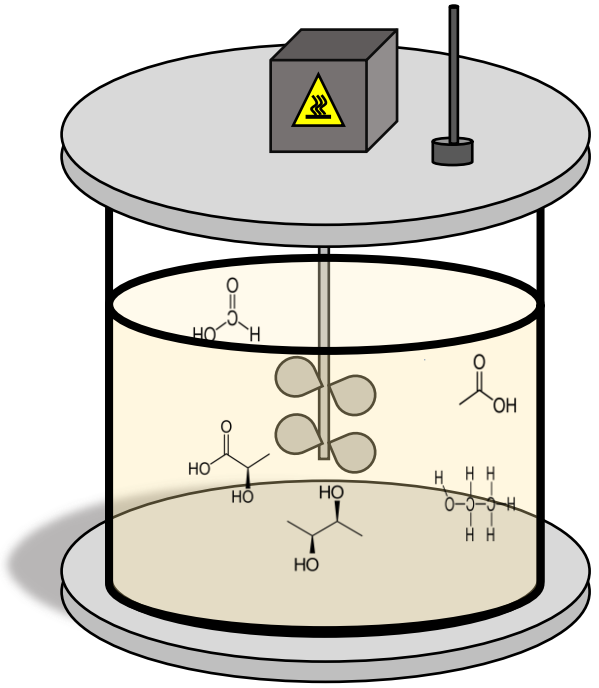
FERMENTAÇÃO ESCURA E ELETRÓLISE MICROBIANA: POR QUE INTEGRAR?

Problema de Pesquisa

A fermentação escura do hidrolisado de bagaço de caju produz H_2, mas seu efluente ainda contém matéria orgânica aproveitável. Em que medida a integração com uma CEM pode ampliar a produção total de H_2?

Objetivo

Desenvolver e avaliar um processo integrado de produção de bio-hidrogênio, combinando fermentação escura e célula de eletrólise microbiana, com cátodos de ferro e zinco, utilizando o hidrolisado ácido do bagaço de caju como fonte de carbono.



#1 Motivação do trabalho e aplicação no setor de petróleo e energia



Produzir hidrogênio a partir do bagaço de caju

BIO-HIDROGÊNIO NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

US$ 2,2 tri

Investimentos previstos para energia limpa – 2026 (IEA)

quase 2x os fósseis

H_2 NA TRANSIÇÃO

> 103 Mt

Demanda global - 2025
≈ 1 Mt de baixa emissão

Vetor energético - insumo industrial

ROTAS DE BIO-H_2

- Biofotólise
- Fotofermentação
- Fermentação escura
- CEM

Neste trabalho: DF → CEM

BAGAÇO DE CAJU

≈ 413,1 kt

Bagaço de caju estimado no Brasil - 2025



HIDROGÊNIO: USOS ATUAIS E OPORTUNIDADES PARA O SETOR PETROLÍFERO

Produção em 2025 foi cerca de 103 Mt

Aplicações tradicionais somaram 98,9% do emprego do hidrogênio em 2025 (IEA)

Refino 42,7 %

Processos de refino de petróleo.

Fertilizantes 33 %

Produção de amônia e outros fertilizantes.

Novas aplicações do hidrogênio ainda compreendem cerca de 1,1 %

Transporte pesado

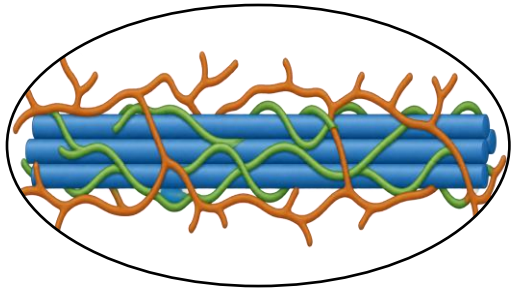
Células a combustível

Uso do bagaço de caju
Diversificação da matéria-prima

Bioenergia sólida e resíduos
13% do crescimento da demanda energética em 2025 (IEA)

OPORTUNIDADE PARA O SETOR PETROLÍFERO

Menor demanda elétrica externa que a eletrólise da água*



. Celulose (19,7 m/m %)
. Hemicelulose (19,2 m/m %)
. Lignina (33,4 m/m %)

*Swaminathan et al. (2024)

Produção de hidrogênio por processo fermentativo integrado com eletrólise microbiana usando biomassa como matéria-prima
Gabriel Facundo Simão – Tipo de Bolsa: Mestrado

#2 Processo integrado de produção de hidrogênio



Fermentação escura integrada à célula de eletrólise microbiana

HIDROLISADO DO CAJU E FERMENTAÇÃO ESCURA

1 PREPARAÇÃO E HIDRÓLISE ÁCIDA

1 Lavagem e secagem

60 °C • 24 h

2 Moagem e peneiramento

20–80 mesh
0,841–0,177 mm

3 Hidrólise ácida

H_2SO_4 0,6 mol L^{-1} • 20% (m/v)
121 °C • 30 min

4 Ajuste e filtração

$Ca(OH)_2$ até pH 7,0 ± 0,2
Membrana de 0,45 µm

HABC OBTIDO | **111,0 mL / 40 g secos** | **Glicose 15,1 ± 0,5 g L^{-1}** | **Xilose 15,2 ± 1,6 g L^{-1}** | **84,1 g de açúcares kg^{-1}**

2 FERMENTAÇÃO ESCURA E CEM

5 Preparo do meio

HABC 15 g L^{-1} • 20 mL *E. cloacae* [1] • 180 mL de HABC

6 Fermentação escura

32 °C • sem agitação • 48 h
E.cloacae

547,8 mL H_2 L^{-1} • 21,3% H_2

7 CEM

Efluente centrifugado • S. *putrefaciens*
1,0 V • 96 h • cátodos Fe/Zn

Ferro +33,9% • Zinco +16,3%

8 Análises

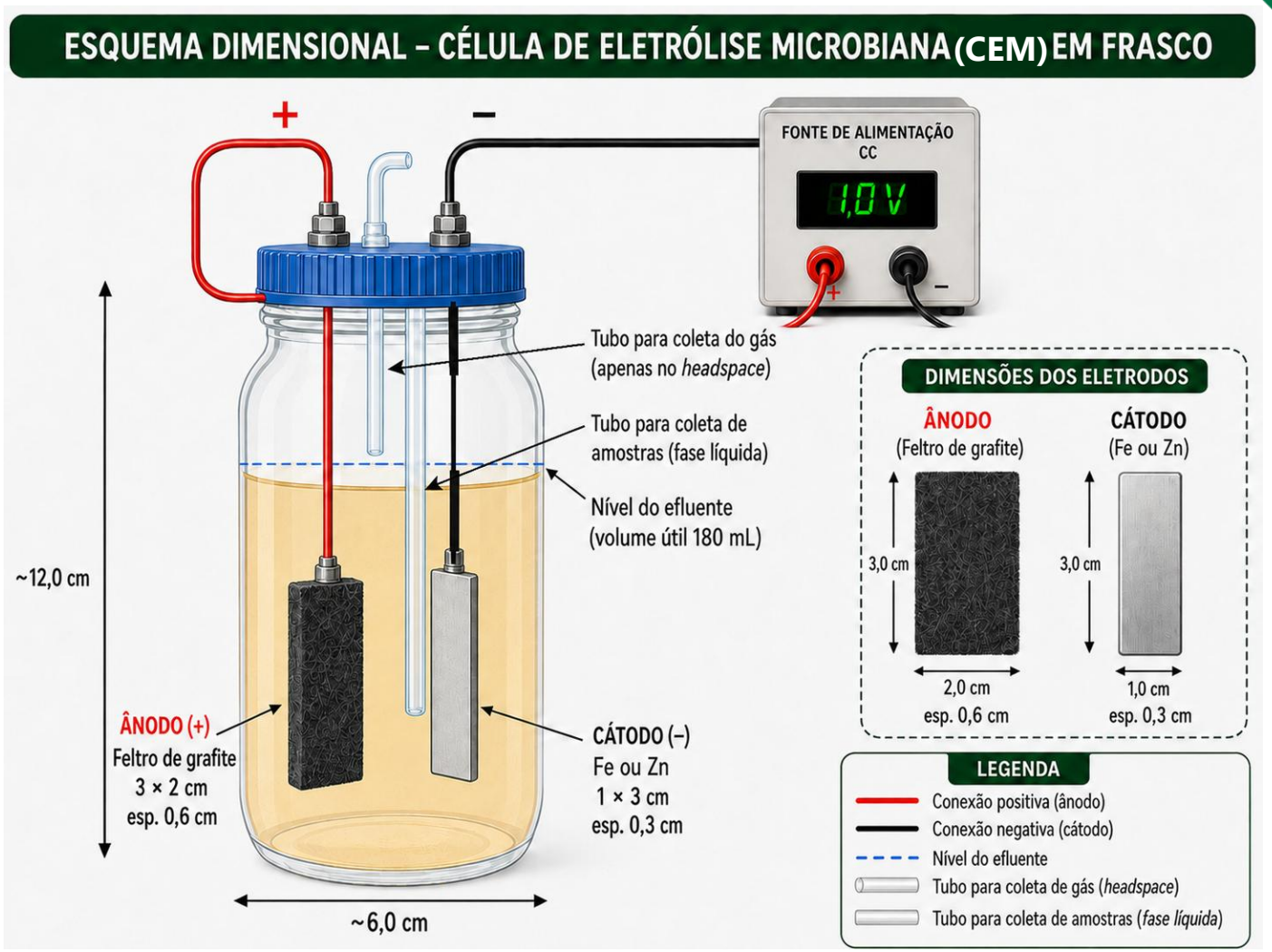
GC: fase gasosa
HPLC: fase líquida

Produção de hidrogênio por processo fermentativo integrado com eletrólise microbiana usando biomassa como matéria-prima

Gabriel Facundo Simão – Tipo de Bolsa: Mestrado

CONFIGURAÇÃO DA CEM



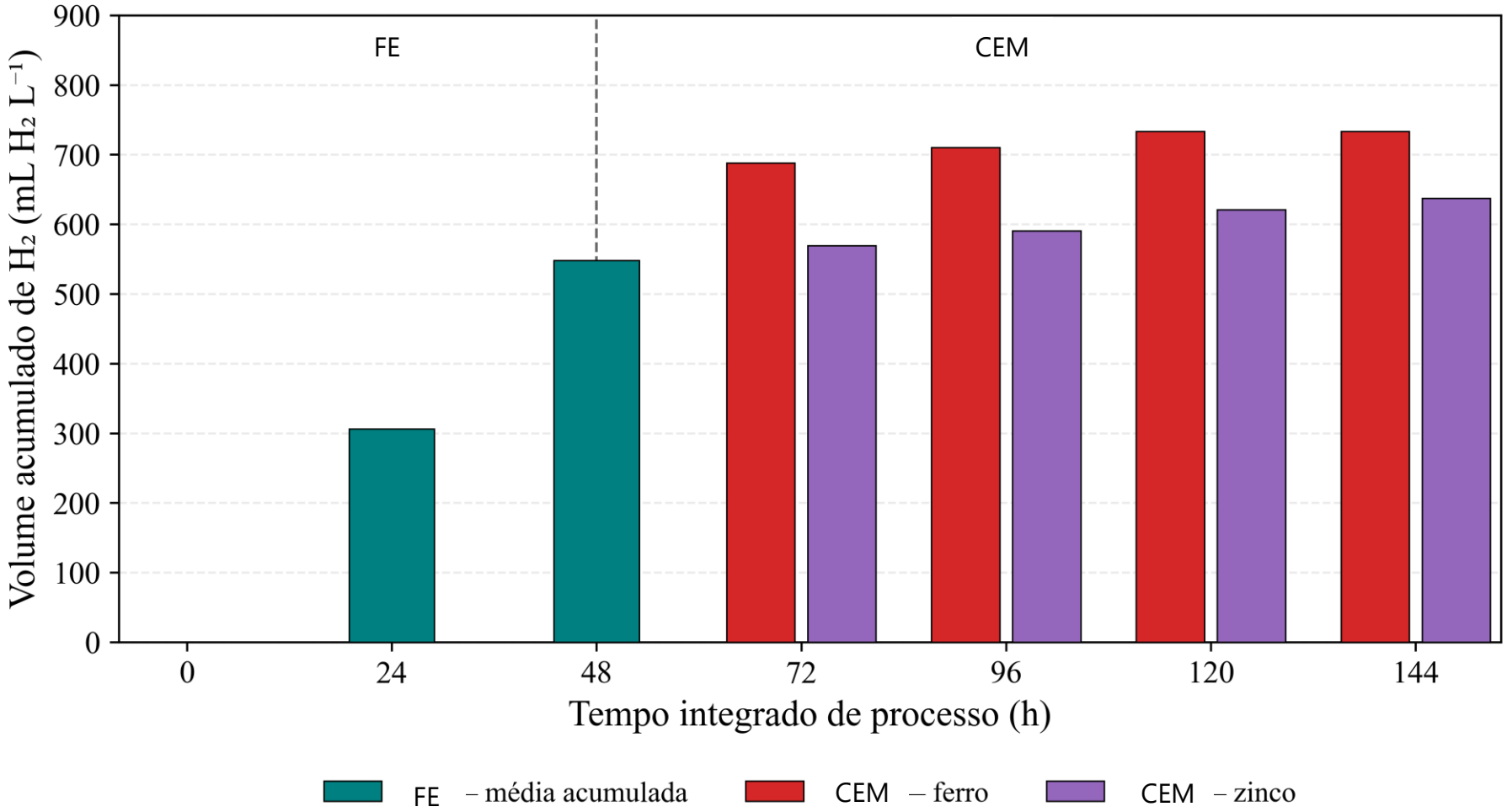


#3 Desempenho do processo integrado

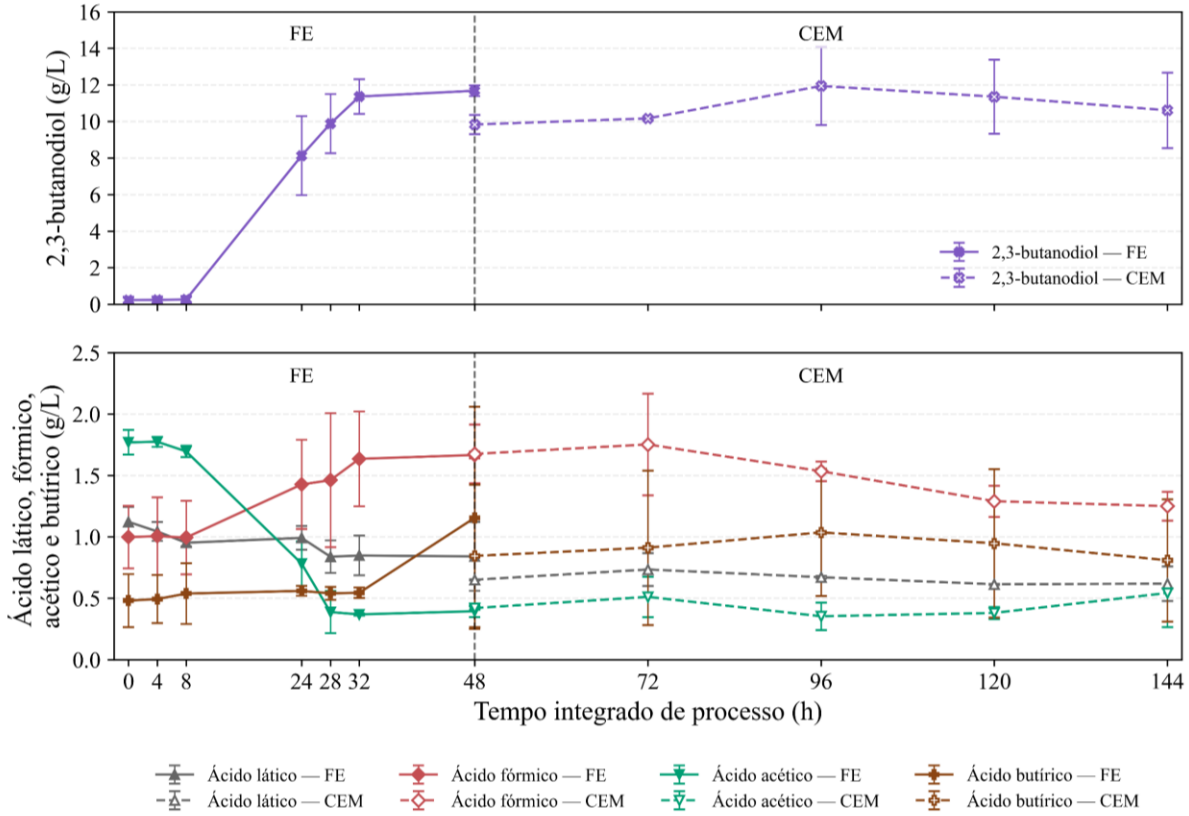


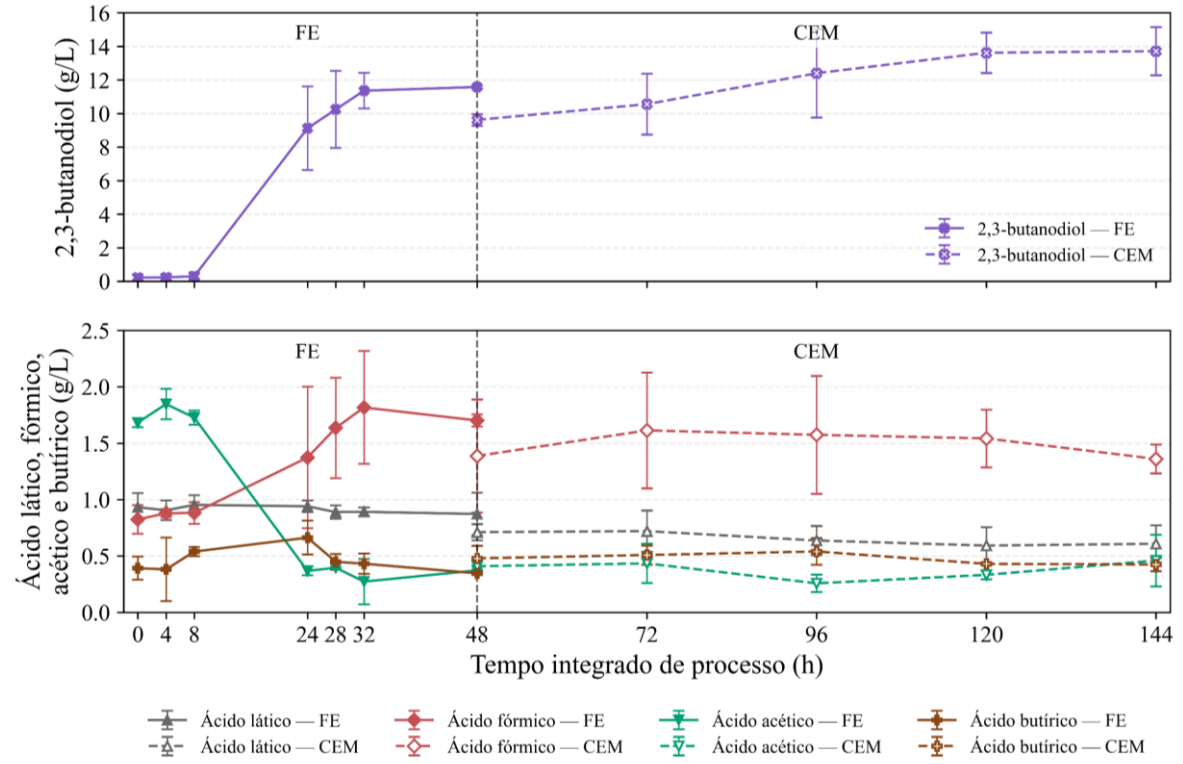
Produção de H_2 na fermentação escura e na CEM

EVOLUÇÃO DO VOLUME ACUMULADO DE H_2 NAS ETAPAS DE FERMENTAÇÃO ESCURA E CEM COM CÁTODOS DE FERRO E ZINCO.



PERFIL DE METABÓLITOS FASE LIQUIDA DA CEM



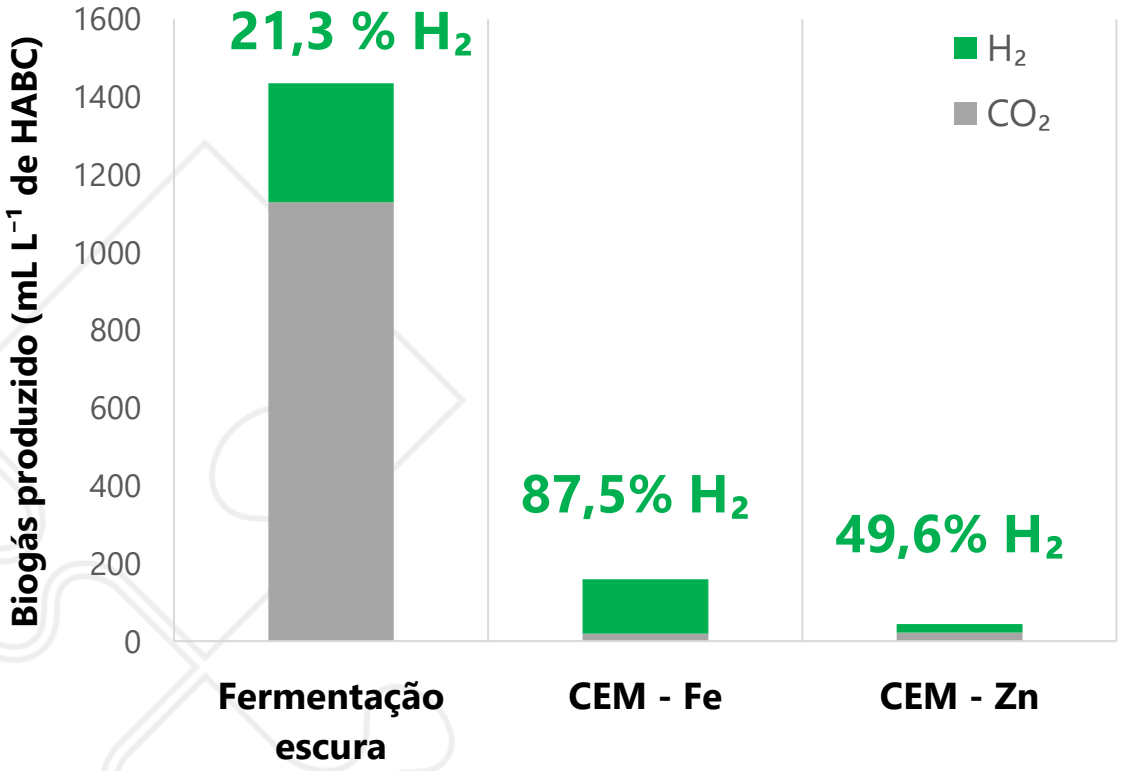


Ferro: ≈ 20% redução aparente total dos ácidos monitorados

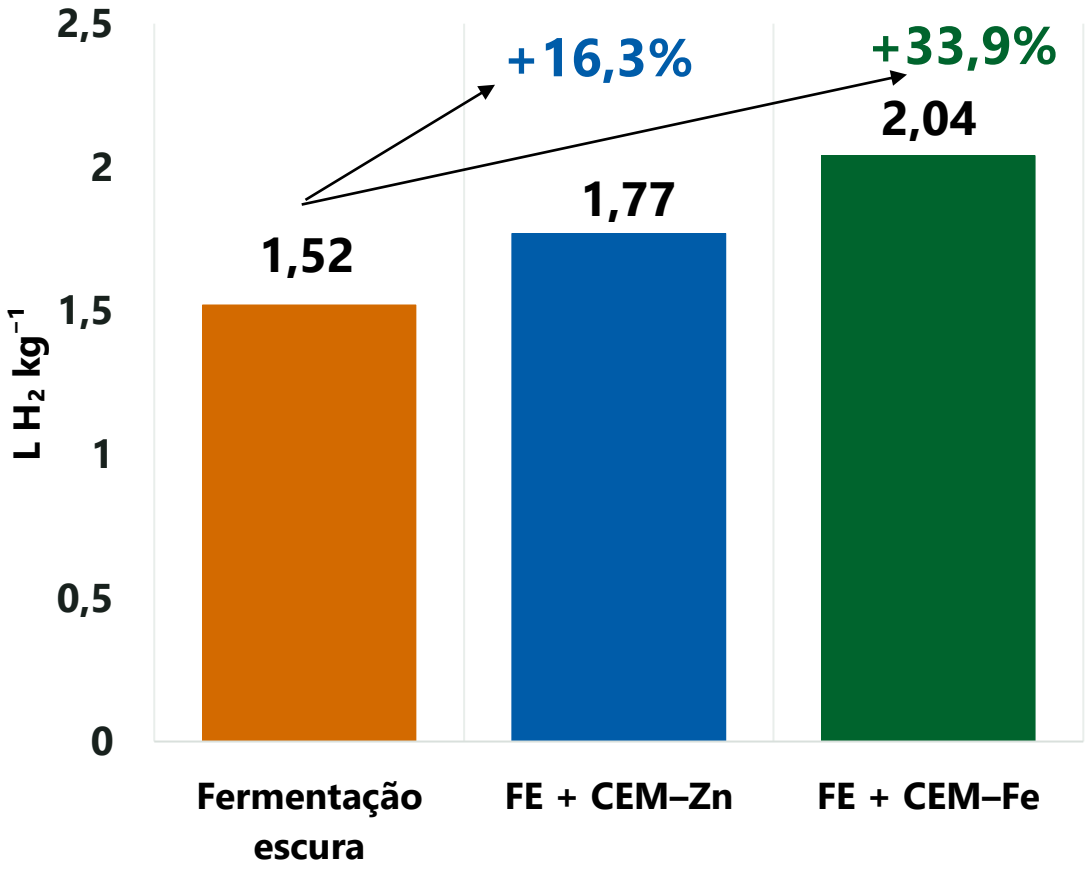
Zinco : ≈ 13% redução aparente total dos ácidos monitorados

A CEM AUMENTOU O RENDIMENTO GLOBAL DE H_2 DO BAGAÇO

VOLUME E COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS EM 24 H.



AUMENTO DO H_2 ACUMULADO EM RELAÇÃO À DF



Rendimento estimado de H_2

Produção de hidrogênio por processo fermentativo integrado com eletrólise microbiana usando biomassa como matéria-prima

Gabriel Facundo Simão – Tipo de Bolsa: Mestrado

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. **A CEM permitiu aproveitar o potencial energético contido no efluente de fermentação escura, demandando menos energia externa e incrementando a produção de H_2.**
2. **Cátodos metálicos não nobres elevaram o rendimento global estimado de H_2 para 1,77 L kg^{-1} com zinco e 2,04 L kg^{-1} de bagaço seco com ferro, correspondendo a incrementos de 16,3% e 33,9%, respectivamente.**
3. **Valorização de uma biomassa residual regional como matéria-prima para a produção de H_2.**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

LBVBIO

LABORATÓRIO DE BIOENGENHARIA E VALORIZAÇÃO DE BIOMASSA

prh anp 31/UFC

Gabriel Facundo Simão

Dados para contato

gabrielsimao9@gmail.com

https://www.linkedin.com/in/gabriel-simao/



prh anp

anp | Gestão: FAPESP