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

Avaliação técnico-econômica e ambiental de rotas de produção de hidrogênio integradas à síntese de metanol em usinas sucroenergéticas

Nome: Thayná Vitória Vasconcellos

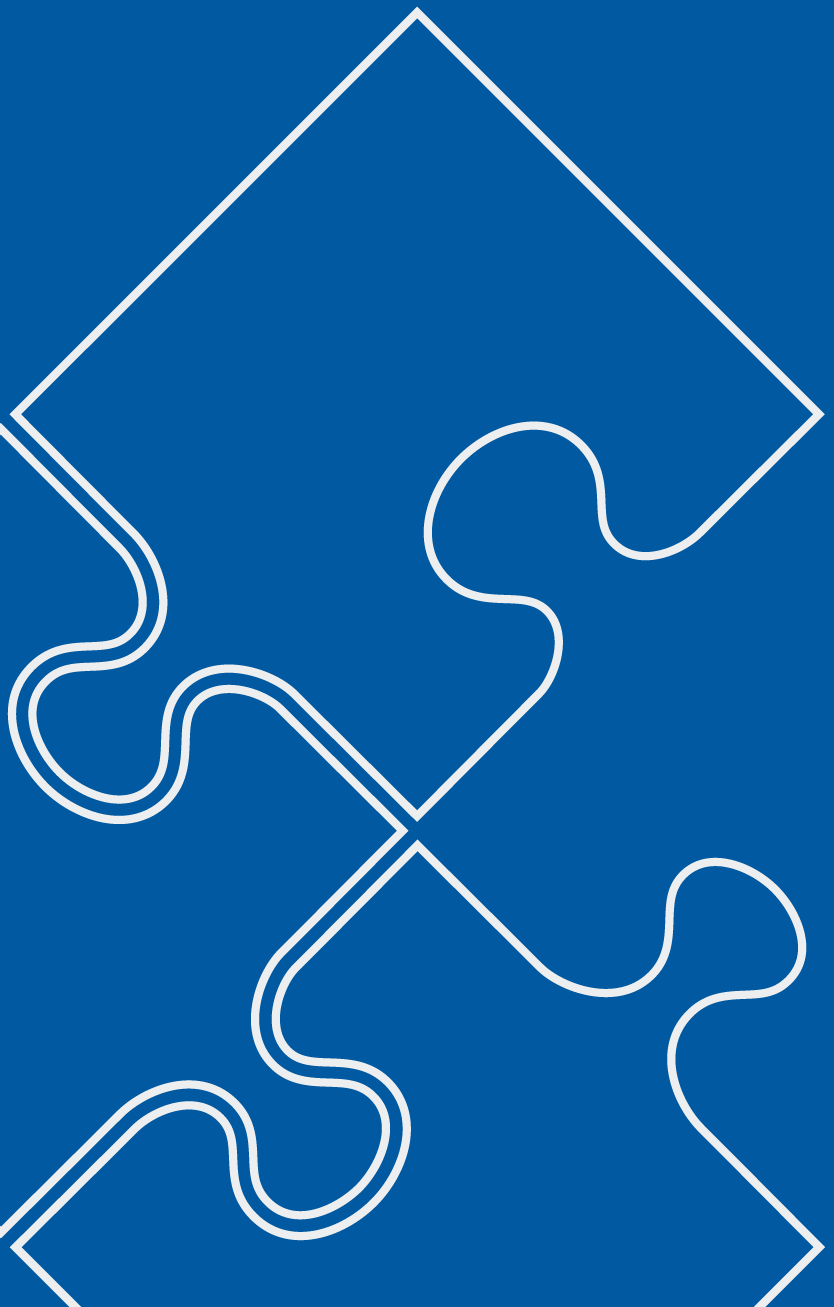
Orientador: Dr. Rafael Capaz e Regina Mambeli

PRH 46/UNIFEI

Tipo de bolsa: Mestrado

Universidade Federal de Itajubá

Gestão:



1

Contextualização e objetivos

Motivação e direcionamento da pesquisa

MOTIVAÇÃO

≈ 850 mil t

de **metanol** importado pelo Brasil (EPE, 2024)

34 Mt

de CO_2 biogênico com **potencial de captura** na safra 2023/2024 (BNDES; CGEE, 2025)

3,4–23,7%

da demanda de H_2 para metanol atendida pelo excedente elétrico da usina

(Restrepo-Valencia et al., 2025)

O gargalo é o hidrogênio renovável.

PERGUNTA DE PESQUISA E HIPÓTESE

PERGUNTA CENTRAL

Qual rota de produção de H_2 integrada às usinas sucroenergéticas apresenta maior viabilidade técnica, econômica e ambiental para a produção de metanol?

HIPÓTESE

A integração de H_2 produzido a partir da vinhaça pode complementar ou apresentar maior viabilidade que a eletrólise para a produção de metanol.

Thayná Vasconcellos - Mestrado
PRH 46/UNIFEI

OBJETIVOS

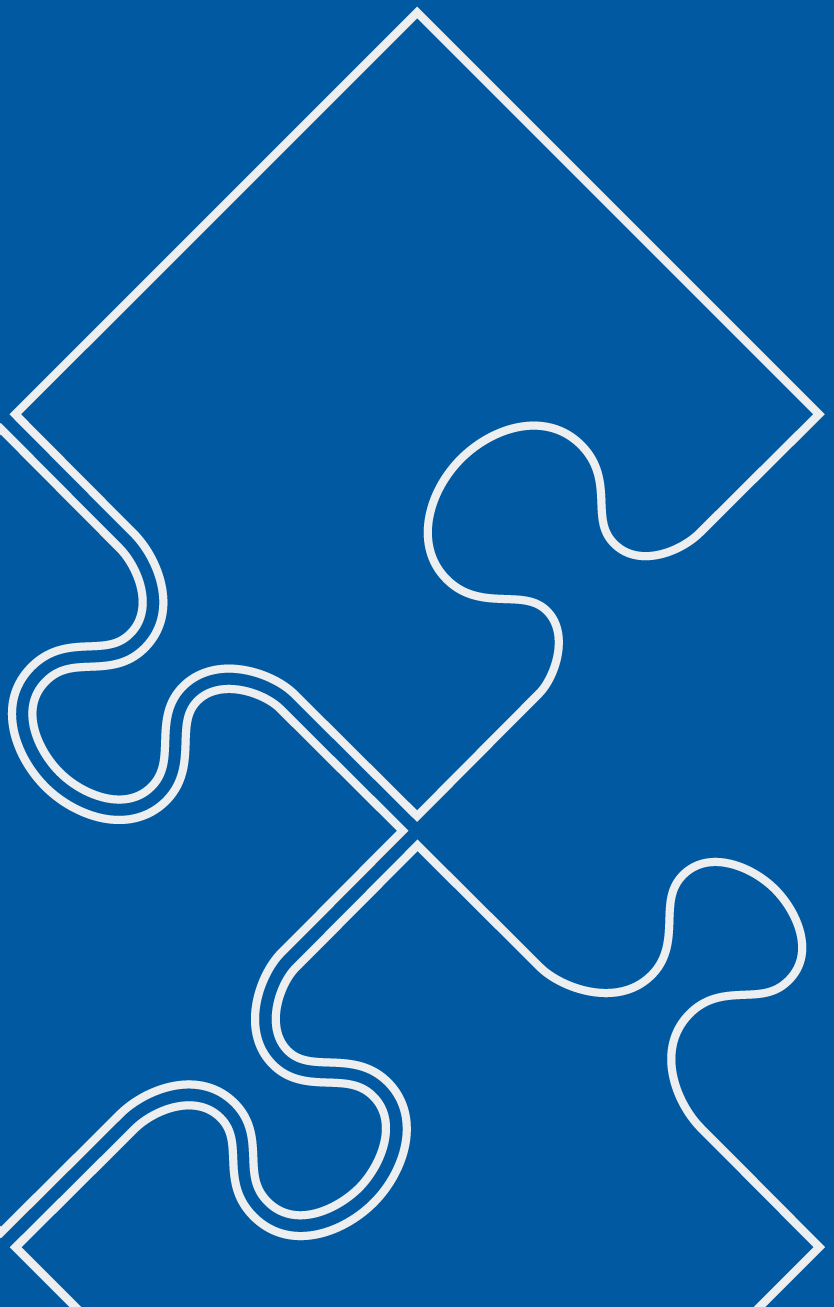
OBJETIVO GERAL

Modelar e avaliar a viabilidade técnica, ambiental e econômica da produção de metanol a partir de diferentes rotas de hidrogênio integradas às usinas sucroenergéticas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Modelar a integração das duas rotas de H_2 ao CO_2 biogênico em 71 usinas autônomas: eletrólise da água e reforma do biometano da vinhaça;
2. Estimar os indicadores econômicos: CAPEX, OPEX e custo nivelado do metanol (LCOMeOH);
3. Realizar a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para quantificar a intensidade de carbono e o potencial de descarbonização.

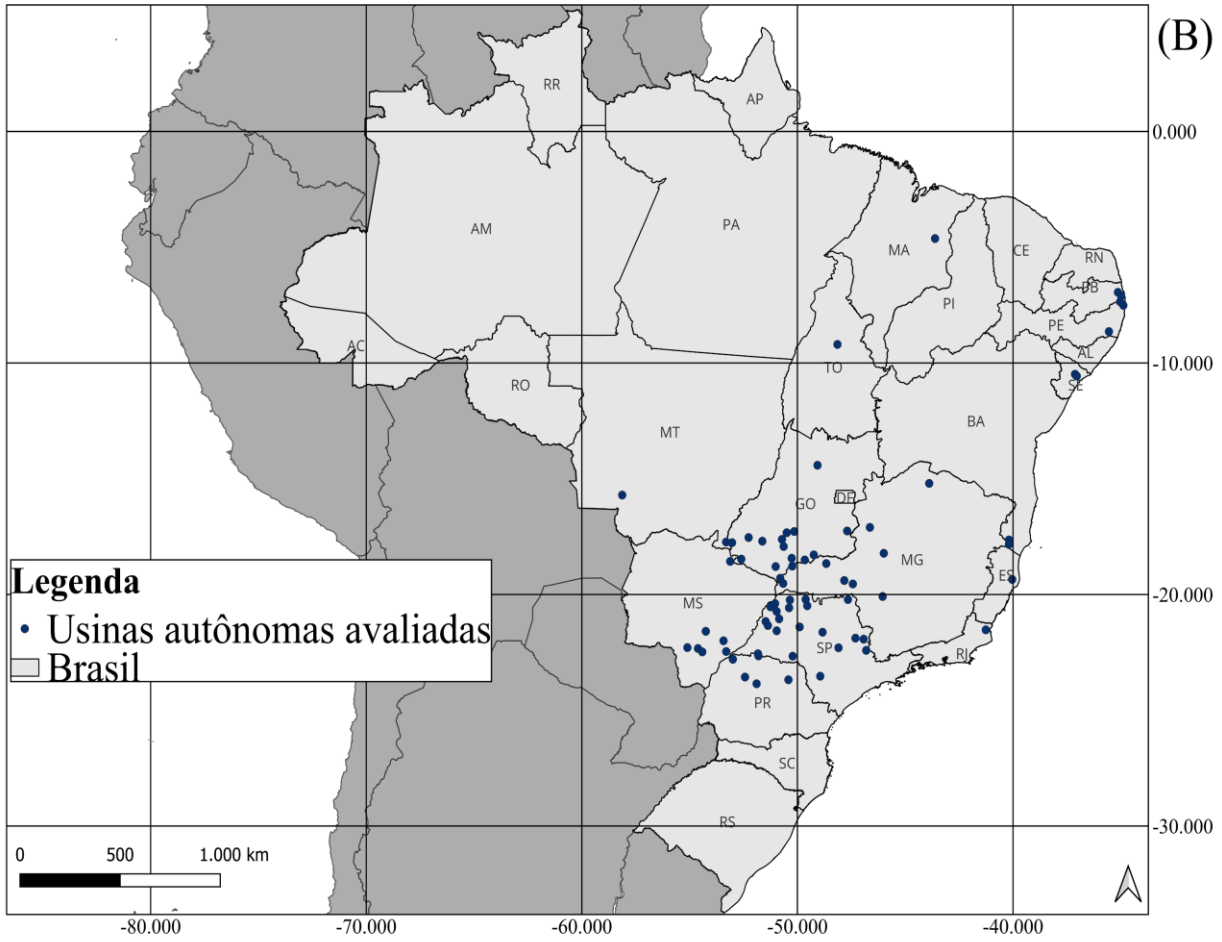
Thayná Vasconcellos - Mestrado
PRH 46/UNIFEI



2

Metodologia

METODOLOGIA



1 Seleção

71 usinas autônomas (SAFmaps, ANEEL, ANP; base 2020)

2 Balanços

de massa e energia por usina

3 Síntese

$CO_2 + 3H_2 \rightarrow CH_3OH + H_2O$

4 Avaliação

ACV e análise econômica

CENÁRIO 1 · Eletrólise

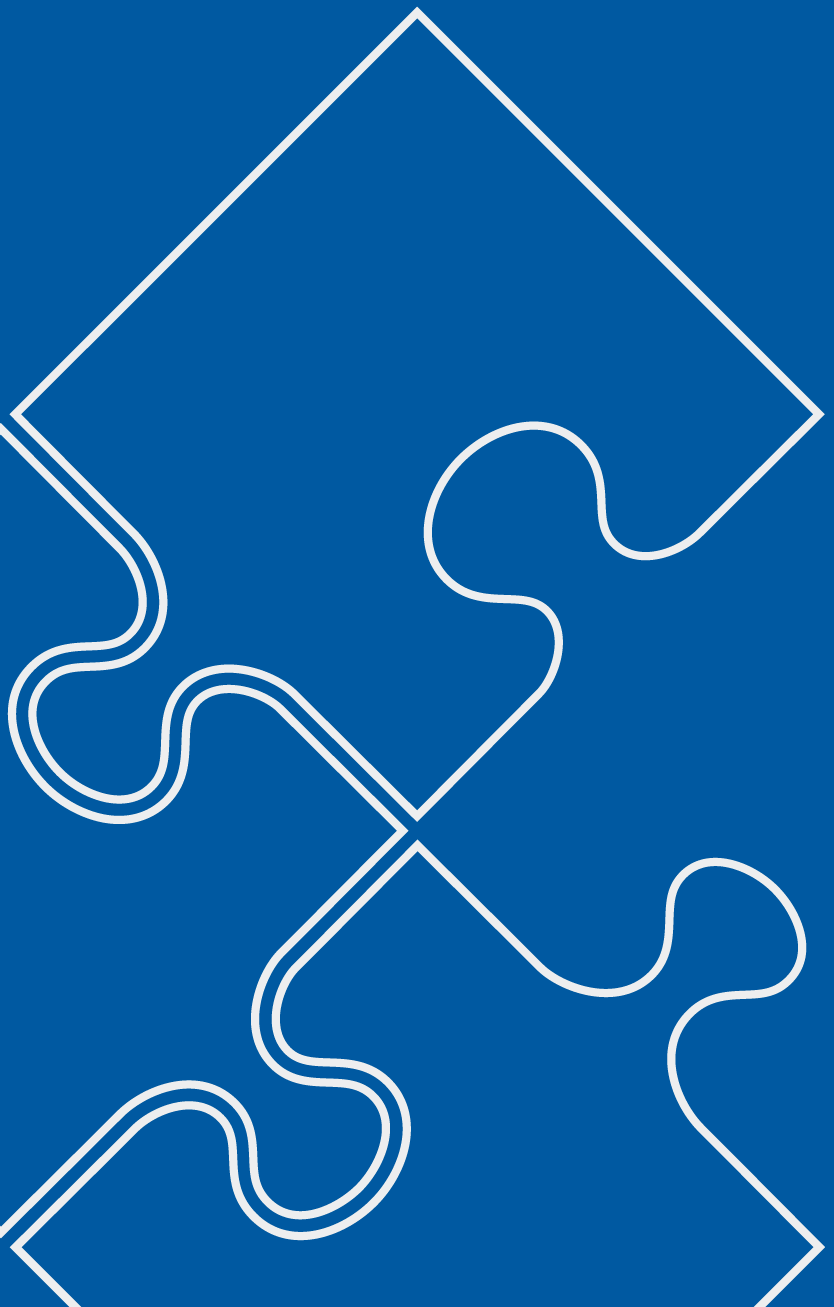
Eletrolisador PEM alimentado por 60% da eletricidade excedente da cogeração com bagaço.

CENÁRIO 2 · Vinhaça

Digestão anaeróbia → biometano → reforma a vapor → water-gas shift → PSA. Premissas: 12 L de vinhaça/L de etanol; 80 L de etanol/t de cana.

ACV: cradle-to-gate, OpenLCA, ecoinvent 3.6, ReCiPe 2016 Midpoint (H), Mudanças Climáticas.

Econômica: CAPEX, OPEX e LCOMeOH.



3

Resultados obtidos e esperados

Resultados parciais, contribuições esperadas da pesquisa e limitações

RESULTADOS OBTIDOS E ESPERADOS

Rota por eletrólise

Potencial de produção de metanol

0,53

Mt/ano

Intensidade de carbono

34,4 – 56,5

gCO_2e/MJ entre as 71 usinas

Frente ao metanol convencional

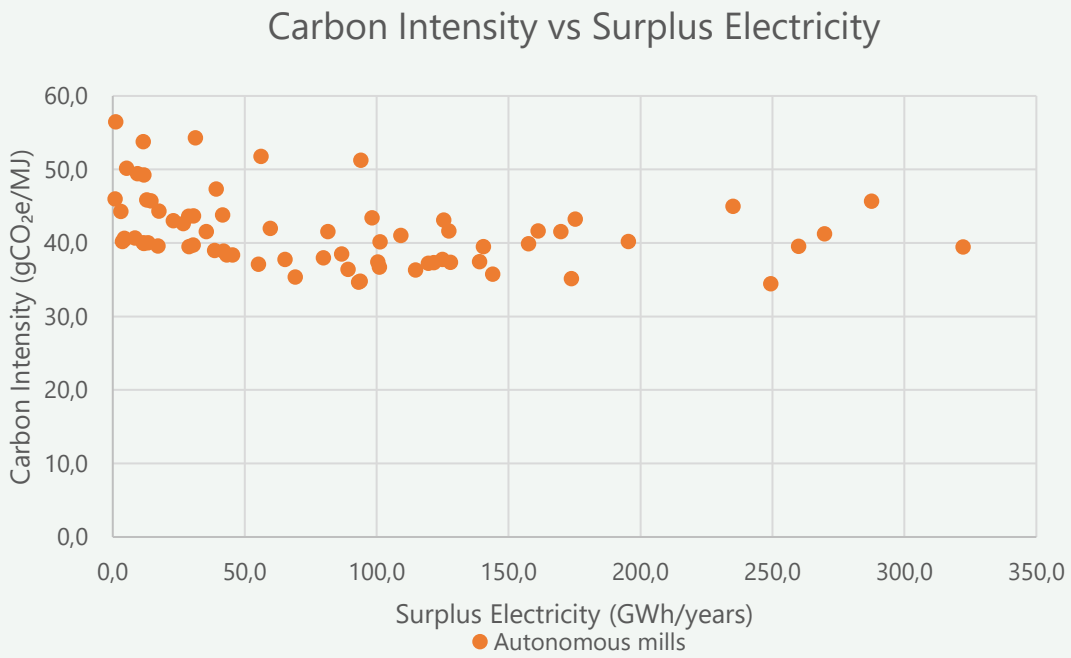
Redução de

49% a 69%

em relação ao metanol produzido via gás natural (110 gCO_2e/MJ)

Mais eletricidade excedente renovável, menor intensidade de carbono.

RESULTADOS OBTIDOS E ESPERADOS



O que isso nos diz

Mais excedente elétrico renovável → menor intensidade de carbono.

Mais H_2 renovável disponível → maior potencial de produção de metanol.

Usinas do mesmo porte apresentam intensidades diferentes, devido às diferenças de eficiência energética e tecnologia.

E agora?

A vinhaça pode ampliar essa oferta de H_2? É o que estamos avaliando no Cenário 2.

Thayná Vasconcellos - Mestrado
PRH 46/UNIFEI

LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Discrepância Temporal dos Dados

Base de 2020 e premissas médias do setor (80 L de etanol/t de cana; 12 L de vinhaça/L de etanol).

Amostra Restrita de Usinas

O cruzamento consistente de dados operacionais e de geração outorgada reduziu a amostragem final para 71 usinas de etanol de cana

Modelagem Operacional

O modelo assumiu uma operação média fixa durante 200 dias de safra, sem considerar variabilidade.

Gargalo Energético

A limitação da energia excedente impede que as usinas aproveitem todo o CO_2 gerado, deixando a maior parte do potencial biogênico inexplorado

APLICAÇÃO NO SETOR E CONCLUSÃO

Tecnológico

Integração de processos em biorrefinarias

Operacional

Uso da vinhaça e do CO_2 já disponíveis na usina

Financeiro

Produto de maior valor agregado e menor importação de metanol

A rota por eletrólise já reduz de 49% a 69% a intensidade de carbono do metanol. Espera-se demonstrar que valorizar a vinhaça amplia a oferta de H_2 renovável e aumenta a atratividade financeira, além de oferecer subsídios para a tomada de decisão.

Thayná Vasconcellos - Mestrado
PRH 46/UNIFEI

prh anp 46/UNIFEI

Thayná Vitória Vasconcellos

Dados para contato

Email: d2018010305@unifei.edu.br

Linkedin:


prh anp


anp
Gestão:
FAPESP