



Avaliação técnico-econômica da captura do CO₂ proveniente da fermentação no setor sucroalcooleiro

João Rubens Souza Rodriguez*, Joaquim Eugênio Abel Seabra

Resumo

Neste trabalho de Iniciação Científica é analisado de forma técnica e econômica o processo de sequestro de dióxido de carbono emitido na fase de fermentação durante a produção de etanol a fim de se obter o preço mínimo de venda do CO₂.

Palavras-chave

BECCS, Fermentação, Cana-de-açúcar

Introdução

No processo de produção de etanol, na fase de fermentação, uma quantidade significativa de CO₂ é produzida e que pode ser capturada para seu aproveitamento econômico. Aqui é apresentada uma análise técnico-econômica do processo de sequestro, baseada em simulações computacionais, tanto do ciclo de cogeração comumente encontrado nas usinas sucroalcooleiras quanto da compressão do CO₂, e nos custos iniciais e operacionais do sistema de compressão.

Simulação

Para a simulação foi inicialmente utilizado o software *Aspen Plus*®, porém, por dificuldades operacionais da empresa AspenTech em decorrência da pandemia de COVID-19, a licença de uso do software, que expirou em maio, não pôde ser renovada a tempo. Então a simulação teve que ser feita em outro software. Em decorrência da disponibilidade e experiência prévia do aluno, a modelagem foi refeita utilizando o *Engineering Equation Solver* (EES).

O combustível utilizado no ciclo é o bagaço residual do processamento da cana-de-açúcar. A usina de referência trabalha com 4 milhões de toneladas de cana por safra e um fluxo de 896 toneladas de cana processadas por hora. O rendimento de bagaço é de 280 kg por tonelada de cana, tendo assim a vazão de 250,88 toneladas de bagaço por hora.

O ciclo de cogeração da usina foi então modelado a partir desse fluxo de combustível. A figura 1 representa o ciclo com a recaptura e na tabela 1 estão os parâmetros de operação das componentes.

Com base na temperatura de operação da caldeira, 480°C, vazão e no PCI do bagaço da cana (50% de umidade) foi calculada a vazão máxima de 538,92 t/h de vapor saturado. Esse vapor é utilizado para geração de potência, correntes 1 e 3, para o processamento da cana, corrente 4, para geração de calor, corrente 6, e para desaeração, corrente 11.

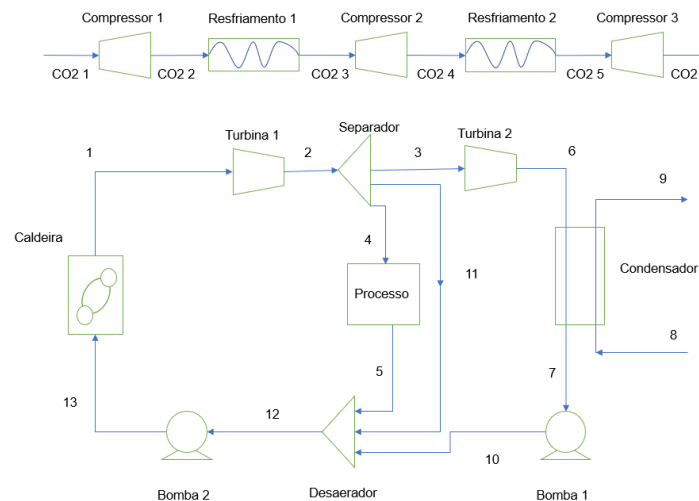


Figura 1: Ciclo de cogeração e sistema de captura simulados

Tabela 1: Parâmetros de operação do ciclo de cogeração e do sequestro

Componente	Pressão de operação [bar]	Eficiência
Caldeira	68	0,81
Turbina 1	2,5	0,72
Turbina 2	0,135	0,72
Bomba 1	2,5	0,81
Bomba 2	68	0,81
Compressor 1	4,64	0,85
Compressor 2	21,54	0,85
Compressor 3	100	0,85

O sequestro do CO₂ é efetuado em três etapas de compressão com interresfriamento. O gás deixa as dornas de fermentação a 1 bar e 27°C e é comprimido em três estágios onde a razão de compressão é a mesma até atingir a pressão de 100 bar.

Os trocadores foram modelados como simples dissipadores de calor que resfriam o gás até a temperatura ambiente, assim reduzindo o custo energético da compressão.

Tendo a vazão de cana e o rendimento de CO₂, pode-se calcular qual a vazão de gás. Cada tonelada de cana processada rende 67,85 kg de gás (BNDES, 2006), e com a vazão de 896 t/h, temos um fluxo de dióxido de carbono de 60,79 t/h.

Análise Energética

Feita a simulação foi calculado que a potência gerada no ciclo é de 89061,3 kW. Se for acoplado o sistema de sequestro de CO₂, essa potência disponível cai para 82917,28 kW. Se dividirmos as potências pela vazão de cana, teremos a geração de eletricidade em kWh por tonelada de cana (tc). Deve-se também levar em conta que o processo da usina demanda 30 kWh/tc, resultando em um excedente de 69,4 kWh/tc sem a captura do CO₂ e 62,5 kWh/tc com a captura do CO₂. Essa diferença de eletricidade exportada terá impacto no preço final de venda do gás.

Análise Econômica

Sendo preço de venda do kWh igual a R\$ 200,00, vemos que com a recaptura do CO₂ deixa-se de faturar R\$ 1.380,00 com a venda da eletricidade, valor que deverá ser compensado no preço final de venda do gás.

O custo de instalação do sistema de captura é estimado em R\$ 98.700.000,00 e busca-se recuperar esse investimento em 25 anos, que é o tempo de operação previsto da usina, a uma taxa de desconto anual de 12%. Utilizando a equação 1, pode-se calcular o valor de cada prestação anual.

$$pmt = \frac{pv \cdot i}{1 - (1+i)^{-n}} \quad (1)$$

Onde *pmt* é a prestação, *pv*, o capital presente, *i* a taxa de desconto e *n* o período. Fazendo esse cálculo, a prestação é de R\$12.584.247,02 ao ano.

Resultados e Discussão

O preço final mínimo de venda do dióxido de carbono é composto a partir da redução na venda de eletricidade e nas parcelas anuais para pagar o investimento inicial. A usina deixa de ganhar R\$ 1.380,00 por hora por causa do consumo extra do sistema de recaptura, fazendo com que seja necessário cobrar R\$ 22,70 por tonelada de gás para compensar. Operando 4.464 horas por ano, a massa total de gás capturado é de 271.367,56 toneladas. Dividindo o valor da prestação anual pela massa total, tem-se necessário cobrar R\$ 46,36 por tonelada. Somando os dois valores, o primeiro compensando o gasto energético extra e o segundo para recuperar o investimento inicial, temos que o preço mínimo do CO₂ é de R\$ 69,06.

Conclusão

Nesse projeto foi estipulado o preço mínimo de venda de dióxido de carbono a fim de cobrir tanto o investimento inicial quanto o custo energético do sequestro. Já que esse preço é o mínimo, deve-se considerar que o investimento será inteiramente remunerado, porém, com lucro econômico zero. Pode-se observar que o preço mínimo obtido é extremamente viável, indicando o potencial econômico da tecnologia de BECCS.

Referências

- Alves, M., Ponce, G. H. S. F., Silva, M. A., & Ensinas, A. V. (2015). Surplus electricity production in sugarcane mills using residual bagasse and straw as fuel. *Energy*, 91, 751–757. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.08.101>
- BNDES. (2008). Biblioteca Digital Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável Coordenação BNDES e CGEE.