

DESENVOLVIMENTO DE UM HIDROCICLONE PARA REMOÇÃO DE PARTÍCULAS DE ENXOFRE DE UM SISTEMA EXPERIMENTAL DE PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS EM REGIME CONTÍNUO

Pedro Henrique Schmoeller (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Nehemias Curvelo Pereira (Orientador), Ariane Cezarotto Fiewski (Coorientador). E-mail: ra123812@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Engenharia Química, Maringá, PR.

Engenharias - 3.00.00.00-9; Engenharia Química - 3.06.00.00-6; Operações de Separação e Mistura - 3.06.02.03-3

Palavras-chave: Dessulfurização; Eficiência de separação; Recuperação de solução.

RESUMO

O objetivo deste estudo é desenvolver um hidrociclone para remoção de partículas de enxofre de um sistema experimental de purificação de biogás operando em regime contínuo. O dimensionamento do hidrociclone foi realizado utilizando as equações propostas por Massarani para família Bradley. Os protótipos foram projetados no *software* Fusion 360 e impressos em impressora 3D. Testes em batelada foram realizados para avaliar desempenho dos hidrociclones dimensionados em relação a eficiência de separação das partículas e recuperação da solução. Os hidrociclones dimensionados foram capazes de remover as partículas de enxofre com diâmetro de corte de 5 μm , apresentaram eficiência de separação das partículas de enxofre variando entre 15% e 56% e recuperação da solução de Fe/EDTA de 44% a 89%. Conclui-se que o hidrociclone é uma alternativa para a remoção de partículas de enxofre do processo de purificação de biogás.

INTRODUÇÃO

O biogás apresenta diversas potencialidades como biocombustível, podendo ser usado como fonte de energia em várias aplicações, se devidamente purificado. A presença de componentes como o sulfeto de hidrogênio (H_2S) no gás é indesejável, uma vez que este elemento, devido à sua natureza tóxica e corrosiva, pode danificar os equipamentos do sistema de aproveitamento e comprometer a conversão energética do gás (CHAN *et al.*, 2022).

Neste contexto, o processo de dessulfurização por absorção em solução de quelato de ferro (Fe/EDTA) é uma alternativa viável para a purificação de biogás, uma vez que permite a transformação direta do H_2S em enxofre elementar. No entanto, a presença das partículas de enxofre em solução pode reduzir a capacidade do sistema de purificação (FRARE *et al.*, 2010). Diante disso, a utilização de hidrociclones para a remoção de partículas pode apresentar benefícios para

melhorar a eficiência do processo e recuperar as partículas de enxofre, uma vez que esses equipamentos apresentam elevada eficiência de separação, baixo consumo energético, são altamente versáteis e de fácil manutenção (NI *et al.*, 2018). Sendo assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver um hidrociclone para remoção de partículas de enxofre de um sistema experimental de purificação de biogás operando em regime contínuo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material particulado utilizado para o projeto e avaliação do hidrociclone foi o enxofre elementar produzido a partir da reação da solução de Fe/EDTA com H₂S proveniente de um sistema experimental de purificação de biogás. O dimensionamento foi realizado utilizando as equações propostas por Massarani (2002) para família Bradley. O diâmetro de corte (d_{50c}) foi definido como 0,5 μm e a concentração de sólidos na suspensão de alimentação foi de 0,1% (m/m). Os protótipos foram projetados no *software* Fusion 360 (versão *free*) e impressos em impressora 3D (Ender 3 S1).

Para avaliar o desempenho dos hidrociclone dimensionados foi montado uma unidade experimental em batelada, na Figura 1 é apresentado um diagrama representativo e o módulo experimental utilizado para os testes do hidrociclone.

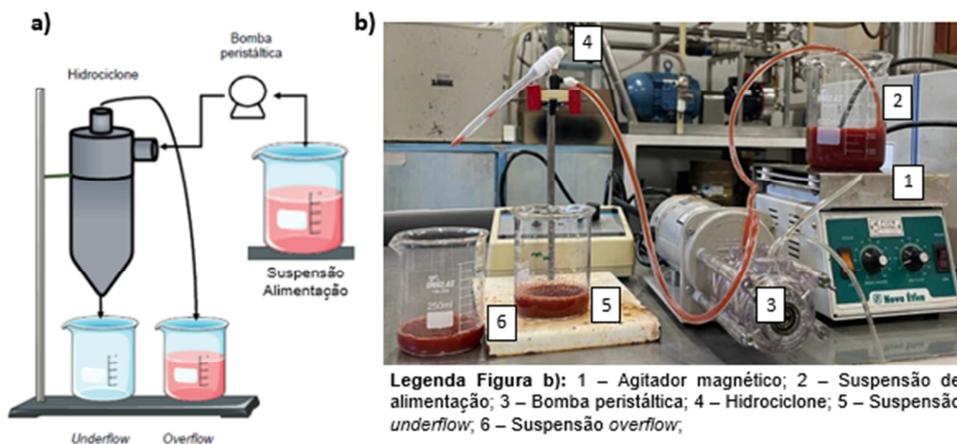


Figura 1 – a) Diagrama representativo; b) Módulo experimental para avaliação do hidrociclone.

O procedimento experimental consistiu em alimentar a suspensão, na vazão de alimentação pré-determinada, por meio de uma bomba peristáltica (Cole-Parmer Instrument CO). Agitador magnético foi utilizado para garantir a homogeneidade da suspensão. O volume das correntes do *overflow* e do *underflow* foram aferidos para determinar a razão de recuperação da solução de Fe/EDTA. Após a separação, as amostras de cada corrente foram deixadas em repouso durante 24 horas, para que o material particulado decantasse. Na sequência, o sobrenadante foi removido por meio de pipetas, o corpo de fundo foi seco em estufa à 70 °C e a massa do precipitado foi aferida. Os cálculos para avaliação do desempenho dos hidrociclones foram realizados conforme descrito por He *et al.* (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros geométricos utilizados no dimensionamento dos hidrociclones estão apresentados na Tabela 1. O projeto considerou três diferentes vazões volumétricas da suspensão de alimentação: 80; 250 e 800 mL/min, para os protótipos HC01; HC02 e HC 03, respectivamente. Na Figura 2 é apresentado o projeto do hidrociclone desenhado no *software* Fusion 360 e os hidrociclones impressos em 3D.

Tabela 1 - Parâmetros de projeto dos hidrociclones

Parâmetros	Símbolos	HC01	HC02	HC03
Diâmetro da seção cilíndrica (mm)	Dc	2,88	4,21	6,20
Diâmetro da entrada (mm)	Di	0,41	0,60	0,89
Diâmetro do overflow (mm)	Do	0,58	0,84	1,24
Diâmetro do underflow (mm)	Du	0,43	0,63	0,93
Altura do hidrociclone (mm)	L	16,98	24,82	36,57
Altura da seção cilíndrica (mm)	L1	1,44	2,10	3,10

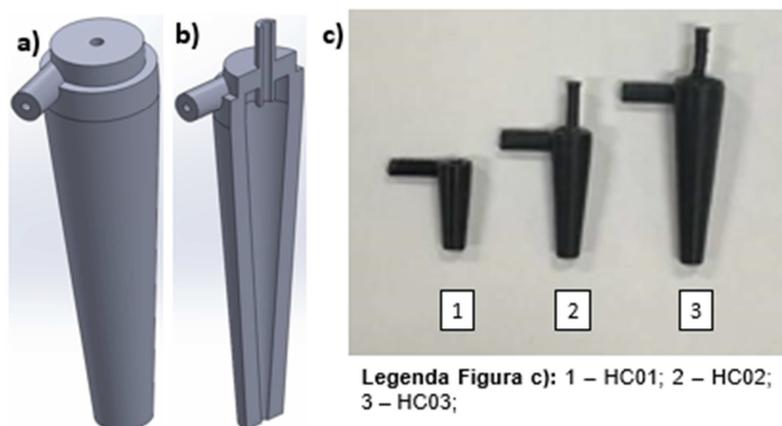


Figura 2 – Hidrociclones dimensionados para separação de enxofre em um processo de purificação de biogás: a) projeto da peça; b) corte esquemático da parte interna; c) protótipos impressos em 3D.

No teste experimental foram avaliadas duas vazões de alimentação (Q_A) da suspensão: $38,20 \pm 0,61$ e $97,80 \pm 1,12$ mL/min. As vazões foram selecionadas com intuito de avaliar uma configuração de equipamento que permitisse uma boa eficiência de remoção das partículas de enxofre e a recuperação da solução de Fe/EDTA, e ainda fosse compatível a utilização em um sistema experimental de purificação de biogás em regime contínuo. Na Tabela 2 é apresentado os valores obtidos experimentalmente para a recuperação da solução no *underflow* ($R_{Fe/EDTA}$) e a eficiência de separação das partículas de enxofre no *overflow* (η_s).

Tabela 2 – Recuperação da solução e eficiência de separação das partículas

Parâmetro	HC02	HC03
-----------	------	------

	Q _A =38 ml/min	Q _A =98 ml/min	Q _A =38 ml/min	Q _A =98 ml/min
R _{Fe/EDTA} (%)	89,76	67,87	44,33	57,02
η _S (%)	15,38	37,04	56,25	36,73

Como o hidrociclone HC01 apresenta dimensões muito pequenas, não foi possível realizar o teste por conta de limitações dos equipamentos disponíveis em laboratório.

A partir dos dados apresentados na Tabela 2 é possível observar que os hidrociclones dimensionados foram capazes de remover as partículas de enxofre com diâmetro de corte de 5 µm. He et al. (2022) obtiveram resultados semelhantes para a recuperação de água (23,5% a 80,9%) e maior eficiência de separação de partículas (51% a 95%), na remoção de microplásticos. Estes resultados podem ter sido em decorrência da vazão de alimentação estipulada, no entanto, devido a limitação de tamanho dos hidrociclones não foi possível testar maiores vazões.

CONCLUSÕES

Hidrociclones foram projetados para separar partículas de enxofre de uma solução de Fe/EDTA., e apresentaram eficiência de separação das partículas de enxofre variando entre 15% e 56% e recuperação da solução de Fe/EDTA de 44% a 89%. Conclui-se que o hidrociclone é uma alternativa a ser considerada para a remoção de partículas de enxofre do processo de purificação de biogás.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq-FA-UEM e à Fundação Araucária pelo apoio financeiro a esse projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

CHAN, Y. H. *et al.* A state-of-the-art review on capture and separation of hazardous hydrogen sulfide (H₂S): recente advances, chakkenges and outlook. **Environmental Pollution**, v. 314, p. 120219, dez. 2022.

FRARE, L. M. *et al.* Hydrogen sulfide removal from biogas usinf Fe/EDTA solution: gas/liquid contacting and súlfur formation. **Environmental Progress and Sustainable Energy**, v. 29, p. 34-41, 2010.

HE, L. *et al.* Investigation of mini-hydrocyclone performance in removing small-size microplastics. **Particuology**, v.71, p. 1-10, dez. 2022.

MASSARANI, G. **Fluidodinâmica em sistemas particulados**. Editora E-papers, Rio de Janeiro, 2002.

NI, L. *et al.* Optimizing geometric parameters in hydrocyclones for Enhanced separations: a review and perspective. **Separation and Purification Reviews**, v. 48, n. 1, p. 30-51, 2019.