



X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica

“Influência da pesquisa em Engenharia Química no desenvolvimento tecnológico e industrial brasileiro”

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Universidade Severino Sombra
Vassouras – RJ – Brasil

EFEITO DA INSERÇÃO DE HASTES DE METAL NO CENTRO DO HIDROCICLONE NA SUPRESSÃO DO AIR CORE

JOAQUIM M. SILVA¹, LUCAS C. OLIVEIRA¹, J. L. MOGNON², CARLOS H. ATAÍDE^{3*}

¹Aluno da FEQ/UFU ²Mestrando da FEQ/UFU ³Professor da FEQ/UFU
Faculdade de Engenharia Química – Universidade Federal de Uberlândia
Endereço – UFU, Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K, CEP 38408-144, MG,
*e-mail: chataide@ufu.br

RESUMO – O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da presença de hastes de metal na supressão do fenômeno denominado de *air core*. A presença desse núcleo gasoso (*air core*), em decorrência de uma região de baixa pressão no eixo central do separador, gera perdas de eficiência do hidrociclone. Com o objetivo de buscar neutralizar essa redução de eficiência, foram instaladas hastes de metal no interior do hidrociclone, onde ocorre o efeito do *air core*. Foram conduzidos diversos experimentos de separação em hidrociclones, com haste de 3 e 4 mm de diâmetro e os resultados obtidos foram confrontados com testes sem a presença de hastes. Os ensaios de separação foram realizados nas pressões de 25, 30 e 35 psi.

Palavras chave: *underflow*, vazão, concentração.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Uso do Hidrociclone

É comum nos processos industriais a existência de diversas operações de separação sólido-líquido. Com este fim, comumente utiliza-se um equipamento conhecido como hidrociclone. A aplicação industrial de tal equipamento começou por volta do final da década de 40, inicialmente nas indústrias de extração e processamento mineral. Desde então, sua utilização foi difundida, sendo atualmente um equipamento de separação bastante usado nas indústrias química, petroquímica, metalúrgica, dentre outras.

O fato da ampla presença desta tecnologia no setor industrial deve-se fundamentalmente, ao tamanho reduzido quando comparado com outros tipos de

separadores, ausência de partes móveis, baixo custo de instalação e operação e principalmente a sua flexibilidade operacional.

1.2 Funcionamento

A mistura de líquidos ou sólido/líquido é alimentada tangencialmente na câmara cilíndrica gerando um escoamento helicoidal que forma um campo centrífugo dirigindo as partículas (ou líquido) mais densas na direção da parede interna do equipamento, na região cônica, o fluido sofre uma restrição de escoamento sendo que parte desse é direcionado pela saída superior (*overflow*) onde se concentram as partículas de menor diâmetro ou menor densidade, enquanto que o fluxo junto a parede é coletado pela saída inferior (*underflow*).

1.3 Revisão Bibliográfica

A inserção de hastes no interior de hidrociclones tem sido estudada e descrita por diversos autores, dentre eles pode-se destacar o trabalho de SRIPRIYA (2012) e CHU (2000). Esses autores relataram aumentos significativos nas eficiências de separação e redução do diâmetro de corte através da inserção de uma haste metálica sólida ao longo do corpo do hidrociclone, com o objetivo principal de suprimir a formação do núcleo de ar denominado *air core*. Segundo os autores citados a justificativa para tal melhoria de desempenho se fundamenta na estabilização das linhas de corrente no interior do hidrociclone, tendo-se em vista que a presença do *air core* tem caráter altamente turbulento e instável. Os autores observaram também uma redução considerável nas velocidades radial e axial juntamente com um aumento da velocidade tangencial na região cônica do hidrociclone. Esse efeitos podem explicar uma maior recuperação das partículas (principalmente se tratando da fração mais fina destas).

1.4 Objetivo

Devido ao escoamento helicoidal no interior do equipamento e formação de um grande gradiente de pressão na direção das paredes internas, e consequente níveis de pressão bastante baixos no eixo central do escoamento, ocorre a formação de um núcleo gasoso central denominado *air core*. O diâmetro de cada haste não pode ser próximo do diâmetro interno do *underflow*, fato que geraria uma redução exagerada na eficiência de coleta. O objetivo do estudo é analisar o efeito da pressão de alimentação e da inserção de hastes metálicas, de diferentes diâmetros no interior de um hidrociclone, com o propósito de anular o efeito do *air core*.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Unidade Experimental

Um esquema da unidade experimental utilizada neste trabalho, montada no Laboratório da Unidade Avançada de Pesquisa da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, encontra-se na Figura 1.

Os principais componentes dessa unidade encontram-se listados a seguir:

1. Hidrociclone;
2. Manômetro digital;
3. Tubulação para *overflow*;
4. Motor do agitador;
5. Bomba centrífuga de 10 cv;
6. Quadro elétrico;
7. Medidor de vazão (Coriolis);
8. Placa de aquisição de dados;
9. Agitador;
10. Serpentina para resfriamento;
11. Válvulas do tipo gaveta;
12. Unidade de refrigeração;

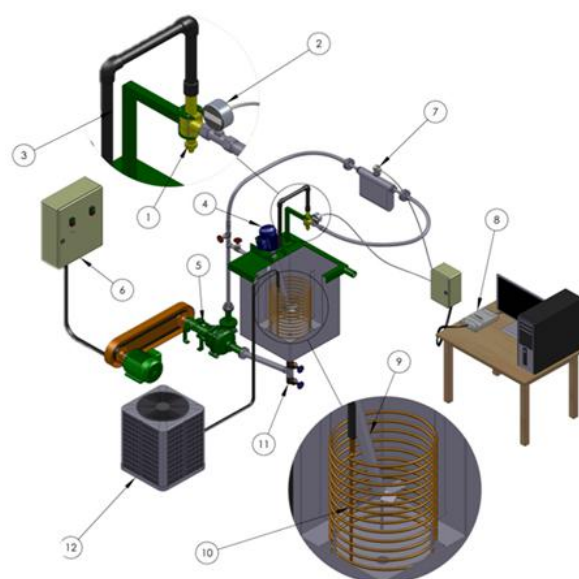


Figura 1 – Unidade de hidrociclonação.

2.2 Hidrociclone

O hidrociclone utilizado nos experimentos consiste em uma geometria baseada no hidrociclone fabricado pela empresa Derrick (atualmente utilizado como dessiltador no controle de sólidos da perfuração de poços de petróleo e gás), fabricado em poliuretano em menor escala (1:3) com relação ao comercial. O dimensionamento do hidrociclone utilizado é apresentado na Figura 2 com dimensões em milímetros.

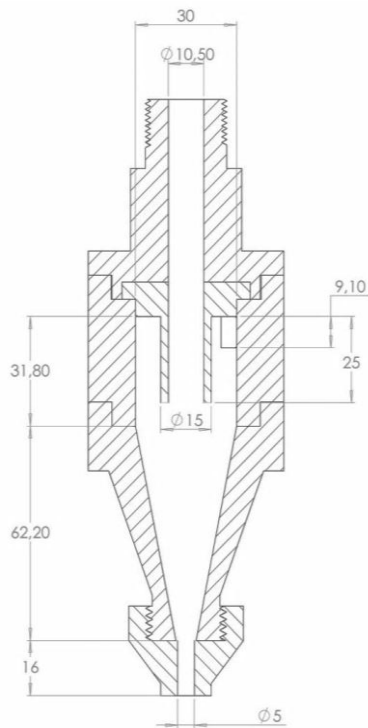


Figura 2 – Dimensões do hidrociclone.

2.3 Material Particulado

Para os ensaios utilizou-se água industrial contendo uma quantidade de 1% (em volume) de rocha fosfática fina. A granulometria do material em questão foi obtida através do método de difração de raio laser (*Mastersizer 2000*) e é apresentada na Figura 3.

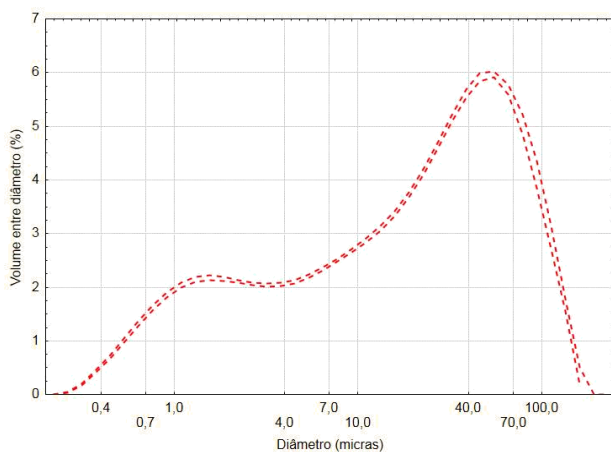


Figura 3 – Granulometria do material particulado.

2.4 Planejamento Experimental

As variáveis selecionadas para o estudo de eficiência de separação foram a pressão de alimentação e o diâmetro da haste inserida. No estudo empregou-se 3(três) níveis de pressão à entrada do hidrociclone, e os ensaios foram realizados sem e com a haste, totalizando

9(nove) experimentos, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Hastes e pressões.

Ensaio	Diâmetro da haste (mm)	Pressão (psi)
1	Sem haste	25
2	Sem haste	30
3	Sem haste	35
4	3	25
5	3	30
6	3	35
7	4	25
8	4	30
9	4	35

2.5 Metodologia Experimental

A metodologia utilizada na preparação dos ensaios e análise dos resultados é descrita a seguir:

- Preparação da suspensão contendo 160 litros de água e cerca de 5 kg de rocha fosfática. Manutenção da mesma sobre constante agitação de modo a evitar a sedimentação de partículas grossas.
 - Ajuste da pressão de alimentação através de sistema de controle proporcional acoplado ao inversor de frequência da bomba.
 - Medição das vazões mássicas da lama nas correntes de *underflow* e *overflow* por gravimetria.
 - Coleta em duplicata de amostras das correntes de *underflow* e *overflow*, seguida por secagem em estufa a 105°C por 24 horas.
- A temperatura dos experimentos foi continuamente verificada, se situando entre a faixa de 28 à 35°C.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Parâmetros

Os parâmetros selecionados para determinação das condições ótimas de operação são apresentados a seguir:

Eficiência total de separação (E_t):

$$E_t(\%) = \frac{C_u W_u}{C_a W_a} \quad (1)$$

Razão de líquido (R_L):

$$R_L = \frac{W_u(1 - C_u)}{W_a(1 - C_a)} \quad (2)$$

Capacidade concentradora (C_{conc}):

$$C_{conc} = \frac{C_u}{C_a} \quad (3)$$

3.2 Dados Coletados

Os seguintes dados foram coletados usando 3(três) amostras por ponto e com duplicata do ponto central. Segue Tabela 2 com os dados completos:

Tabela 2 – Dados coletados

P (psi)	D_h (mm)	V (g/s)	R_L	E_t	C_{conc}
25	4	257,5	5,48	75,35	9,83
30	4	280,7	5,44	76,35	9,95
35	4	304,9	5,45	76,89	9,98
25	3	264,7	5,81	75,30	9,49
30	3	288,1	6,72	76,69	8,62
35	3	308,7	6,48	77,01	8,89
25	0	256,2	6,90	77,24	8,39
30	0	278,5	6,67	77,04	8,65
35	0	301,6	6,48	77,57	8,88

3.3 Análise dos Resultados

A seguir são apresentadas as superfícies obtidas através do ajuste multi-variável (analisando os efeitos isolados e de interação entre as variáveis independentes) dos dados apresentados na Tabela 2. Os ajustes e superfícies apresentados foram obtidos com auxílio do *software* STATISTICA.

Eficiência total de separação: A superfície de resposta ajustada através dos dados experimentais (R^2 de 0,9326) é apresentada na Figura 4. Pode-se observar um aumento na eficiência para menores diâmetros de haste, sendo esse efeito menos significativo a altas pressões. A pressão causa, em geral, um aumento na eficiência de coleta, sua influência se torna mais significativa à medida que hastes de maior diâmetro foram utilizadas.

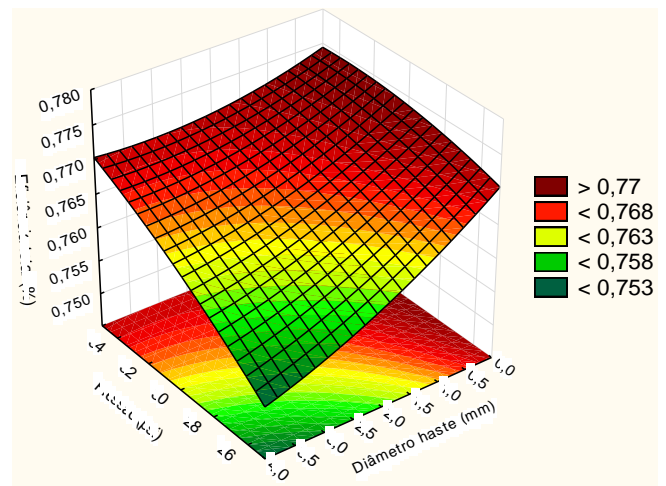


Figura 4 – Eficiência total.

Razão de líquido: A superfície de resposta ajustada por meio dos dados experimentais (R^2 de 0,8806) é apresentada na Figura 5. Nota-se uma redução relevante na razão de líquido para um maior diâmetro de haste, uma porcentagem menor nos gera uma maior concentração de sólidos no *underflow*, já a pressão não tem influência significativa neste aspecto.

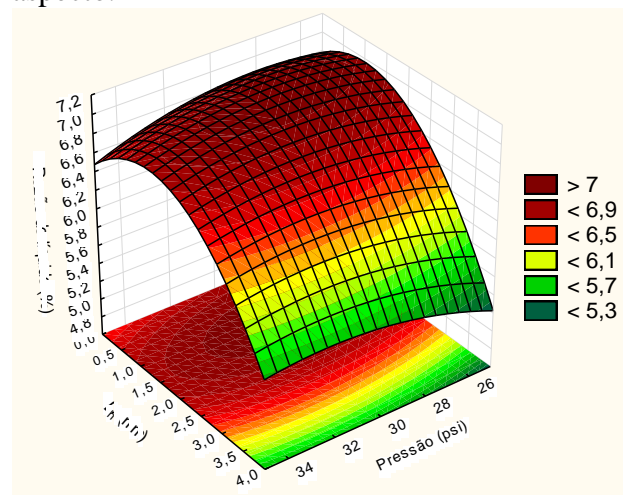


Figura 5 – Razão de líquido para diferentes hastes e pressões.

Capacidade concentradora: A superfície de resposta ajustada a partir dos dados experimentais (R^2 de 0,8806) é apresentada na Figura 6. Os dados mostraram um aumento da concentração da corrente de *underflow* quando inseridas as hastes, no entanto deve-se observar o nível de obstrução do duto inferior de modo a evitar entupimentos (*plugging*).

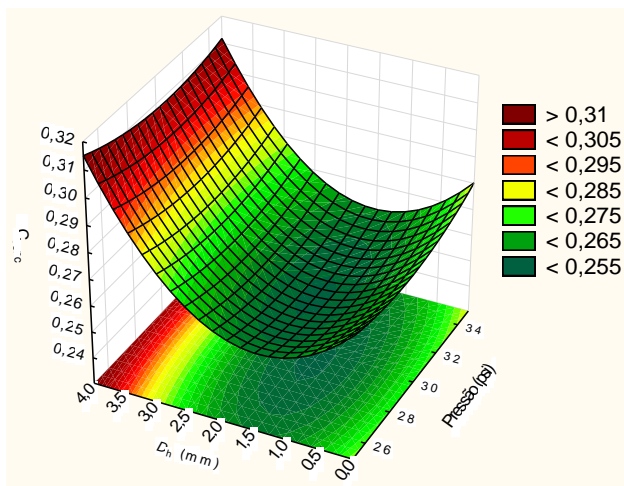


Figura 6 – Capacidade concentradora em relação às hastes e às pressões.

Vazão: A superfície de resposta ajustada através dos dados experimentais (R^2 de 0,9987) é apresentada na Figura 7. Pode-se observar que a vazão sofre pouca influência da presença da haste, no entanto, pode-se notar um pequeno aumento na capacidade do equipamento dotado de hastes de maior diâmetro. A pressão, como esperado, tem forte influência, de forma proporcional, na capacidade do equipamento.

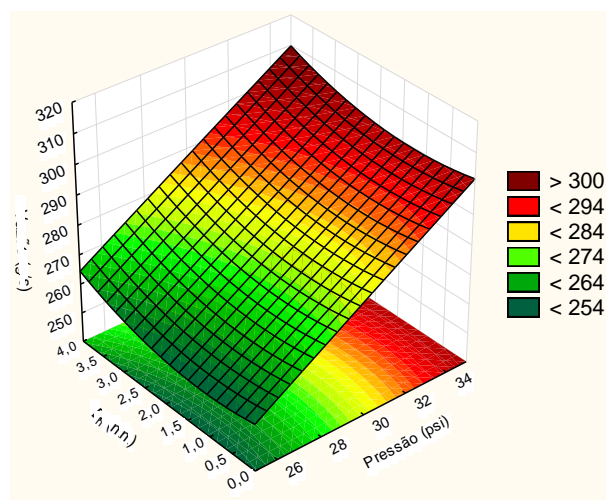


Figura 7 – Variação da vazão em relação às hastes e às pressões.

3.4 Variáveis Relevantes

Temperatura: Utilizando-se um hidrociclone em escala reduzida a altas quedas de pressão, se fez necessário um sistema de refrigeração para o controle da temperatura. Testes preliminares mostraram que a temperatura de operação chega a níveis altos (55°C) devido à dissipação turbulenta no equipamento, efeito este remediado pelo uso do sistema citado.

Vibração das hastes: Um detalhe importante sobre as hastes é sua rigidez, devido a alta turbulência no corpo do hidrociclone. Esse problema é maior em escalas reduzidas e para evitar a vibração, a pressão da alimentação foi incrementada com longas pausas até se chegar nas condições de operação.

4 CONCLUSÕES

Ambas as hastes geraram uma perda de eficiência total no hidrociclone, mas em compensação tiveram aumento significativo na capacidade concentradora, mostrando que a supressão do *air core* tem efeito significativo sobre a fluidodinâmica do hidrociclone. Além disso a capacidade de processamento do equipamento aumentou consideravelmente com a inserção das hastes, o que leva a crer que os níveis de turbulência no interior do hidrociclone tenham sido reduzidos.

5 NOMENCLATURA

C_a : concentração mássica de alimentação [–]

C_{conc} : capacidade concentradora [–]

C_u : concentração mássica do *underflow* [–]

D_h : diâmetro das hastes [mm]

E_t : eficiência total [–]

P : pressão [psi]

R_L : razão de líquido [–]

V : vazão [g/s]

W_a : vazão mássica da alimentação [g/s]

W_u : vazão mássica do *underflow* [g/s]

6 REFERÊNCIAS

- CHU, L., CHEN, W., LEE, X. (2000), Effect of structural modification on hydrocyclone performance. Separation and Purification Technology, Vol. 21, p. 71-86.
- SRIPRIYA, R., SURESH, N., CHANDRA, S., BHATTACHARJEE, D. (2013), The effect of diameter and height of the inserted solid rod in a dense medium cyclone to suppress air core. Minerals Engineering, vol, 42, p. 1-8.