

## QUANTIFICAÇÃO DE ARRASTE HIDRODINÂMICO NA MICROFLOTAÇÃO

T. S. Rodrigues<sup>1</sup>, O.M.S. Rodrigues<sup>2</sup>, L. R. Novais<sup>3</sup>, C. A. Pereira<sup>3</sup>, A.E.C.Peres<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Rede Temática em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto  
Praça Tiradentes, 20, Ouro Preto, MG, 35400-000. e-mail: thenner07@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, MG, 31270-90. e-mail: otaviamartins@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto  
R. Diogo Vasconcelos, 122, Ouro Preto, MG, 35400-000. e-mail: novais.luciano@yahoo.com.br

<sup>4</sup>Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, MG, 31270-90. e-mail: aecperes@demet.ufmg.br

### RESUMO

A microflotação é a técnica fundamental mais utilizada para encontrar condições de seletividade e aperfeiçoar o uso de reagentes na flotação. Para que os resultados sejam confiáveis é necessário garantir que o arraste não seja um mecanismo responsável pela flotação das partículas. A flotação deve ocorrer apenas como consequência da adesão entre partículas hidrofóbicas e bolhas de gás. Este trabalho objetivou quantificar o arraste hidrodinâmico nos testes de microflotação, com amostras de diferentes densidades (hematita e quartzo), em função das principais variáveis físicas do teste: vazão de gás, granulometria, agitação e tamanho do extensor adaptado ao tubo. Para isso os testes foram realizados alterando um parâmetro (ou variável) e mantendo os outros constantes. Os ensaios foram realizados em duplicata. Em termos quantitativos a granulometria da amostra e presença de extensor foram os parâmetros que mais influenciaram no arraste hidrodinâmico.

**PALAVRAS-CHAVE:** microflotação; arraste hidrodinâmico; granulometria; tubo de Hallimond.

## 1. INTRODUÇÃO

Para avaliar as interações entre reagentes e minerais no processo de flotação é necessário o emprego de técnicas que são conhecidas como critérios de flotabilidade. Essas técnicas fornecem indicativos da flotabilidade ou hidrofobicidade de um dado mineral, podendo ajudar na elucidação de fenômenos físico-químicos que ocorrem em uma célula de flotação.

Testes de microflotação em tubo de Hallimond e medidas de ângulo de contato são duas técnicas utilizadas como critério de flotabilidade. Devido ao fácil manuseio e a boa reprodutibilidade dos resultados, a microflotação em tubo de Hallimond é muito mais empregada do que a medida de ângulo de contato.

Os testes de microflotação são realizados com amostras minerais puras, o fluxo de ar é injetado no tubo de Hallimond por um orifício abaixo do fundo de vidro sinterizado e percorre todo o tubo arrastando consigo as partículas hidrofóbicas (propriedade natural ou induzida pela adição de reagentes). No entanto, se o fluxo de gás ou a agitação forem excessivos, as partículas podem se dirigir ao flotado por arraste hidrodinâmico, independente de seu caráter hidrofóbico ou hidrofílico. Uma alternativa para minimizar o arraste é a adaptação de um prolongamento que altera a distância entre a placa porosa e a abertura de saída do flotado. A figura 1 apresenta o tubo de Hallimond modificado convencional sem adaptação de prolongamento para minimizar o arraste e a figura 2 apresenta o tubo com adaptação de prolongamento. A designação tubo de Hallimond modificado se aplica a diversas células de microflotação cujo desenho se baseou no tubo de Hallimond original (Peres, 2007).



Figura 1: Tubo de Hallimond modificado convencional sem adaptação de prolongamento.

A granulometria das partículas é uma das variáveis mais importantes na quantificação do arraste em testes de microflotação e também em testes realizados em maiores escalas. Com o objetivo de mitigar e/ou evitar problemas decorrentes da presença de partículas finas, diversos autores têm estudado as dificuldades existentes em relação à flotação dessas frações. Tais dificuldades são decorrentes de suas características inerentes, como, pequena massa, superfície específica elevada e alta energia superficial. No entanto, estudos de microflotação mais amplos a respeito das interferências de variáveis no arraste hidrodinâmico não são muito comuns.



Figura 2: Tubo de Hallimond modificado convencional com adaptação de prolongamento.

Para que o processo de microflotação apresente resultados confiáveis é necessário uma favorável conjunção de fatores físico-químicos e hidrodinâmicos. Enquanto os primeiros estão associados às características mineralógicas do mineral, natureza e dosagem dos reagentes, qualidade da água e pH da suspensão, os fatores hidrodinâmicos estão relacionados com as células de flotação, geometria e condições operacionais (vazão de ar, agitação, distribuição dos tempos de residência, status da suspensão de sólidos). Uma vez ajustados os fatores físico-químicos, são as condições hidrodinâmicas que governam o desempenho do processo.

Rodrigues (2009) afirmou que uma grande dificuldade no estudo da flotação de caulinita está relacionada ao tamanho das partículas. Sendo quase sempre muito fina (característica dos argilominerais), o efeito de arraste hidrodinâmico nos equipamentos de flotação não pode deixar de ser considerado. Em seus testes, Rodrigues (2009) adaptou um prolongamento de aproximadamente 20 cm no tubo de Hallimond para garantir a inexistência do arraste. A autora reforçou que em um estudo fundamental é preciso assegurar que o arraste não seja um mecanismo que esteja fazendo as partículas de caulinita flotarem.

Para Pease et al. (2005) as partículas finas possuem baixo momentum, o que facilita o arraste hidrodinâmico pelas linhas de fluxo de água. Tabosa (2007) afirmou que tanto as partículas de mineral de interesse quanto as de ganga, podem ser recuperadas por arraste hidrodinâmico, arraste por oclusão em agregados ou arraste por recobrimento por ultrafinos ou “lamas”.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é verificar e quantificar o arraste hidrodinâmico nos testes de microflotação em função da densidade do mineral, vazão de gás, granulometria, agitação e tamanho do extensor adaptado ao tubo.

### 3. METODOLOGIA

Selecionaram-se dois minerais com diferentes densidades: quartzo ( $d = 2,71 \text{ g/cm}^3$ ) e hematita ( $d = 5,17 \text{ g/cm}^3$ ). O valor da densidade das amostras minerais foi determinado por picnometria gasosa. As amostras foram preparadas em três granulometrias diferentes: (+38 $\mu\text{m}$ , -75 $\mu\text{m}$ ); (+75 $\mu\text{m}$ , -212 $\mu\text{m}$ ) e (+212 $\mu\text{m}$ , -300 $\mu\text{m}$ ). A preparação foi realizada em gral de porcelana para ter um maior controle sobre a geração de finos e evitar contaminação da amostra.

Os testes de microflotação foram executados em Tubo de Hallimond modificado, sendo o nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) o gás utilizado para proporcionar a flotação. Todos os testes foram realizados em duplicata e conduzidos com água destilada sem adição de reagentes. Nesta condição pode-se, com segurança, assumir que a presença de partículas no produto flotado foi uma consequência do arraste hidrodinâmico.

Para verificar sua influência de cada um dos parâmetros sobre o arraste, os testes foram realizados variando-se um parâmetro de cada vez, enquanto os outros eram mantidos constantes. A tabela 1 mostra as variações de cada parâmetro no estudo. A situação padrão (variáveis mantidas fixas) constitui-se da granulometria na condição 2, agitação e vazão na condição 1 e extensor na condição 3. A mesma série de testes foi realizada com quartzo e hematita.

Tabela 1: Parâmetros e condições analisadas nos testes de microflotação

Condição	1	2	3
Granulometria ( $\mu\text{m}$ )	38 - 75	75 - 212	212 - 300
Agitação (rpm)	360	450	600
Vazão de gás (mL/min)	60	150	300
Extensor	ausente	médio (10 cm)	grande (20 cm)

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 3 apresenta os resultados para os testes realizados com quartzo. Observou-se que, em termos quantitativos, a granulometria foi o parâmetro que resultou em um maior impacto sobre o arraste (aproximadamente 20%). Quanto maior o tamanho da partícula de quartzo, maior sua massa, assim, maior é a dificuldade desse tipo de partícula ser arrasta para o flotado.

Os parâmetros vazão e agitação tiveram impactos, qualitativo e quantitativo, semelhantes sobre o arraste. Um aumento na vazão de  $\text{N}_2$  resulta em um maior número de bolhas ascendendo ao longo do tubo por unidade de tempo, portanto maior a probabilidade de arraste de partículas. A elevação da agitação acarreta em um maior número de partículas ascendendo no tubo. A agitação exercida gera um ciclone no interior do tubo. Observou-se que esse ciclone era maior quanto maior era a velocidade de agitação. Deste modo, quanto mais alto o ciclone, mais próximas as partículas estavam da parte do tubo que recolhe o produto flotado, aumentando assim a probabilidade de arraste pelas bolhas de gás.

A presença do extensor minimizou o arraste hidrodinâmico, pois ele aumenta a distância que a partícula tem que percorrer no interior do tubo para se dirigir ao produto flotado. O outro aspecto observado é que a presença do extensor possibilitou o uso de uma maior agitação, vazão e menores tamanhos de partícula no teste. Entre todos os parâmetros esse foi o que apresentou maior impacto quando se avalia o uso de condições extremas, por exemplo: (i) quando um sistema precisa de uma energia cinética (agitação) elevada, (ii) quando é necessário trabalhar com partículas muito pequenas ou que se fragmentam durante o teste, como é o caso da caulinita.

Os resultados dos testes realizados com hematita possibilitaram as mesmas interpretações, no entanto, em uma extensão quantitativa um pouco menor, fato decorrente da maior densidade da hematita em relação ao quartzo.

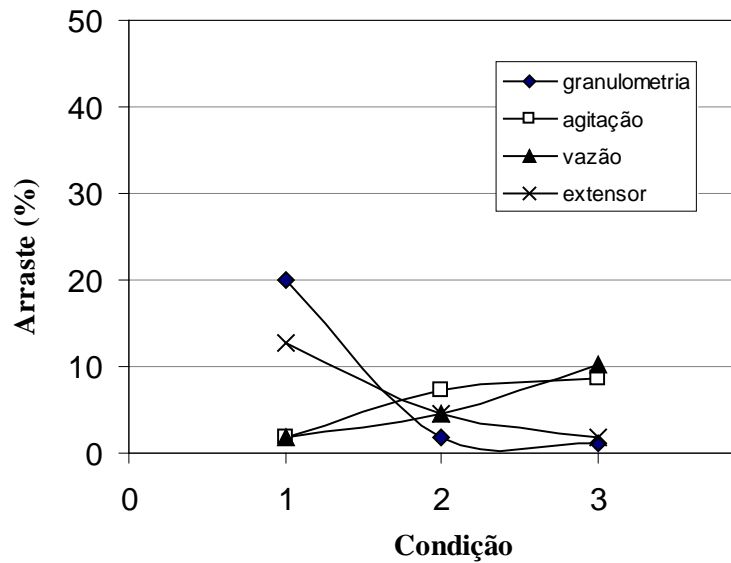


Figura 3: Arraste de partículas de quartzo em função de diferentes granulometrias, agitação, vazão e da presença de extensor adaptado ao tudo.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados dos testes realizados com hematita e quartzo possibilitaram as mesmas interpretações. Em termos quantitativos, a granulometria foi o parâmetro que resultou em um maior impacto sobre o arraste. Os parâmetros vazão e agitação tiveram impactos, qualitativo e quantitativo, semelhantes sobre o arraste hidrodinâmico. A presença do extensor minimizou o arraste hidrodinâmico e entre todos os parâmetros estudados é o que confere maior versatilidade ao teste de microflotação em Tubo de Hallimond, uma vez que permite a realização de ensaios com maior agitação, vazão e menores tamanhos de partícula no teste.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Pease, J. D.; Young, M. F.; Curry, D.; Johnson, N. W. Improving Fines Recovery by Grinding Finer. In: CENTENARY OF FLOTATION SYMPOSIUM, 2005, Brisbane. PROCEEDINGS OF

THE CENTENARY OF FLOTATION SYMPOSIUM. Carlton, VIC., Australia : The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, v. Único, 2005.

Peres, A. E. C. Apostila de Flotação. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. Belo Horizonte. 303 p, 2007.

Rodrigues, O. M, S., Estudos de Flotação de Caulinita. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2009, 95p. (Dissertação. Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

Tabosa, E. O., Flotação com Reciclo de Concentrados (FRC) para Recuperação de Finos de Minérios: Fundamentos e Aplicações. Porto Alegre: Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007, 117p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia).