

ESTUDO DE DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE BOLHA EM SISTEMA TRIFÁSICO DE UMA CÉLULA MECÂNICA DE FLOTAÇÃO

STUDY OF BUBBLE SIZE DISTRIBUTION IN THREE PHASE SYSTEM ON A MECHANICAL FLOTATION CELL

João Leonardo Santos Alves

Aluno de Graduação da Engenharia Química, 10º período, Pontificadora
Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RIO)
Período Estágio: fevereiro de 2019 a agosto de 2019
joaoleonardo1993@gmail.com

Renata Nigri de Almeida

Orientadora, Engenheira Química
rnigri@cetem.gov.br

Hudson Jean Bianquini Couto

Orientador, Engenheiro Químico, D. Sc.
hcouto@cetem.gov.br

RESUMO

Uma das maiores dificuldades e interesses da área de processamento mineral é como aproveitar as partículas finas e ultrafinas naturais ou providas das etapas de moagem utilizando do processo de flotação convencional. Nesse contexto, o tamanho médio e a distribuição do tamanho de bolha (DTB) são fundamentais na eficiência de coleta e no transporte das partículas. Diante do exposto o objetivo desse trabalho é estudar a DTB em sistema bifásico e trifásico (25% de sólido), em função da concentração de espumantes (C_f), focando na influência do minério na concentração crítica de coalescência (CCC). Os ensaios de flotação foram feitos em célula de flotação *Magotteaux* acoplada ao equipamento de amostragem de bolhas *Anglo Platinum Bubble Sizer*. As fotografias foram processadas e analisadas pelo software ImageJ e software estatístico Statistica. Foram utilizados os espumantes AeroFroth 65, Flotanol D14 e MIBC. Os resultados mostraram que o diâmetro médio de Sauter (D_{32}) foi reduzido com o aumento de C_f para 630, 600 e 600 μm (sistema bifásico) e para 700 μm (sistema trifásico), respectivamente. A comparação das curvas de DTB dos sistemas bifásico e trifásico levou a conclusão de que há deslocamento da CCC na presença de minério, sendo as CCC's 11,3 e 9,35 mg/L (AeroFroth 65), respectivamente. Já no caso dos outros espumantes não ocorre deslocamento, 10 mg/L (Flotanol D14) e ~15 mg/L (MIBC). O Flotanol D14 se mostrou o espumante com maior capacidade de redução do D_{32} na menor concentração na presença de minério e o AeroFroth 65 na ausência de minério, apresentou-se como o espumante de maior capacidade.

Palavras chave: flotação, tamanho de bolha, sistema trifásico.

ABSTRACT

One of the biggest difficulties and interests of the mineral processing industry is how to take advantage of the natural fine and ultrafine particles, as well as those generated from milling stages using the conventional flotation process. In this context, the bubble mean size and the bubble size distribution (BSD) are fundamental in the collection and transport efficiency of the particles. In view of the above, the objective of this work is to study BSD in two and three phase system (25% solid), as a function of the foam concentration (C_f), focusing on the influence of ore in the critical coalescence concentration (CCC). The flotation tests were done on the *Magotteaux* flotation cell coupled to the *Anglo Platinum Bubbler Sizer* bubble sampler.

The photographs were processed and analyzed by *ImageJ* software and statistical software Statistica. AeroFroth 65, Flotanol D14 and MIBC as flotation frothers were used. The results showed that the mean diameter of Sauter (D_{32}) was reduced with the increase of C_f to 630, 600 and 600 μm (two-phase system) and to 700 μm (three-phase system), respectively. The two-phase and three-phase systems BSD curves comparison led to the conclusion that there is displacement of CCC in the presence of ore, with CCC's being 11.3 and 9.35 mg/L (AeroFroth 65), respectively. In the case of other frothers agents, no displacement occurs, 10 mg/L (Flotanol D14) and ~15 mg/L (MIBC). Flotanol D14 was shown to be the frother with the greatest capacity of reduction of the D_{32} in the lowest concentration in the presence of ore and AeroFroth 65 in the absence of ore as the frother with the greatest capacity.

Keywords: flotation, bubble size, three-phase system.

1. INTRODUÇÃO

Devido ao progressivo esgotamento dos depósitos minerais, o setor mineral tem sido forçado a recuperar minérios cada vez de mais baixos teores e de granulometria menor. Para tanto, é necessária excessiva moagem para obter o maior grau de liberação do mineral de interesse que possibilite uma separação seletiva do mineral de ganga. Consequentemente, produz-se muitas partículas finas e ultrafinas. Nesse contexto, o entendimento da DTB com a adição de tensoativos para atingir a faixa de tamanho desejada no processo de concentração por flotação é de fundamental importância, pois uma maior área interfacial de contato bolha-partícula é promovida com quanto menor for o tamanho das bolhas geradas favorecendo a eficiência de adesão das partículas (REIS, 2015).

Apesar do tamanho de bolha e da DTB serem variáveis físicas chaves nos processos de flotação afetando, significativamente a eficiência de captura de partículas pelas bolhas, poucos são os relatos de trabalhos que utilizam de células mecânicas para flotação, principalmente em sistemas trifásicos (líquido – minério – gás) visando estudar a influência do tensoativo nos dois parâmetros (ZHANG, 2016; VAZIRIZADEH et al., (2016); KUAN e FINCH, 2010). Alguns autores como, Almeida et al. (2015), Almeida et al. (2018), estudaram a influência de variáveis físicas e químicas no tamanho da bolha em uma célula de flotação utilizando diferentes espumantes comerciais para sistema trifásico e puderam concluir que a presença de particulados faz a CCC, onde o diâmetro médio das bolhas é mínimo para a menor concentração de espumante (ALMEIDA et al., 2018), seja atingida em concentrações de tensoativo superior ao meio bifásico (líquido – gás) indicando que o espumante apresenta melhor desempenho quando particulados não estão presentes na solução.

2. OBJETIVO

O presente trabalho de pesquisa tem como objetivo específico estudar a influência da concentração dos espumantes AeroFroth 65, Flotanol D14 e MIBC sobre o tamanho médio e a DTB, focando na influência sobre o valor da CCC, na célula mecânica *Magotteaux* de flotação do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM em sistema bifásico e trifásico (25% de sólido), e tipos de espumante, por meio da aplicação da técnica de obtenção de imagens digitais (equipamento *Anglo Platinum Bubble Sizer*). As imagens das bolhas foram processadas e analisadas pelo software *ImageJ* e software estatístico *Statistica*, comparando as CCC's obtidas experimentalmente com correlações da literatura.

3. METODOLOGIA

3.1. Reagentes

Os espumantes AeroFroth 65, Flotanol D14 e MIBC foram utilizados nos estudos de DTB nas concentrações de 2, 5, 10, 20 e 50 mg/L. No caso do sistema trifásico, os depressores ZnSO_4 (100 g/L) e $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (100 g/L) e coletor FloMin C-3330 (2 g/L) foram utilizados em concentrações fixas.

3.2. Minérios Utilizados

Nos ensaios em sistema trifásico (25% de sólido), foram utilizados os minérios sulfetados de Pb e Zn, galena e esfarelita, denominados Compósito 31 (teores médios) e 32 (teores mais altos). Cada minério foi devidamente beneficiado, separado e armazenado em alíquotas de 1 kg para os ensaios de flotação. A granulometria do minério é de característica P_{80} de 125 μm . As características e condições dos estão descritas na Tabela 1.

3.3. Arranjo Experimental

Todos os ensaios foram realizados em célula de flotação *Magotteaux* modelo FM001, equipada com uma cuba de 5 litros. A velocidade de rotação mecânica (1000 rpm), vazão de ar (3 L/min), pressão de bombeamento (69 ~ 103 kPa) e temperatura do fluido (22 ~ 24 °C) foram mantidas nessas faixas de valores.

A captura de uma fração representativa do todo das bolhas para visualização/fotografia utilizou do equipamento *Anglo Platinum Bubble Sizer* (APBS), comercializado pela *Stone Three* (África do Sul). A Figura 1 ilustra o arranjo experimental.

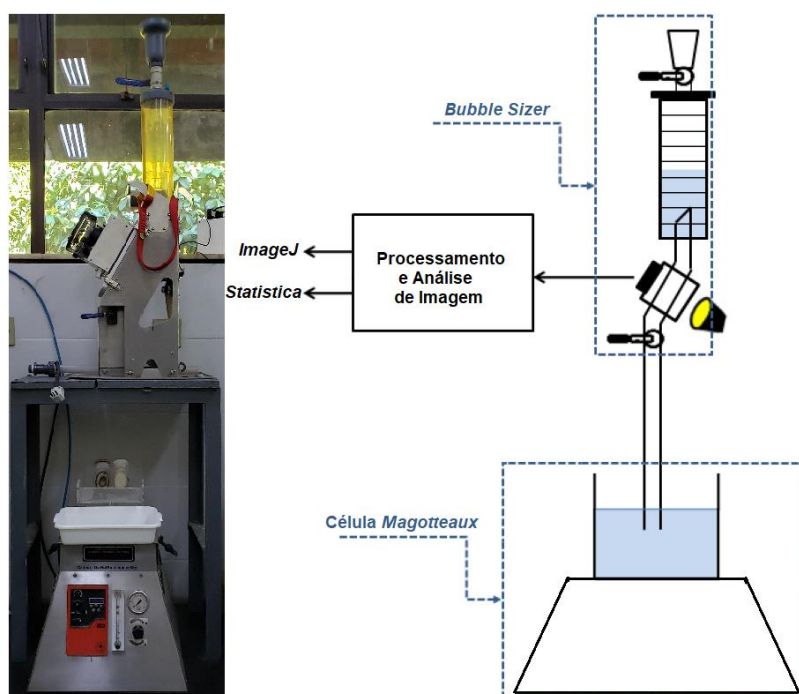


Figura 1: Foto da célula de flotação acoplada ao APBS e desenho do arranjo experimental (adaptado de ALMEIDA et al., 2018).

3.4. Processamento e Análise das Fotografias

O software ImageJ (LOCI, Universidade de Wisconsin) foi utilizado para processamento e análise das fotos. As técnicas de tratamento de imagens utilizadas foram, na seguinte ordem: Conversão da imagem colorida para monocromática (256 tons de cinza – 8 bits); Filtro de banda; Limiarização; Preenchimento das bolhas; Segmentação; Análise das imagens.

Na análise das imagens o diâmetro médio de Sauter (D_{32} ; Equação 1), foi adotado como parâmetro para estudo da DTB. Onde “n” é o número total de bolhas, “i” é o número da bolha, “ n_i ” a bolha de número “i” e “ D_i ” o diâmetro da bolha de número “i”.

O software estatístico utilizou a equação de Laskowski (Equação 2) para construir curvas (D_{32} versus C_f) representativas das DTB's a partir de ajuste dos dados experimentais. Onde “ d_L ” é o diâmetro mínimo de coalescência, “A” a redução de diâmetro e “B” a constante de decaimento (LASKOWSKI et al., 2003).

$$D_{32} = \frac{\sum_{i=1}^n n_i * D_i^3}{\sum_{i=1}^n n_i * D_i^2} \quad (1)$$

$$D_{32} = d_L + A * e^{-B * C_f} \quad (2)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a influência da C_f na DTB para cada um dos três espumantes em sistema bifásico e trifásico com os resultados experimentais (pontos) e com as curvas construídas pela Equação 2 indicando a CCC para cada sistema obtida a partir do método estatístico (CCC_{ME}) e do método da linha de tendência (CCC_{LT}).

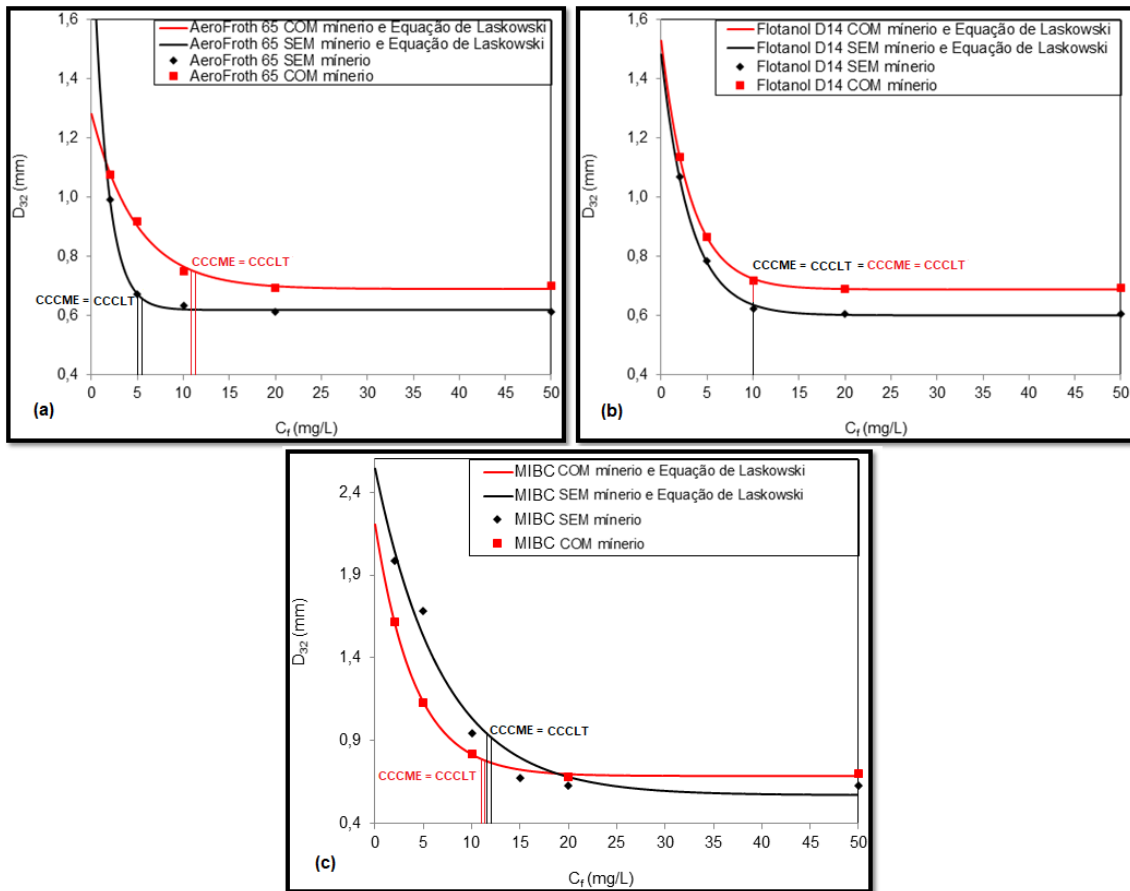


Figura 2: Efeito da C_f sobre o D_{32} nos sistemas bifásico (preto) e trifásico (vermelho).

Segundo a Figura 2, a presença de sólido tem o efeito de aumentar o tamanho de bolha em todos os ensaios realizados com os espumantes AeroFroth 65 e Flotanol D14. No caso do MIBC, o efeito do sólido nas concentrações de 2, 5 e 10 mg/L foi o oposto do esperado, segundo a literatura. É possível que esse comportamento seja causado pela tensão cisalhante do minério nas bolhas, proporcionada pela rotação de 1000 rpm do impelidor rotativo da cuba da célula de flotação, romper as bolhas para tamanhos inferiores ao do seu respectivo sistema bifásico.

O D_{32} diminui acentuadamente com o aumento da concentração de espumante (C_f), atingindo a estabilidade nos valores de 600 μm (sistema bifásico) e 700 μm (sistema trifásico), respectivamente, exceto no MIBC o diâmetro ter estabilizado em 630 μm (bifásico).

Os valores das CCC_{LT} 's são 5,41 e 11,3 (a), 9,8 e 10,1 (b), 12,34 e 11,5 (c) mg/L e os das CCC_{ME} 's são 5 e 12 (a), 10 (b), 13 e 12 (c) mg/L para os sistemas bifásico e trifásico, respectivamente. O software Statistica não só permite entender o comportamento da DTB

dentro da faixa de concentrações de espumante utilizada como também possibilitou o cálculo de valores para os parâmetros A, B e d_L que permitissem a obtenção de equações de Laskowski (Equação 2) que se adequassem aos valores de D_{32} obtidos experimentalmente (curvas de DTB). A análise dos resultados experimentais e dos erros associados a esses parâmetros levaram ao entendimento de que os valores de CCC são 5,41 e 11,3 (a) para os sistemas bifásico e trifásico, ~10 (b) e ~12 (c) mg/L para ambos os sistemas.

O Flotanol D14 se mostrou o espumante com maior capacidade de redução de tamanho de bolha na menor concentração na presença de minério. Na ausência de minério, o AeroFroth 65 se mostrou o espumante com maior capacidade.

Os comportamentos das curvas de DTB indicam que ocorre deslocamento da CCC para e somente o AeroFroth 65. Kuan e Finch (2010) e Vazirizadeh et al. (2016) sugerem que tanto o aumento do diâmetro médio de bolha quanto o deslocamento da CCC no sistema trifásico estão associados a interações superficial promovidas por partículas hidrofóbicas. Sendo essas interações, segundo Zhang (2016), o efeito de ponte bolha-partícula-bolha (partícula fortemente hidrofóbica) e/ou a adsorção do espumante na superfície do sólido (espumante com propriedade coletora), todavia a literatura não oferece uma explicação completa e novos testes serão realizados no futuro para embasar as suposições levantadas aqui.

5. CONCLUSÕES

É verificado que a presença de minério pode causar o deslocamento da CCC (AeroFroth 65) e aumentar o valor do D_{32} mínimo. Com base na literatura, os resultados experimentais reforçam a suposição das propriedades físico-químicas de superfície das partículas que compõem o minério terem papel importante na modificação da DTB.

6. AGRADECIMENTOS

Ao apoio da Eng. Química Renata Nigri de Almeida e do Eng. Químico Hudson Jean Bianchini Couto. Ao CNPq, ao CIEE pela bolsa concedida e ao CETEM pela infraestrutura.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R.N. **Estudo de distribuição de tamanho de bolhas em célula de flotação**. Em: V Jornada do Programa de Capacitação Interna, 2015. p. 183-189.

ALMEIDA, R.N. **Estudo de distribuição de tamanho de bolhas em célula de flotação**. Em: VII Jornada do Programa de Capacitação Institucional, 2018.

LASKOWSKI, J.S.; TLHONE, T.; WILLIAMS, P.; DING, K. Fundamental properties of the polyoxypropylene alkyl ether flotation frothers. **International Journal of Mineral Processing**, v. 72, p. 289-299, 2003.

KUAN, S.H.; FINCH, J.A. Impact of talc on pulp and froth properties in F150 and 1-pentanol frother systems. **Mineral Engineering**. v. 23, p. 1003-1009, 2010.

REIS, A.S. **Estudo da geração de bolhas de diversos tamanhos em coluna de flotação**. 2015. 112p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia (Brasil).

ZHANGH, W. The Effects of Frothers and Particles on the Characteristics of Pulp and Froth Properties in Flotation - A Critical Review. **Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering**, v. 4, p. 251-269, 2016.

VAZIRIZADEH, A.; BOUCHARD, J.; CHEN, Y. Effect of particles on bubble size distribution and gas hold-up in column flotation. **International Journal of Mineral Processing**, v. 57, p. 163-173, 2016.