

FLOTAÇÃO DE FLUORITA EM COLUNA SEM ÁGUA DE LIMPEZA

Marcos A. Batistella, Carlos H. Sampaio, Washington Aliaga, Irineu A.S. de Brum

LAPROM-UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500 Porto Alegre - RS
E-mail: marcos.batistella@ufrgs.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho é estudar o desempenho da coluna de flotação sem a adição de água de limpeza. A coluna tem sido pouco utilizada para a flotação de minerais industriais, principalmente pelo fato de exigir um alto custo de investimento devido ao alto grau de sofisticação empregado no controle. Além disso, as condições pelas quais as colunas são operadas atualmente não são favoráveis para a flotação de partículas grossas, como em circuitos *rougher*. Porém, este estudo mostra que a operação da coluna sem a adição de água de limpeza e sem um controle rígido da altura da camada de espuma foi eficiente para a flotação de fluorita mostrando resultados superiores à flotação convencional, em uma única etapa. Sob esta condição, diversos parâmetros foram otimizados, como velocidades de alimentação, concentrado e ar. Os resultados experimentais mostram uma boa seletividade, mesmo usando-se um minério de fluorita fino, se comparado com a flotação convencional. Entre os parâmetros testados, velocidade do concentrado influenciou significativamente o processo, seja reduzindo a recuperação ou aumentando o teor de sílica no concentrado. O não emprego de água de limpeza, além de tornar esta etapa mais simples, tem benefícios na recuperação de partículas grossas, podendo, ainda, aumentar a capacidade de carregamento da coluna, resultando na possibilidade de utilização em circuitos *rougher*.

PALAVRAS-CHAVE: flotação em coluna; fluorita; água de limpeza.

ABSTRACT

The aim of this work is to study of the performance of column flotation without wash water addition. Column has been little used for the flotation of industrial minerals, mainly because of the high cost of investment required for control. Furthermore, the conditions by which the columns are operated today are not favorable for the flotation of coarse particles, as in *rougher* circuits. However, this study shows that the operation of columns without wash water addition and without a strict control of the height of the froth layer is efficient for the flotation of fluorite showing superior results to conventional flotation, in a single step. Under such conditions, several parameters were optimized, as feed, concentrate and air velocities. The experimental results show a good selectivity, even using a fine fluorite ore compared to the conventional flotation. Among the tested parameters, concentrate velocity significantly influence the process. The use of the column without wash water addition improve recovery of coarse particles and increase carrying capacity of columns, resulting in possibility of its use in *rougher* circuits.

KEY WORDS: column flotation; fluorite; wash water.

1. INTRODUÇÃO

O processo de flotação em coluna constitui uma das alternativas mais estudadas, nas últimas décadas, na área de tratamento de minérios. Este processo se incorporou gradualmente como parte importante de muitos fluxogramas de beneficiamento, principalmente devido à economia de capital e custos operacionais, bem como pelo melhor desempenho metalúrgico, se tornando, rapidamente, o principal equipamento em etapas de limpeza, principalmente para partículas finas. Para a operação da coluna da forma tradicional, é necessário um alto investimento em instrumentação. Além disso, as características da alimentação (vazão, teor, concentração de sólidos, distribuição granulométrica, etc...) são variáveis, o que torna ainda mais complicado o controle da coluna, e, conseqüentemente, ocorrem variações na recuperação e teor do concentrado. Infelizmente, um bom sistema de controle é caro e requer manutenção periódica. Além disso, as condições de operação as quais as colunas são operadas não são as ideais para operar em um circuito *rougher*.

Mesmo sendo usada por muitos anos em plantas de beneficiamento, o potencial total da coluna ainda não é totalmente explorado.

Embora tenham sido desenvolvidas diferentes concepções para as colunas de flotação, o tipo mais empregado é conhecido como coluna canadense. A metodologia desenvolvida por eles inclui um alto investimento em equipamentos e, principalmente, operada em condições de bias positivo. O objetivo principal do sistema de controle é manter a coluna em condição operacional estável, ajustando automaticamente o nível da interface polpa/espuma, através do controle das vazões da água de limpeza e do rejeito. Porém, aumentando-se a vazão do rejeito, pode implicar em uma eficiência metalúrgica menor. Por outro lado, aumentando-se a vazão da água de limpeza podem ocorrer problemas de estabilidade da camada de espuma, resultado em uma queda significativa no desempenho metalúrgico.

A adição de água de limpeza no topo da coluna, na forma de um chuveiro, é utilizada para manter a camada de espuma constante e eliminar as partículas arrastadas, produzindo um efeito de limpeza da espuma, melhorando, dessa forma, o teor do concentrado. Esse efeito de limpeza pode ocorrer pela drenagem da água, que carrega as partículas de ganga para a zona de coleta. O volume de água que cruza a interface polpa/espuma é chamado de água de bias. É estimada pela diferença entre a água de limpeza e do concentrado ou entre alimentação e rejeito. Para manter o sistema o mais simples possível, a vazão do rejeito é mantida igual à vazão da alimentação. Dessa forma, as definições de bias se tornam equivalentes já que representam o excesso de água que cruza a interface polpa/espuma. Esta condição é chamada de bias positivo, que é geralmente empregada na prática.

O design atual das colunas foi modelado a partir de minérios sulfetados. Entretanto, para outros minerais, a espécie de interesse tem teores mais elevados. Devido a isso, as condições de operação das colunas devem ser diferentes. Com este objetivo, diversas modificações têm sido propostas. Rubinstein (1995) construiu uma coluna de alta capacidade com 5,5 m de altura e 9 m² de seção, para flotar carvão. Oteyaga e Soto (1994), propuseram o uso da coluna em bias negativo para flotar partículas grossas. Aliaga e outros (2006, 2007), usando bias negativo, obtiveram bons resultados para flotar um minério de fluorita.

Dentro da metodologia atual de operação das colunas, a altura da camada de espuma, a nível de laboratório, é usualmente inferida por diferença de pressão com dois problemas: scaling e variações na densidade aparente devido a mudanças nos teores de ar e sólidos na polpa e na zona de espuma. Desde que hold up, altura da camada de espuma e bias não podem ser medidos diretamente, estas variáveis devem ser inferidas através de outras variáveis medidas. Estudos conduzidos em plantas piloto, usando tanto condutividade elétrica e temperatura, são reportados por Moys e Finch (1988), e complementados por Bergh e Yianatos (1993), Uribe-Salas, Gomez, e Finch (1994). Desenvolvimentos recentes são orientados no uso de modelos empíricos e teóricos para inferir estas variáveis. Atualmente nenhuma aplicação industrial foi reportada usando estas metodologias.

O tratamento de partículas finas é importante, pois a produção destas nos processos de cominuição não pode ser eliminada, e quantidades significativas são perdidas devido a ineficiências dos processos.

Dessa forma, o beneficiamento do rejeito da flotação é, hoje em dia, motivo de muito interesse na área mineral por causa do potencial como fonte de minerais, além de motivos ambientais. Milhões de toneladas são descartadas na flotação por vários motivos, principalmente ineficiência dos processos em capturar a fração menor que 10 µm (Sivamohan, 1990; Moret e outros; 2003), principalmente nas frações finas e grosseiras. A primeira tem aumentado devido à exigência de moagem mais fina de minérios complexos levando a alimentação de frações cada vez mais finas à flotação. Minerais de valor presentes no rejeito normalmente estão distribuídos nas frações grosseiras e finas dos minérios.

Nos últimos anos, em função da necessidade de otimização de tecnologias e da busca de viabilidade econômica em determinados sistemas, as colunas de flotação têm sido empregadas para recuperação e concentração de minerais, e não só para limpeza. Este fenômeno impulsionou o desenvolvimento de novas tecnologias, como as células pneumáticas, flash flotation e a célula Jameson, entre outras. Entretanto, até o momento, estas células possuem um campo de aplicação restrito a casos particulares.

Com isto em mente, a flotação de um minério rico de fluorita foi estudado em operações diferentes das tradicionalmente empregadas na indústria.

Neste trabalho se aplicaram as condições reportadas por Aliaga e outros (2007), com um minério de fluorita fino (90% passante em 37 μm). Os resultados obtidos confirmam os fatos discutidos por esses autores. Estes resultados são discutidos do ponto de vista das recuperações e teores.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Minério

O material utilizado nos estudos de flotação foi uma amostra de minério de fluorita, proveniente da, Cia. Nitroquímica localizada na 2ª Linha Torrens, no Município de Morro da Fumaça, ao Nordeste de Criciúma, Santa Catarina. A amostra foi coletada na saída da tubulação dos finos do rejeito da flotação, com aproximadamente 4 % de sólidos, sendo, posteriormente, desaguada, elevando a concentração de sólidos para 15 %. Esta fração é 90 % passante em 37 μm , com teor de fluorita de 29 %.

2.2 Reagentes

Os reagentes utilizados, fornecidos pela empresa, são: *tall oil*, soda cáustica, soda barrila e amido. A concentração de coletor utilizada foi de 200 g/t e de amido 390 g/t.

2.3 Procedimentos

Os testes foram realizados em uma coluna de 10 cm de diâmetro e altura de 3 metros, construída em PVC. Duas bombas pneumáticas controlavam as vazões da alimentação e do rejeito. A alimentação estava localizada a 1,1 metros do topo da coluna. A polpa foi preparada com uma concentração de sólidos de 15 % e condicionada em pH 10. Soda caustica e soda barrila foram utilizados para ajustar o pH da polpa. Os reagentes foram, então, adicionados na seguinte ordem: amido (10 minutos de condicionamento) seguido do *tall oil* (condicionado por 5 minutos). A coluna foi preenchida com água em pH 10. Após que a polpa estava já pré-condicionada foi alimentada à coluna com vazões de alimentação, rejeito e ar pré-determinadas. Quando o processo atingiu o regime estacionário, amostrou-se concentrado e rejeito. Modificou-se a nova variável e, após 15 minutos foi realizada nova amostragem. As amostras foram pesadas, filtradas, secas e analisadas em termos dos teores de fluorita e sílica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 1 mostra os resultados da flotação em coluna analisando-se a influência da velocidade de alimentação na recuperação e teor. Finch e Dobby (1990) mostraram que quando a vazão da alimentação aumenta, o tempo de retenção diminui, aumentando a recuperação. Entretanto Goodall e O'Connor (1992) provaram que o oposto pode ser possível.

Neste trabalho a recuperação se manteve constante, porém o teor diminui com o aumento da velocidade de alimentação. Isso se deve ao arraste hidrodinâmico de partículas de ganga.

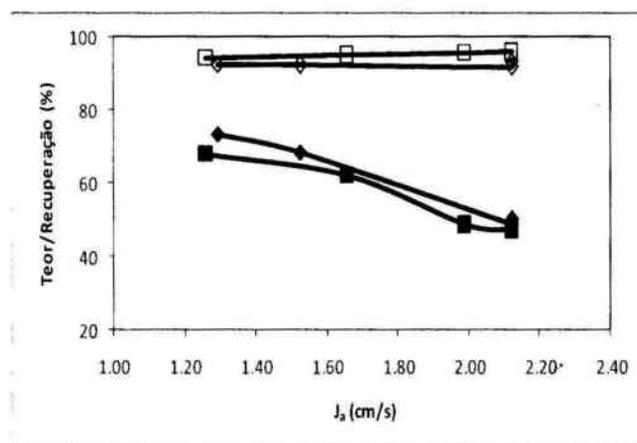


Figura 1. Recuperação e teor (%) de CaF_2 em função da velocidade de alimentação (J_a). (■ $J_a=1,55$; ♦ $J_a=0,66$; $J_a=1,21$ cm/s. ■ ♦ teor; ◊ ◊ recuperação)

Na figura 2, é mostrada a influência do bias (aqui considerado como sendo a diferença entre a velocidade de alimentação e o rejeito). Aumentando-se o bias não houve diferença significativa na recuperação com uma queda significativa no teor, sendo que a recuperação manteve-se em valores elevados, acima de 90 %, mostrando que a coluna operada com bias negativo é muito eficiente, mesmo para flotação de partículas finas. Na verdade, no circuito da empresa, essa fração é descartada como rejeito devido à ineficiência do processo. Mais uma vez, isso mostra que, sob condições de bias negativo, a coluna mostra-se altamente eficiente em uma etapa *rougher*, ou, neste caso, *scavenger*.

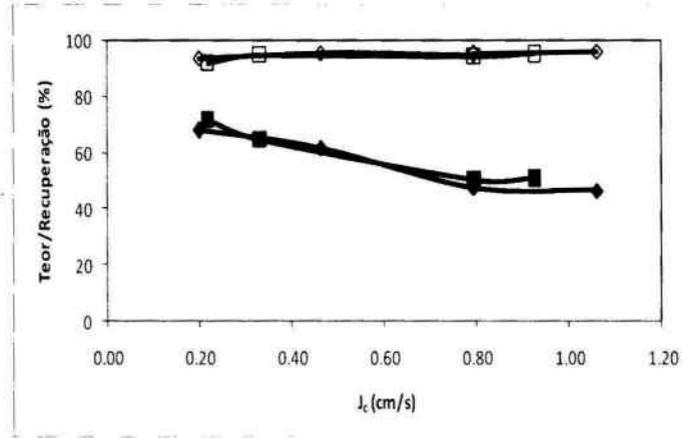


Figura 2. Recuperação e teor em função da velocidade de concentrado.
(■ $J_g=1,1$; ♦ $J_g=2,21$; $J_a=1,3-2,2$; $J_i=1,19-1,22$; ■, ♦ teor; □, ◇ recuperação)

Na literatura se estabelece que, com diversos minerais (Klassen e Mokrousov, 1963; Moys, 1989), um aumento na velocidade de aeração resulta em uma espuma mais estável, com uma recuperação de água maior. Engelbrecht e Woodburn (1975) e Feteris e outros (1987) demonstraram que a estabilidade da espuma é dependente da altura da camada de espuma. A espuma pode eventualmente colapsar com o aumento da altura devido ao afinamento do filme líquido pela drenagem da água.

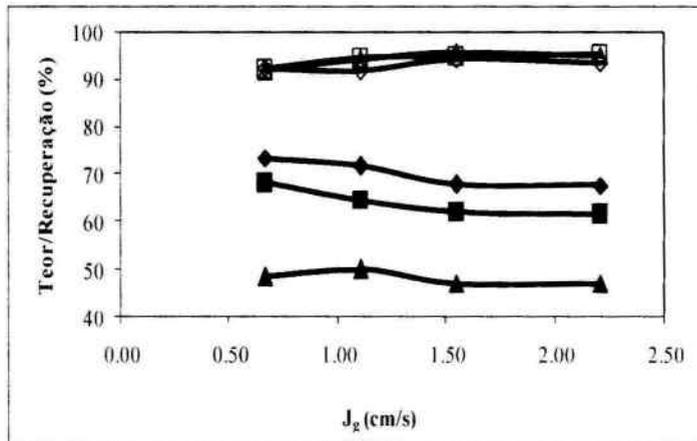


Figura 3. Recuperação e teor em função da velocidade de ar.
(♦ $J_a=1,3$; ■ $J_a=1,6$; ▲ $J_a=2$; $J_i=1,1-1,3$; ♦ ■ ▲ teor; Δ ◇ recuperação)

Por outro lado, conforme a velocidade do ar aumenta, a recuperação aumenta até um ponto máximo e, depois deste ponto, ela começa a diminuir (Finch e Dobby, 1990; Mavros e outros, 1993; Tao e outros, 2000). Neste estudo, onde a altura da camada de espuma não foi controlada, no intervalo de velocidades analisadas, a recuperação se manteve aproximadamente constante (fig. 3). Porém o teor diminuiu com o aumento da velocidade do ar. Isso se deve ao arraste de partículas de ganga. Além da diminuição do teor com o aumento da aeração, a figura mostra também uma diminuição do teor em função da velocidade de alimentação, efeito já discutido. Em muitos estudos em relação à água de limpeza, foi estabelecido que com o aumento da vazão, o teor aumenta e a recuperação diminui. Em outros estudos, O efeito da altura da camada de espuma quanto mais fina a camada de espuma, maior o teor e menor a recuperação (Goodall and O'Connor, 1992; Tao et al., 2000).

No caso da figura 3, onde a camada de espuma surge de forma natural, porém com espessura suficiente para manter a recuperação contante, influenciando significativamente apenas o teor.

Deve ser notado que o melhor resultado em termos de teor (79 %) o resultado não foi ótimo devido ao arraste hidrodinâmico das partículas, uma vez que este minério é fino.

4. CONCLUSÕES

Quanto maior a velocidade de alimentação, menor o teor, porém a recuperação se mantém constante.

A velocidade do ar não tem influência significativa na recuperação e no teor.

O bias (considerado como sendo a diferença entre as velocidades de rejeito e alimentação) não mostrou influência significativa apenas no teor (pelos motivos já discutidos).

De uma forma geral, o desempenho da coluna segue a tendência esperada e obtida em estudos anteriores: recuperação alta com teores dependentes das condições de operação, principalmente da alimentação e do bias.

A coluna de flotação mostrou-se muito eficiente na flotação da fração fina de fluorita, que atualmente é descartada pelo processo atual da empresa, mostrando que, mesmo operada em condições de bias negativo, podemos obter altas recuperações, com teores relativamente elevados, ainda mais se comparados com a flotação convencional.

Essa forma de operar a coluna traz ainda, como vantagem, o fato de exigir um custo de investimento muito menor, pois toda a instrumentação necessária para operar a coluna da forma como foi originalmente proposta, não é necessária, visto que, mesmo sem adição de água de limpeza e sem um controle rígido da camada de espuma, foi possível obter recuperações altas, sempre acima de 90 %, com teores elevados para uma etapa *rougher*.

5. REFERÊNCIAS

- Aliaga, W., Sampaio, C. H., Brum, I. A. S., Ferreira, K. R. S., Batistella, M. A. Flotation of high-grade fluorite in a short column under negative bias regime. *Minerals Engineering* 19 (2006) p. 1393–1396
- Aliaga, W., Sampaio, C. H., Brum, I. A. S., Ferreira, K. R. S., Batistella, M. A. Column flotation of high grade fluorite without wash water addition. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy (Trans. Inst. Min Metall. C)* 2007 vol 116 n° 4.
- Bergh, L. G., & Yianatos, J. B. (1993). Control alternatives for flotation columns. *Minerals Engineering*, 6(6), 631–642.
- Bergh, L. G. & Yanatos, J. B. Control alternatives for flotation columns. *Minerals Engineering*, Volume 6, Issue 6, June 1993, Pages 631-642
- Bergh, L. G. & Yanatos, J. B. Experimental studies on flotation column dynamics. *Minerals Engineering*, vol 7, n° 2/3, p 345-355, 1994.
- Engelbrecht, J.A., Woodburn, E.T. The effect of froth height, aeration rate and gas precipitation on flotation. *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.* 76, 1975, 125–132.
- Goodall, C. M., O'Connor, C. T. Residence time distribution studies in a flotation column. Part 2: the relationship between solids residence time distribution and metallurgical performance. *International Journal of Mineral Processing*, Volume 36, Issues 3-4, October 1992, Pages 219-228
- Klassen, V.L., Mokrousov, V.A. *An Introduction to the Theory of Flotation*. Butterworth, London, 1963
- Laplante, A.R., Toguri, J.M., Smith, H.W., 1983. The effect of air flow rate on the kinetics of flotation: Part 1. The transfer of material from the slurry to the froth. *Int. J. Miner. Process.* 11, 203–219.
- Mavros, P., Kydros, K.A., Matis, K. A., Papadoyannis, I. N. Selective separation of arsenopyrite from an auriferous pyrite concentrate by sulphonate flotation *International Journal of Mineral Processing*, Volume 38, Issues 1-2, May 1993, Pages 141-151.
- Mehrotra, S.P., Kapur, P.C., 1974. Optimal-suboptimal synthesis and design of flotation circuits. *Sep. Sci.* 9, 167–184
- Moret, A., Rubio, J. Sulphate and molybdate ions uptake by chitin-based shrimp shells. *Minerals Engineering*, Volume 16, Issue 8, August 2003, Pages 715-722
- Öteyaka, B., Soto, H. Modelling of negative bias column for coarse particles flotation. *Minerals Engineering*, Volume 8, Issues 1-2, January-February 1995, Pages 91-100
- Rubinstein, J.B., 1995. *Column Flotation, Processes, Design and Practices*. Gordon and Breach Science Publishers
- Sivamohan, R. The problem of recovering very fine particles in mineral processing - A review. *International Journal of Mineral Processing*, Volume 28, Issues 3-4, May 1990, Pages 247-288
- Szatkowski, M., Freyburger, W.L., 1985. Kinetics of flotation with fine bubbles. *Trans. Inst. Min. Metall., Sect. C* 94, C61–70.
- Tao, D., Luttrell, G. H., Yoon, R. -H. An experimental investigation on column flotation circuit configuration. *International Journal of Mineral Processing*, Volume 60, Issue 1, August 2000, Pages 37-56

- Tao, D., Luttrell, G. H., Yoon, R. -H. A parametric study of froth stability and its effect on column flotation of fine particles. *International Journal of Mineral Processing*, Volume 59, Issue 1, April 2000, Pages 25-43
- Uribe-Salas, A., Gomez, C. O., Finch, J. A. A conductivity technique for gas and solids holdup determination in three- phase reactors. *Chemical Engineering Science*, Volume 49, Issue 1, 1994, Pages 1-10
- Yianatos, J.B., Finch, J.A., Laplante, A.R., 1988. Selectivity in column flotation froths. *Int. J. Miner. Process.* 23, 279-292.