

Ativação de minerais de sulfeto na flotação conduzida com nitrogênio

Thais Ferreira Marks Brasil

Bolsista de Iniciação Científica, Engenharia Química, UFRJ

Marisa Bezerra de Mello Monte

Orientadora, Engenheira Química, D. Sc.

Resumo

A usina da Rio Paracatu Mineração, em Paracatu, Minas Gerais, utiliza cianeto para recuperar o ouro contido em concentrados provenientes de um minério sulfetado aurífero. Os processos usados para a obtenção dos concentrados de ouro consistem em gravítico (jigüe) e flotação. Os rejeitos são depositados na barragem de rejeitos, a uma taxa de 41 Mt/a. Existe um projeto futuro em potencial que é a dessulfurização dos rejeitos da mina, para reduzir a concentração de sulfeto dos rejeitos, antes da deposição. Neste trabalho, investigou-se a ativação dos sulfetos na flotação conduzida com nitrogênio de uma amostra do rejeito da cianetação. Uma das principais dificuldades, além da depressão dos sulfetos pelo cianeto residual, refere-se à recuperação dessas partículas finas e ultrafinas. Os estudos de estabilidade mostraram que a força iônica e o valor de pH influenciam o estado de agregação dessas partículas. Os melhores resultados de flotação revelaram uma recuperação de sulfetos de 30%, com o uso de nitrogênio, como gás de flotação.

1. Introdução

A empresa Rio Paracatu Mineração – RPM- processa um minério sulfetado aurífero de baixo teor (1,5 ppm). A nova planta Semi Autogenous Grinding - SAG processa o minério sulfetado da Mina Morro do Ouro, que se inicia com a britagem. A unidade de britagem consiste de um britador de rolos que alimenta um transportador tipo “sacrifício” seguido por um transportador de longa distância até a pilha de estocagem coberta. Os transportadores de correias conduzem o minério britado para a planta de moagem, que consiste de um moinho SAG seguido por dois moinhos de bolas em paralelo processando 3971 t/h, a um P_{80} de 75 μm .

Um estágio de concentração gravítica usando jigües na carga circulante dos moinhos foi introduzido e isto demonstrou ser muito eficiente para remover a arsenopirita grosseira associada ao ouro e finos da carga circulante. Os concentrados do jigüe com teor de ouro de 25 g/t juntam-se aos concentrados finais do processo de beneficiamento. O circuito de flotação consiste de quatro baterias com seis células *rougher*. Os coletores AP-7249 (5 g/t) e AP-3473 (45 g/t) da Cytec, e o espumante MIBC (30 g/t) são adicionados diretamente nas células. O pH da polpa de flotação é ajustado em 8, com uma solução de 10% de CaO. O concentrado segue para o circuito *cleaner*, que consiste de duas baterias com cinco células *cleaner*.

O concentrado da separação gravítica combinado ao concentrado da flotação é espessado antes da remoagem para remover a maior parte dos reagentes e para garantir uma densidade ótima de polpa, antes de serem bombeados para a planta de hidrometalurgia.

A extração de ouro dos concentrados combinados e remoídos é executada em um circuito CIL convencional. A planta CIL é precedida por um tanque de pré-aeração que oxida e precipita metais básicos antes da cianetação

para reduzir o consumo global de cianeto. O ouro é adsorvido pelo carvão em polpa na planta CIL. O carvão ativado é removido pelo peneiramento da polpa e o ouro é removido do carvão ativado por uma coluna de dessorção e por eletrorecuperação. Os rejeitos são depositados na barragem de rejeitos, a uma taxa de 41 Mt/a. Existe um projeto futuro em potencial que é a dessulfurização dos rejeitos da mina por flotação, para reduzir a concentração de sulfeto dos rejeitos antes da deposição. Uma das principais dificuldades, além da depressão dos sulfetos pelo cianeto residual (Miller *et. al.*, 2006), refere-se à recuperação dessas partículas em tamanhos considerados finos ($P_{90} \sim 20 \mu\text{m}$).

Em geral, a pouca eficiência de coleta por flotação dessas partículas reside no baixo valor da constante cinética das partículas finas do mineral valioso bem como a interação das mesmas com os minerais da ganga, com conseqüente perda da seletividade (Johnson, 2006). O baixo valor da constante cinética deve-se a pouca probabilidade dessas partículas colidirem com as bolhas de ar, pela baixa habilidade de atravessar os fluxos de linha ao redor da bolha de ar e de se posicionar próximo à superfície da bolha, para que ocorra a adesão. É importante ressaltar a pouca eficiência de adsorção dos coletores pela presença de espécies hidrofílicas aderidas às partículas do mineral valioso.

2. Objetivo

Neste trabalho, investigou-se a ativação dos sulfetos na flotação conduzida com nitrogênio, a partir de uma amostra do rejeito. Nos estudos de estabilidade avaliaram-se os seguintes parâmetros: pH e força iônica. Os estudos de flotação foram conduzidos na presença e na ausência de nitrogênio, como gás de flotação.

3. Experimental

3.1 Amostras e Reagentes

A amostra de rejeito de cianetação (cerca de 50 L) era proveniente da Unidade de Hidrometalurgia da RPM e foi coletada antes da sua deposição na barragem. A amostra foi secada e homogeneizada para a retirada de alíquotas (250 g) para análises químicas e granulométricas bem como para os estudos de estabilidade e flotação. A análise química por via úmida revelou que a mesma continha 0,500 g/t Au; 12,3% S; 53.625 ppm As, 133.404ppm Fe e 948 ppm Cu. A mineralogia básica da amostra consiste de quartzo, moscovita e illita; os minerais acessórios, clorita, siderita, albita e outros; sulfetos principalmente pirita e arsenopirita. Os reagentes utilizados no presente estudo foram de grau analítico, exceto o coletor AERO7249A Promoter, o Amil xantato de potássio (PAX) e o espumante metil isobutil carbinol produzidos pela Cytec.

3.2 Estudos de Estabilidade das Suspensões

Nesta etapa do experimento, adicionou-se 5 g de amostra e 60 mL de eletrólito (solução de cloreto de potássio) em um Becker de 100 ml. A suspensão formada foi homogeneizada por cinco minutos pelo auxílio de um agitador magnético e então, a suspensão foi transferida para a célula do equipamento Malvern. Para cada variável analisada, eram obtidas as curvas de distribuição volumétrica em função do tamanho de partícula. As

variáveis estudadas foram a concentração de eletrólito e o pH da suspensão, para verificar o efeito do pH e da força iônica na estabilidade partículas da amostra em estudo.

3.3 Estudos de Flotação

Os experimentos preliminares de flotação foram realizados em célula de laboratório *Denver* com rotação de 1200 rpm, utilizando-se uma cuba nominal de 3,0 L e amostras de 250 g. O controle do valor de pH foi efetuado através de um medidor digital marca PHTEK. Procedeu-se inicialmente a formação da polpa na própria célula com a adição da amostra e de 1L de eletrólito (KCl), na concentração de 1×10^{-3} M. Durante as etapas de condicionamento, o pH foi mantido em 8,0 utilizando-se uma solução de KOH 1M. A Tabela 1 apresenta o sistema de reagentes e as condições utilizadas nos ensaios de flotação. As frações flotadas e não flotadas eram filtradas e após secagem em estufa, eram pesadas. Calculava-se, então, a recuperação mássica obtida. Todos os ensaios foram realizados em duplicata, utilizando-se o valor médio dos resultados. O processo de flotação consistiu das etapas *rougher*, *cleaner* e *re-cleaner*. Para quantificação das fases presentes nos produtos obtidos foi usada a técnica de picnometria a gás hélio, conforme discutido na próxima seção.

3.4 Picnometria a Gás Hélio

Os produtos obtidos nos ensaios de flotação foram secados até a obtenção de peso constante. A seguir, o cadinho foi lavado com álcool e secado pelo auxílio de injeções de ar comprimido. Introduziu-se a amostra no cadinho, até se obter cerca de 1/3 do volume do mesmo. A amostra introduzida no cadinho foi pesada e o valor da massa digitalizado. Antes de iniciar a análise propriamente dita, a amostra, colocada na câmara do Picnômetro, foi submetida a repetidas purgas com hélio, para remoção de impurezas e umidade. A seguir, foi realizada a medida da densidade. A partir dos valores de densidade obtidos, obteve-se o teor das fases do minério em percentual, conforme apresentado na equação (1)

$$\frac{1}{\delta} = \frac{m_a}{\delta_a} + \frac{m_b}{\delta_b} \quad (1)$$

onde :

δ = densidade real medida no picnômetro

m= fração em massa da fase

a= fase a silicatos

b= fase b sulfetos

A equação geral para n fases seria:

$$\frac{1}{\delta} = \sum_i^N \frac{m_i}{\delta_i} \quad (2)$$

Tabela 1. Condições e Sistemas de Reagentes Utilizados

| Condições Mantidas | Sistemas de Reagentes | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|----------------|----------|-----------------|------------|----------------|-------|
| | 1º | AXP | AXP | AERO 7249A | AERO 7249A | CUSO4 | CUSO4 |
| condicionamento | (10 kg/t) | (10 kg/t) | (2 kg/t) | (2 kg/t) | (7 kg/t) | (7 kg/t) | |
| | 10 min | 10 min | 3 min | 3 min | 5 min | 5 min | |
| 2º condicionamento | | | | | AXP | AXP | |
| | | | | | (10 kg/t) | (10 kg/t) | |
| | | | | | 10 min | 10 min | |
| Antes da adição de ar ou nitrogênio | MIBC | MIBC | ----- | Etapa Recleaner | MIBC | Rougher | |
| | 17 kg/t | 34 kg/t | | MIBC | 34 kg/t | MIBC | |
| | | | | 17 kg/t | | 17 kg/t | |
| | | | | | | 17 kg/t | |
| Tipo de aeração | Ar | N ₂ | Ar | N ₂ | Ar | N ₂ | |
| Vazão | 10 L/min | 10 psi | 10 L/min | 10 psi | 10 L/min | 10 psi | |
| Tempo de Flotação | 1'50'' | 1'10'' | 2'15'' | 1'20'' | 1'15'' | 1'50'' | |

3. Resultados e Discussão

As Figuras 1 a e b apresentam as distribuições por faixa de tamanho da amostra de rejeito de lixiviação. Os dados apresentados na Figura 1a foram obtidos por classificação a úmido, utilizando-se peneiras. A Figura 1b apresenta a distribuição por faixa de tamanho para as partículas que apresentaram uma granulometria < 38 µm, as quais foram coletadas nos ciclones do equipamento Cyclosizer. Conforme pode ser observado, 65% das partículas encontram-se na faixa de tamanho abaixo de 20 µm. Para a fração < 38 µm da amostra de rejeito, observou-se que 90% das partículas encontram-se em faixas de tamanho inferiores a 13 µm.

O efeito da concentração do eletrólito na agregação das partículas foi investigado (Figura 2). Para tal finalidade, uma alíquota da amostra de rejeito foi condicionada com soluções de cloreto de potássio, nas concentrações de 10⁻¹, 10⁻² e 10⁻³ M. O aumento da concentração de KCl promoveu uma diminuição da agregação das partículas, mais acentuada para 10⁻¹ KCl. Com o aumento da força iônica ocorreu um aumento da estabilidade da suspensão, explicada por uma força de hidratação associada com a adsorção de contra-íons hidratados na superfície das partículas (Yotsumoto e Yoon, 1993).

A Figura 3 apresenta a influência do pH na estabilidade das partículas finas e ultra finas da amostra de rejeito. A interação entre as partículas é fortemente dependente do valor do pH do meio.

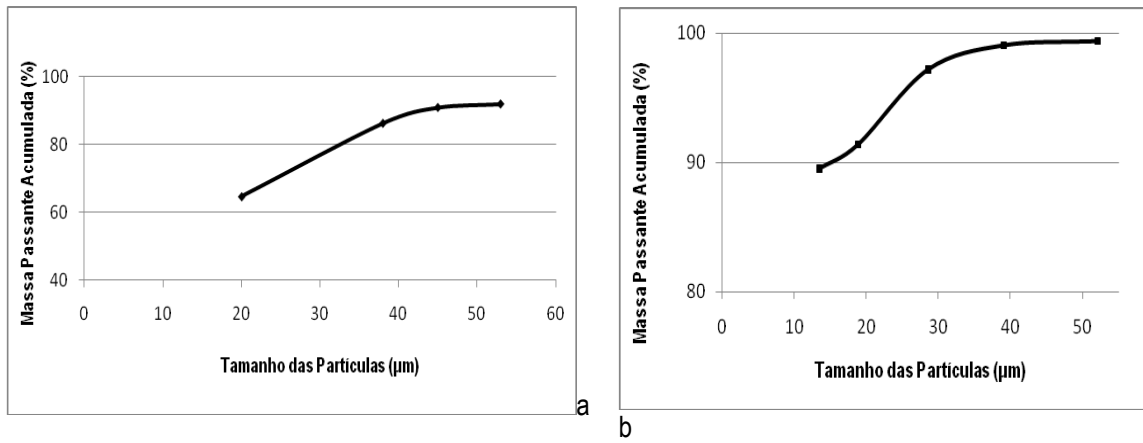


Figura 1. Distribuição de partículas por faixa de tamanho, obtidas por (a) peneiramento a úmido e (b) cyclosizer.

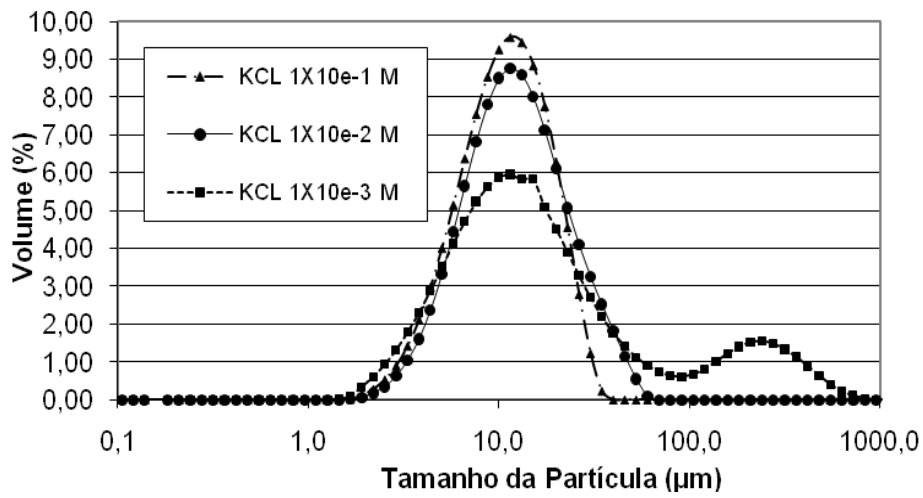


Figura 2. Efeito da força iônica na distribuição das partículas por faixa de tamanho.

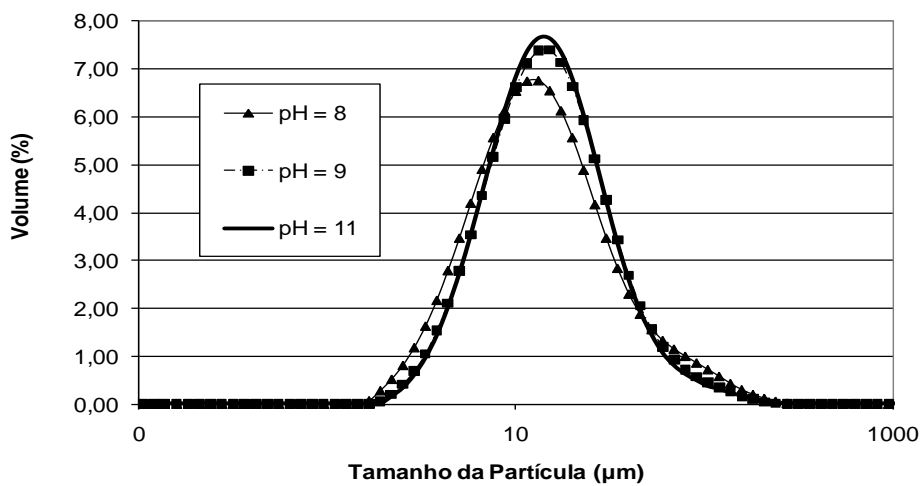


Figura 3. Influência do valor de pH na distribuição das partículas por faixa de tamanho

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nos estudos de flotação, conduzidos na presença e na ausência de nitrogênio, como gás de flotação. Conforme pode ser observado, o coletor PAX apresentou uma maior percentual de sulfetos no concentrado *recleaner*, quando ar foi utilizado como gás de flotação, porém, obtendo-se uma recuperação muito baixa. O uso de AERO7249 e N₂ apresentou uma maior recuperação, obtendo-se um concentrado *recleaner* contendo 67% de sulfetos. Neste sistema, o uso de sulfato de cobre, como ativador, não apresentou um bom desempenho.

Constatou-se ainda, que a recuperação das partículas finas e ultrafinas da ganga é bastante significativa. Nessas circunstâncias, uma dispersão ineficiente poderia estar contribuindo para a diminuição da seletividade. A baixa recuperação das partículas de sulfeto deve-se ainda ao pouco recobrimento do coletor. A presença de espécies hidrofílicas (hidróxidos metálicos) dificulta a ação do coletor.

Tabela 2. Resultados dos Ensaio de Flotação

| PAX na presença e na ausência de N₂ | | | Composição (%) | | Recuperação (%) | |
|--|---------|--------------------------------|----------------|-------|-----------------|-------|
| Produtos | % Massa | Densidade (g/cm ³) | Sulfetos | Ganga | Sulfetos | Ganga |
| Alim. | 100 | 2,9005 | 16,67 | 83,33 | 100 | 100 |
| Concentrado Recleaner s/ N ₂ | 0,9 | 4,1263 | 69,07 | 30,93 | 3,73 | 1,67 |
| Concentrado Recleaner c/ N ₂ | 2,9 | 3,2864 | 37,37 | 62,63 | 6,50 | 10,90 |
| AERO7249A na presença e na ausência de N₂ | | | Teor (%) | | Recuperação (%) | |
| Produtos | % Massa | Densidade (g/cm ³) | Sulfetos | Ganga | Sulfetos | Ganga |
| Alim. | 100 | 2,9005 | 16,67 | 83,33 | 100 | 100 |
| Concentrado Recleaner s/ N ₂ | 2,2 | 3,2803 | 37,07 | 62,93 | 4,89 | 8,31 |
| Concentrado Recleaner c/ N ₂ | 7,4 | 4,0447 | 66,56 | 33,44 | 29,55 | 14,84 |
| CuSO₄ + PAX na presença e na ausência de N₂ | | | Teor (%) | | Recuperação (%) | |
| Produtos | % Massa | Densidade (g/cm ³) | Sulfetos | Ganga | Sulfetos | Ganga |
| Alim. | 100 | 2,9005 | 16,67 | 83,33 | 100 | 100 |
| Concentrado Recleaner s/ N ₂ | 0,7 | 3,6575 | 53,17 | 46,83 | 2,23 | 1,97 |
| Concentrado Recleaner c/ N ₂ | 7,4 | 3,1629 | 31,29 | 63,71 | 29,55 | 14,84 |

4. Considerações Finais

Nos próximos estudos, deverá ser avaliado um ativador de nitrato de chumbo e um tiocoleto contendo uma maior cadeia de hidrocarbonetos. O aumento da força iônica, pela ação de um polieletrólito ou da adição de carbonato de sódio, poderia ainda aumentar a dispersão das partículas, neste sistema, antes do condicionamento dos reagentes mencionados. Os próximos experimentos de flotação deverão ser realizados em colunas de flotação com a distribuição do tamanho das bolhas controlada. O uso de uma mistura de ar e nitrogênio deverá ser avaliado.

5. Agradecimentos

Agradeço à minha Orientadora Marisa Bezerra de Mello Monte e ao Cláudio Schneider primeiramente pela oportunidade de fazer uma Iniciação Científica no CETEM e depois por toda a ajuda, incentivo, confiança e principalmente por todo o conhecimento a mim transmitido durante todo o projeto. Meu agradecimento é extensivo ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica a mim concedida para a realização deste projeto e outros que possam ser desenvolvidos.

6. Referências Bibliográficas

JOHNSON, N.W. Liberated 0-10 μm particles from sulphide ores, their production and separation – recent developments and future needs.. **Minerals Engineering**, v.19, p.666-674, 2006.

MILLER, J.D; KAPPES, R.; SIMMONS, G.L., LEVIER, K.M. Pyrite activation in amyl xanthate flotation with nitrogen. . **Minerals Engineering**, v.19, p.659-665, 2006.

YOTSUMOTO, H. ; YOON, R-H. Application of the extended DLVO theory II. Stability of silica suspensions. **Journal of Colloid and Interface Science**, v.157, 215-224, 1994.