

ESTUDO DA OXIDAÇÃO DA PIRITA E DA ARSENOPIRITA DURANTE O PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO DO OURO

Rafael Lépore P. Ferreira

Bolsista de Inic. Científica, Eng^o. Química, UERJ

Fernando Freitas Lins

Orientador, Eng^o. Metalurgista, D. Sc.

Marisa Bezerra de Mello Monte

Co-orientadora, Eng. ^a Química D. Sc.

RESUMO

Neste trabalho é apresentado um estudo sobre a influência do estado de oxidação da pirita e da arsenopirita na flotação de um concentrado de sulfetos contendo ouro. Durante o estágio de aeração da polpa de flotação, os valores de potencial eletroquímico da polpa deslocam-se para valores mais anódicos, evidenciando a natureza oxidante do meio de processamento. Dessa forma, uma maior proporção da pirita e da arsenopirita podem ser cobertas com uma camada fina de um filme de óxido e/ou hidróxido de

ferro, dificultando a seletividade e a recuperação do ouro. Os estudos de flotação evidenciaram a necessidade de maiores concentrações do coletor para se obter recuperações de ouro, pirita e arsenopirita de 92%, 92% e 89%, respectivamente. Com a diminuição dos valores de Eh, pela introdução de N₂ na polpa de minério e como gás de flotação, o processo de oxidação da superfície dos sulfetos é minimizado, necessitando de menores concentrações do coletor para uma flotação efetiva.

1. INTRODUÇÃO

A flotação de minérios auríferos é uma importante técnica de concentração de minérios [ARAÚJO e PERES, 1995]. É geralmente empregada quando: a) o ouro ocorre incluso ou associado aos sulfetos; b) a maior parte do ouro distribui - se em tamanhos considerados finos para uma concentração gravítica eficiente e c) é recomendável do ponto de vista econômico,

concentrar o ouro por flotação previamente à cianetação [LINS, 1987]. A flotação coletiva de sulfetos é realizada, em larga escala, principalmente se for requerido um tratamento posterior, como oxidação sob pressão ou ustulação. O uso de xantatos e ditiofosfatos predomina na prática industrial e visa tanto à concentração dos sulfetos (pirita, arsenopirita e calcopirita), como das partículas do ouro liberadas que não foram recuperadas por métodos gravíticos [LINS, 1998]. Com relação aos sulfetos, é sabido que o processo de oxidação na superfície desses minerais dificulta a adsorção seletiva do coletor além de atuar como uma barreira física na ligação com as bolhas durante o processo de flotação [TEAGUE et al., 1999]. A pirita, por exemplo, é um mineral mais nobre que a arsenopirita, por isso a arsenopirita deve ser mais susceptível à oxidação, inclusive por interação galvânica com a própria pirita. Em um trabalho recente, foi constatado o efeito positivo do nitrogênio, como gás de flotação, na recuperação de pirita e pirrotita auríferas [Miller et al., 2000].

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo a investigação dos fatores que afetam a flotação da arsenopirita, pirita e ouro, tais como: potencial eletroquímico da polpa de minério, interação galvânica, pH no condicionamento e na flotação bem como as dosagens dos reagentes.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra era proveniente do processo de concentração gravítica (jigge centrífugo) do minério aurífero da Rio Paracatu Mineração. O trabalho foi iniciado com a homogeneização adequada da amostra, onde foram retiradas alíquotas de cerca de 0,5 Kg, para os ensaios de moagem e flotação.. Os ensaios de moagem foram conduzidos em moinho cilíndrico, usando - se bolas de ferro, como meio moedor, com amostras de cerca de 0,5 Kg e percentual de sólidos em peso de 65%, obtendo-se um produto final com granulometria 95% passante em 107 μ m (100 malhas). Os ensaios de flotação em bancada foram realizados em célula de laboratório Denver subaerada, modelo D12. Utilizou - se uma cuba nominal de 1,5 L. As amostras foram usadas imediatamente após a cominuição e classificação. Os coletores utilizados foi o amil xantato de potássio (AXP). O espumante

utilizado foi o metil isobutil carbinol (MIBC). O pH foi controlado com soluções de CaO. Procedeu-se inicialmente à formação da polpa na própria célula, adicionando-se a amostra cominuída e uma quantidade de água necessária à obtenção de uma concentração de sólidos em peso de 30%.

O coletor utilizado foi adicionado em diferentes concentrações e condicionados por 5 min, para valores de pH entre 4,5 e 6,5. O espumante MIBC (60g/t) foi adicionado seqüencialmente, seu tempo de condicionamento foi de 1 minuto para todos os ensaios. A velocidade de agitação da célula foi de 1000 rpm. O tempo de flotação foi de 6 minutos. O concentrado e o rejeito foram filtrados a vácuo, secos a 60 ° C, pesados e enviados para análise química, no laboratório da RPM. Todos os ensaios foram realizados em duplicata.

Para a etapa de avaliação do efeito da adição de agentes ativadores e N_2 , na ativação da pirita, arsenopirita e recuperação do ouro, foi efetuado um pré-condicionamento da polpa durante 15 min, seguindo o procedimento anteriormente mencionado.

O potencial eletroquímico da polpa foi medido em todas as etapas dos ensaios de flotação por meio de um eletrodo de referência de calomelano saturado e eletrodo indicador de platina.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a variação média dos potenciais da polpa após a etapa de cominuição do concentrado e durante as etapas do processo de flotação.

No final da moagem (estágio 1), o potencial medido foi praticamente constante e negativo (-0,120 mV vs ECS) devido às condições redutoras que predominam dentro do moinho. No estágio 3, foi observado uma diminuição acentuada do potencial eletroquímico devido à adição de CaO. Este fenômeno poderia ser creditado ao efeito da diminuição da solubilidade do O_2 na polpa e à precipitação de íons determinantes do potencial devido ao aumento do valor de pH. Durante a aeração, no estágio de flotação, os valores de potencial deslocam-se para valores mais anódicos, até atingir +0,18 V, o que evidencia a natureza oxidante do meio de processamento da amostra. Em conseqüência, uma maior proporção da pirita e da arsenopirita

podem ser cobertas com uma camada fina de um filme de óxido e/ou hidróxido de ferro.

A confirmação por DRX e MEV/EDS da predominância de pirita e arsenopirita como os principais constituintes do concentrado gravítico da RPM, permite estimar a partir da sua composição química, os resultados de flotação apresentados neste trabalho. A Figura 2 apresenta o efeito do aumento da concentração do AXP na recuperação de ouro e de sulfetos para o concentrado gravítico em estudo. Na presença de AXP, pode-se observar que houve um aumento substancial da recuperação do ouro. Com relação aos sulfetos, constatou-se o aumento da recuperação da pirita e da arsenopirita com o aumento da concentração do AXP. Este efeito é mais pronunciado para a pirita, para concentrações superiores à 50 g/t deste coletor. Isto sugere que a arsenopirita apresenta uma flotabilidade distinta da pirita, podendo ser creditada à maior facilidade de oxidação da arsenopirita, uma vez que seu potencial de eletrodo é menor que o da pirita. Considerando as condições oxidantes, a espécie $FeOOH$ é predominante numa longa faixa de valores de pH que vai de 2 até 14 [SANCHEZ and HISKEY, 1988].

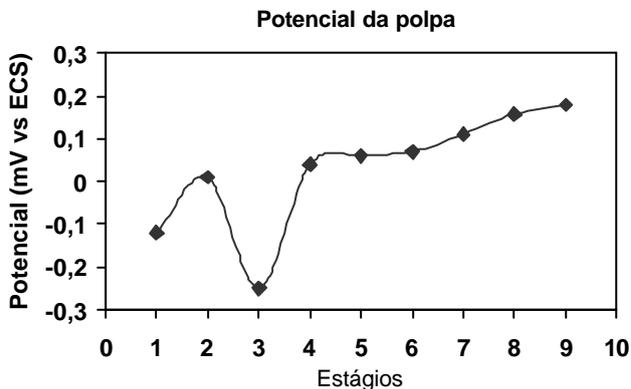


Figura.1. Potencial eletroquímico da polpa na flotação do concentrado sulfetado de ouro da RPM em condições de circuito aberto. Estágio 1: após a cominuição; 2: agitação da polpa; 3: adição de CaO ; 4: condicionamento com ativador; 5: coletor; 6: espumante; 7-10: flotação de 1 a 6 min

É sabido que a presença de óxidos de ferro na superfície do mineral atua como uma barreira física na ligação com as bolhas, durante o processo de flotação [TEAGUE et al., 1999]. As superfícies da pirita e da arsenopirita podem estar oxidada, o que explica a baixa flotabilidade desses sulfetos, para concentrações mais baixas do coletor.

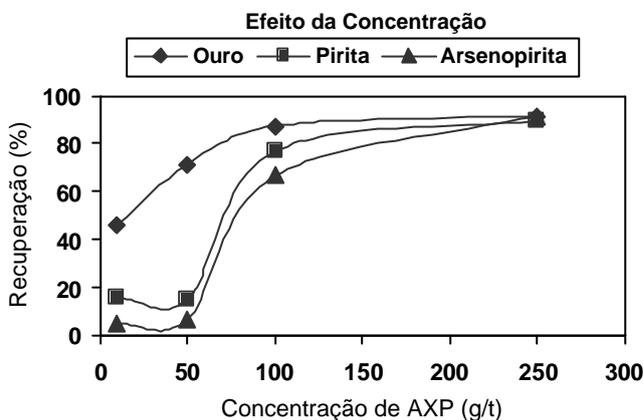


Figura. 2. Efeito da concentração de AXP na recuperação de ouro e sulfetos por flotação, em pH =6,5.

Com o aumento da recuperação dos sulfetos, uma maior proporção de ouro é recuperado. Parte do ouro associado à arsenopirita não está sendo recuperado, pelo fato da superfície dos mesmos se apresentarem parcialmente oxidadas, conforme já mencionado. Isto significa que para obter uma boa recuperação na recuperação na flotação destes sulfetos a combinação de agentes ativadores ou uma maior concentração de coletores pode ser necessária [MILLER et al., 2000]. É possível ativar a superfície da arsenopirita pela adição de determinados reagentes, antes do coletor, tais como, o sulfato de cobre. A diminuição do potencial da polpa, minimiza o efeito da oxidação da superfície da pirita e da arsenopirita.

Os processos de oxidação de sulfetos minerais podem ser monitorados pelo potencial de oxirredução da polpa de minério durante o processamento. A interação entre minerais de sulfeto resultante de suas reatividades eletroquímicas (medida pelo potencial de repouso do mineral de sulfeto) é chamada galvânica. Quanto maior for o potencial de repouso, menos facilmente a superfície do mineral é oxidada e mais prontamente responde à flotação com tio-coletores [TEAGUE et al., 1999].

A Figura 3 apresenta o efeito do aumento da concentração de sulfato de cobre, como ativador, tendo sido adicionado na etapa de pré-condicionamento. Conforme pode ser observado, a recuperação dos sulfetos aumenta significativamente para concentrações de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ superiores à 50g/t. Para uma concentração de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ de 200g/t e AXP de 50 g/t/ obteve-se uma recuperação de pirita e arsenopirita de cerca de 72 e 73%, respectivamente. Por outro lado, verifica-se o efeito depressor do ativador para os sulfetos a partir de concentrações superiores à 200 g/t. Com relação à recuperação do ouro, observa-se seu efeito depressor, a partir de concentrações superiores à 150 g/t. A explicação oferecida seria a formação de complexo de xantato de cobre, diminuindo a quantidade de coletor disponível na solução aquosa, para interagir com o metal e os sulfetos presentes na polpa [LINS, 1987].

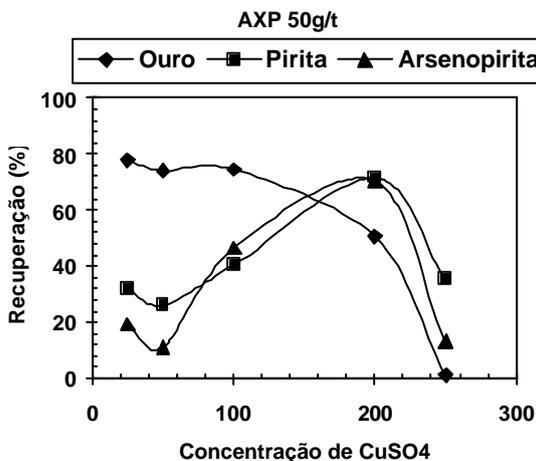


Figura. 3. Efeito do aumento da concentração de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ na recuperação de ouro e sulfetos por flotação, conduzida na presença de AXP (50 g/t), em pH=6,5.

Em uma série de experimentos, foi usado nitrogênio gasoso durante a etapa de pré-condicionamento (15 min) da amostra do concentrado gravítico e como gás de flotação, a uma vazão de 5 mL/min. A Figura 4 apresenta os valores médios de potencial eletroquímico da polpa medidos em todas as etapas dos ensaios de flotação para essa série de experimentos. O potencial medido, após o processo de cominuição, foi praticamente constante e negativo (0,120 mV vs ECS). A seguir, conforme pode ser observado na Figura 4, observa-se uma aumento dos valores negativos do potencial eletroquímico com a introdução do N₂ (etapa de pré-condicionamento), evidenciando sua ação redutora. De fato, a atividade do oxigênio na polpa pode ser controlada por meio do teor de gás introduzido durante o processo: a utilização do N₂ diminui o valor de potencial e a solubilidade do O₂ na polpa, minimizando o efeito da oxidação da pirita e da arsenopirita.

Os resultados dos ensaios de flotação em bancada apresentados na Tabela I mostraram um aumento da flotabilidade do ouro e dos sulfetos, mesmo a partir de concentrações mais baixas de coletor. Com a diminuição dos valores de potencial da polpa, o processo de oxidação da superfície dos sulfetos é inibido, necessitando de menores concentrações do coletor para uma flotação efetiva.

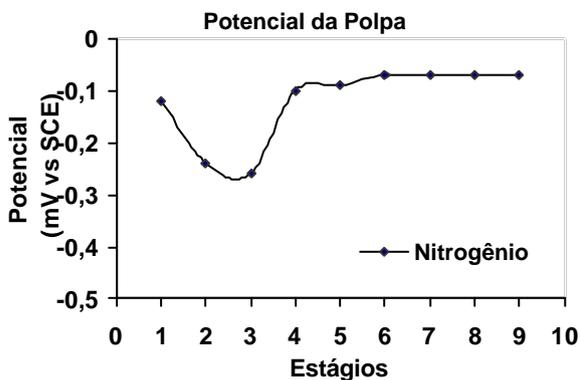


Figura.4. Potencial eletroquímico da polpa na flotação do concentrado sulfetado de ouro da RPM em condições de circuito aberto. Estágio 1: após a cominuição; 2: adição de N₂ (5 mL/min); 3: adição de CaO; 4: coletor AXP; 5: espumante; 7-10: flotação com N₂ de 1 a 6 min.

Tabela V.1. Resultados obtidos da comparação dos ensaios de flotação do concentrado sulfetado de ouro da RPM, na presença de ar e de N₂. Condições: teor de sólidos de 35%, em pH 6,5.

Produtos	Ar como gás de Flotação - AXP 50 g/t			
	Massa (%)	Recuperação (%)		
		Ouro	Pirita	Arsenopirita
Conc.	20,22	59,49	31,42	71,81
Rej.	79,78	40,51	68,58	81,52
Alim.	100,00	100,00	100,00	100,00
Produtos	N ₂ como gás de flotação - AXP 50 g/t			
	Massa (%)	Recuperação (%)		
		Ouro	Pirita	Arsenopirita
Conc.	54,47	71,68	94,41	71,81
Rej.	45,23	28,32	5,99	28,19
Alim.	100,00	100,00	100,00	100,00

5. CONCLUSÕES

As superfícies dos sulfetos estão oxidadas, necessitando de uma maior concentração de coletor ou, pode-se combinar o coletor, como o sulfato de cobre, com um ativador, obtendo-se um resultado positivo na recuperação destes sulfetos. De fato, quando a recuperação da flotação dos sulfetos aumenta, uma maior proporção de ouro é recuperado. Constatou-se, também, que a arsenopirita apresentou menor flotabilidade que a pirita, sugerindo uma maior facilidade de oxidação da arsenopirita. Os ensaios de flotação onde foram utilizados N₂ no pré-tratamento da polpa, apresentaram uma boa flotabilidade mesmo com concentrações de coletor mais baixas. A introdução do nitrogênio, minimizou a oxidação da superfície dos sulfetos.

AGRADECIMENTOS

A Marcelo Andrade pelas contribuições durante os experimentos no laboratório de Química de Superfície, a toda equipe do LQS e ao CNPQ pela bolsa auxílio.

BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO, A.C., PERES, A.E.C., 1995, "Froth Flotation: Relevant Facts and the Brazilian Case", *Tecnologia Mineral*, v.70, p.1-38.
- LINS, F.F., 1998. Concentração Gravítica. In: Tratamento de Minérios. DA LUZ, A.; ALMEIDA, S.L. e POSSA, M.V. (eds.). 676p. 2ª edição.
- LINS, F.F., 1987, "Aspectos Químicos, Físicos e Cinéticos da Flotação de Partículas de Ouro" Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ; Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- MILLER, J.D, PLESSIS, R.D., KOTYLAR, D.G., ZHU, X. and SIMMONS, G.L., 2000. "The Low Potential Hydrophobic State of Pyrite in Amyl Xanthate Flotation with Nitrogen". In: Proc. Sme Annual Meeting., Salt Lake City, Utah. p.1-6.
- SÁNCHEZ, V.M. AND HISKEY, J.B.(1988). "An electrochemical study of the surface oxidation of arsenopyrite in alkaline media", *Metall. Trans.*, B(19): 943-949.
- TEAGUE, A.J.; VAN DEVENTER, J.S.J. and SWAMINATHAN, C. A Conceptual Model for Gold Flotation. *Minerals Engineering*, v.12, No. 9, pp.1001-1019, 1999.

