

# Depressão de silicatos na flotação de sulfetos de cobre

Carlos Eduardo Pereira \*  
Antônio Eduardo Clark Peres, MSc; PhD\*\*

1. INTRODUÇÃO
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
3. ESTUDOS FUNDAMENTAIS
4. ESTUDOS DE BANCADA
5. CONCLUSÕES
6. BIBLIOGRAFIA

\* Gerente de Processo da Caraíba Metais S/A

\*\* Engenheiro Metalurgista, Professor Adjunto da Escola de Engenharia da UFMG



## Resumo

Silicatos contendo ferro, magnésio, alumínio e cálcio são contaminações comuns em concentrados de sulfetos de cobre obtidos por flotação, devido à possível existência de mecanismos de interação com os coletores aniônicos tio-compostos usados nestes sistemas.

Apesar disto, são escassos, na literatura corrente, os estudos dos mecanismos de adsorção dos coletores aniônicos tio-compostos nos silicatos.

Faz-se uma revisão bibliográfica sobre os mecanismos de adsorção dos coletores aniônicos nos silicatos e

da influência dos cátions metálicos nestes sistemas, sobretudo do ferro, ressaltando a importância da formação de hidroxocomplexos e da formação de entidades de superfície metal-coletor para que ocorra a coleta.

Hiperstênio ( $\text{FeMg}(\text{SiO}_3)_2$ ), é identificado como o principal contaminante dos concentrados de cobre. São feitas determinações de potencial zeta e testes de microflotação em tubo de Hallimond, para o hiperstênio puro e ativado por cátions metálicos. Estes resultados são correlacionados com diagramas de estabilidade de espécies, visando explicar a flutuabilidade do mineral.

## 1. Introdução

Silicatos contendo cátions metálicos são contaminações comuns em concentrados de sulfetos de cobre obtidos por flotação, devido à possível existência de mecanismos de interação com os coletores aniônicos tio-compostos usados nestes sistemas.

Apesar disto, são escassos, na literatura corrente, os estudos dos mecanismos de adsorção dos coletores aniônicos tio-compostos neste grupo de minerais.

No presente trabalho faz-se uma revisão bibliográfica sobre os mecanismos de adsorção dos coletores aniônicos nos silicatos e da influência dos cátions metálicos nestes sistemas, ressaltando a importância da formação de hidroxocomplexos e da formação de entidades de superfície metal-coletor para que ocorra a coleta.

Hiperstênio  $\text{FeMg}(\text{SiO}_3)_2$  é identificado como o mineral contaminador do concentrado de cobre com  $\text{SiO}_2$  e  $\text{MgO}$ .

São feitas determinações de potencial zeta para este mineral puro e ativado com cobre, magnésio e cálcio, cátions predominantes neste sistema, junto com o  $\text{Fe}^{++}$ .

Apresenta-se uma curva de microflotação em tubo de Hallimond para o hiperstênio puro na presença do coletor aniônico tio-composto isopropil xantato de sódio.

Os resultados eletrocinéticos são correlacionados com diagramas de estabilidade de espécies, visando explicar a flutuabilidade do mineral.

A partir deste desenvolvimento são selecionados agentes depressores e são mostrados resultados de flotação, em escala de bancada, que conduziram à depressão do mineral contaminador.

## 2. Revisão bibliográfica

A compreensão sobre os mecanismos de adsorção dos coletores aniônicos nos silicatos não é ainda bem efetiva (1) revelando serem os mesmos bastante complexos, o que acaba levando a contradições nos textos a este respeito (2).

No entanto, o que se observa como sendo comum na literatura é que a flotação de silicatos com coletores aniônicos só se processa quando ocorre uma ligeira dissolução do mineral levando a (1) (2) (3):

a) Os cátions dissolvidos se hidrolizam em seus hidroxocomplexos os quais se adsorvem especificamente na superfície do mineral por ligações de hidrogênio ou por formação de água, com posterior adsorção dos coletores nestes lugares metálicos;

b) As quebras de ligações cátions metálicos - oxigênio e cátions metálicos - silício, de caráter quase totalmente iônico (4), levam à exposição de cátions que ao serem dissolvidos formam precipitados de superfície metal-coletor, indispensáveis para que ocorra a flotação.

A flutuabilidade de diversos silicatos e óxidos com coletores aniônicos tem sido explicada pela observação destas condições anteriores. Os estudos mais relevantes sobre a interação dos coletores aniônicos com os silicatos podem ser encontrados nas referências (1) (2) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19).

Na análise destes estudos observa-se que grande parte dos mesmos são efetuados com quartzo pois o mesmo possui duas particularidades que o fazem ideal para estudos destes mecanismos: a sua solubilidade bastante limitada e o fato de, em amostras puras, o único cátion presente ser o silício. Inclusive, por estas propriedades, não é flutuado puro com coletores aniônicos em nenhum pH e sua flotação com tais reagentes só é efetiva após ativação com íons metálicos (1) (2) (6) (11) (13) (16) (19) (20) (21) (22) e obedecendo aos preceitos: sempre na faixa de pH de predominância da estabilidade de hidróxido-complexos dos metais ativadores e quase sempre após a precipitação da entidade metal ativador - coletor.

No estágio atual de conhecimento fica bem caracterizada a importância da ativação com cátions metálicos, inadvertida ou não, que está relacionada com a solubilidade dos minerais que, por sua vez, está relacionada com a formação de hidróxido-complexos e com estabilização de compostos de superfície. (23)

Com base nestes raciocínios costuma-se correlacionar os diagramas de estabilidade de espécies para soluções dos cátions metálicos em função do pH com dados eletroforéticos e/ou resultados de microflotação.

Neste correlacionamento observa-se que a flotação dos silicatos com coletores aniônicos só ocorre quando os dados eletroforéticos indicam uma mudança substancial da carga de superfície do mineral e que esta mudança na carga só ocorre na faixa de pH de predominância em equilíbrio do primeiro hidróxido-complexo do cátion ativador, caracterizando a sua adsorção na interface sólido-líquido e tornando-a apta para posterior adsorção do íon coletor.

Duas deduções muito importantes podem ser feitas (1)

a) a necessidade destas entidades metal-coletor aniônicas precipitadas na superfície para a ocorrência de boa flotação tem sido atribuída à capacidade delas de tornar a superfície mineral suficientemente hidrofóbica para adsorção de ar;

b) Palmer, Gutierrez e Fuerstenau afirmam que o fato de se poder utilizar dados de equilíbrio de soluções (como os diagramas de equilíbrio de espécies) para se prever o comportamento de um dado mineral na flotação, ou seja, o que está acontecendo em termos de interfaces, é indicativo de que realmente a dissolução do mineral e a hidrólise de seu íon metálico estão intimamente ligados ao processo de adsorção do coletor.

Pela revisão da literatura pode se concluir que são muito escassos os estudos dos mecanismos de interação dos coletores aniônicos com os silicatos, sobretudo dos coletores tio-compostos.

Parecem ser também praticamente inexistentes os estudos fundamentais sobre o hiperstênio: Deju e Bhappu (24) apresentam o valor do PZC de uma enstatita (hiperstênio contendo teor de FeO abaixo de 5%) como sendo em pH 3,75 e Leja (19) apresenta o valor de PZC de uma bronzita (hiperstênio com teor de FeO entre 5 e 13) como sendo em pH 3,3.

Não foram encontrados estudos sobre o comportamento do hiperstênio na flotação.

Sobre os mecanismos de interação dos coletores aniônicos tio-compostos - silicatos, Aplan e Fuerstenau (13) e Fuerstenau e Raghavan (12),

citando dados de Eyring e Wadsworth, fizeram referência sobre a quimissorção de mercaptan na Willemita ( $Zn_2SiO_4$ ) formando uma forte ligação Zn-Mercaptan.

No entanto, a mais importante referência literária encontrada sobre a interação entre coletores aniônicos tio-compostos e os silicatos é devida a Fuerstenau, Miller, Pray e Perinne (6) que em 1965 estudaram o sistema amil xantato de potássio - quartzo ativado com  $Pb^{++}$ ,  $Zn^{++}$ ,  $Cu^{++}$  e  $Mg^{++}$ .

Este trabalho é de grande valia no estudo da seletividade da flotação dos sulfetos metálicos a título de compreensão dos mecanismos de interação coletor - ganga porque, ao mostrar claramente as condições sob as quais o quartzo pode ser flutuado com este coletor quando ativado por estes cátions, lançou luz a duas confirmações muito importantes, a saber:

a) que os mecanismos observados para os sistemas coletores aniônicos não tio também devem ser os que regem o comportamento dos silicatos frente aos coletores tio-compostos.

b) que a ativação com cátions metálicos é de grande importância também nestes sistemas.

Neste trabalho foi observada uma boa flotação do quartzo ativado com  $Pb^{++}$  e  $Zn^{++}$  e não se observou boa flotação na ativação com  $Mg^{++}$  e  $Cu^{++}$ .

Os autores verificaram novamente que os íons metálicos só funcionaram como ativadores nas faixas de pH nas quais havia ocorrido a hidrólise do cátion em seu primeiro hidróxido-complexo (e este era predominante na solução) e, sobretudo, após a precipitação das entidades de superfície metal coletor, a saber:  $PbAX_2$ ,  $Pb(OH)(AX)$ ,  $ZnAX_2$  e  $Zn(OH)(AX)$ .

Não foi observada flotação quando da ativação com  $Mg^{++}$  e  $Cu^{++}$  por não terem sido verificadas estas condições anteriores.

Neste estudo ficou também caracterizada a importância de uma dada relação entre ânion xantato e cátion metálico. Não se observou boa flotação quando havia predominância muito grande das espécies metálicas sobre os íons xantato livres em solução e nem quando se possuía a situação inversa, levando mais uma vez à confirmação de que deve ser mesmo de grande importância as presenças concomitantes de hidróxido-complexos e de entidades metal coletor para que se processe a flotação.

De posse de todas estas informações sobre a influência dos cátions metálicos na adsorção dos coletores aniônicos nas superfícies dos silicatos se é levado a crer que a falta de seletividade observada na separação dos sulfetos metálicos de sua ganga silicatada, quando se trabalha com os coletores aniônicos tio-compostos, se deve à presença destes cátions e à consequente solubilidade relativa dos cátions divalentes quando presentes nos silicatos (23).

## 3. Estudos fundamentais

### 3.1. Identificação do mineral contaminador

A partir de amostra representativa de concentrado de cobre da Caraíba (Bahia) e através da aplicação

de técnicas tradicionais de caracterização mineralógica, tais quais: separação em líquidos densos, desmagnetização manual, separação em frações de diferentes susceptibilidades magnéticas com utilização do separador isodinâmico Frantz, difratometria de Raios X, espectroscopia no infra-vermelho, microscopia ótica e análises químicas, se identificou o mineral contaminador do concentrado como sendo o hiperstênio -  $\text{FeMg}(\text{SiO}_3)_2$ , um metassilicato em cadeias únicas contínuas de tetraedros  $\text{SiO}_4^{4-}$  compartilhando 2 átomos de oxigênio, do grupo dos piroxênios.

### 3.2. Determinação de potencial zeta e correlacionamento com estabilidade de espécies

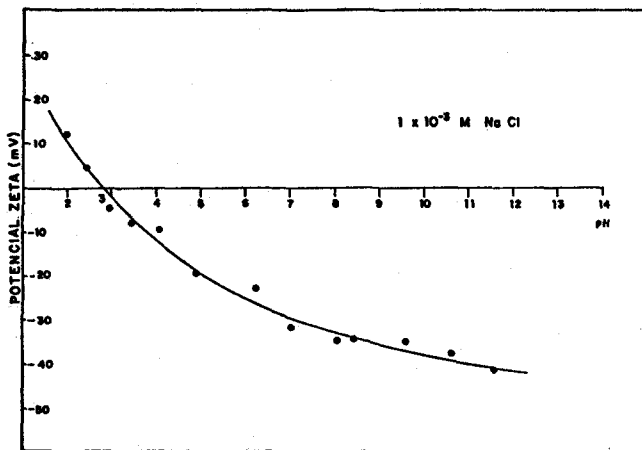
A partir deste conhecimento, preparou-se amostra deste mineral puro, através da utilização das mesmas técnicas anteriores (exceção feita à utilização de líquidos densos para não alterar as condições naturais de interface do minério) e efetuou-se a determinação do potencial de superfície da amostra pura (na presença de  $\text{NaCl}$  como eletrólito indifferente) e ativada com os cátions  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  e  $\text{Ca}^{++}$ .

As medidas foram efetuadas em célula microeletroforética de fabricação Rank Brothers, com montagem de célula plana e eletrodos de platina enegrecidos. A mobilidade eletroforética determinada foi correlacionada com o potencial zeta através do emprego da equação de Smoluchowski (25) (26) (27) (28).

As curvas de potencial zeta x pH são apresentadas nas figuras 1, 2, 3 e 4.

Pela análise da Fig. 1 observa-se que o PZC observado para o hiperstênio puro foi em pH 2,9, possuindo o mesmo carga de superfície negativa para qualquer valor de pH superior a este,

Figura 1 - Potencial Zeta de Hiperstênio puro em função do pH.



Aplan e Fuerstenau (13) afirmam que, na flotação dos silicatos, os coletores aniônicos parecem funcionar como contra-íons na dupla camada elétrica na interface sólido-líquido, significando isto que a sua adsorção ocorre por interação eletrostática com a superfície do silicato. Fica, portanto, difícil de explicar, somente em termos de adsorção não específica, a adsorção do ânion coletor na

superfície do hiperstênio em valores de pH acima do PZC, a menos que algum fator venha a causar considerável mudança de propriedades de superfície do mineral, o que caracteriza também um fenômeno de adsorção específica (3) (29).

Tal fator pode ser observado pela análise dos dados das Figuras 2, 3 e 4. Observa-se que o hiperstênio, quando ativado com  $1 \times 10^{-4} \text{M}$  de  $\text{CuCl}_2$ , apresenta reversões de carga de superfície em pH 5,95 e em pH 8,2 ficando com carga positiva neste intervalo. A ativação com  $1 \times 10^{-3} \text{M}$  de  $\text{MgCl}_2$  proporcionou reversões de carga de superfície em pH 9,85 e em pH 11,1. A ativação com  $1 \times 10^{-3} \text{M}$  de  $\text{CaCl}_2$  proporcionou uma reversão de carga em pH 12,85 e um máximo positivo em pH 10,5.

Figura 2 - Potencial Zeta de Hiperstênio em função do pH na presença de  $1 \times 10^{-4} \text{M}$  de  $\text{CuCl}_2$ .

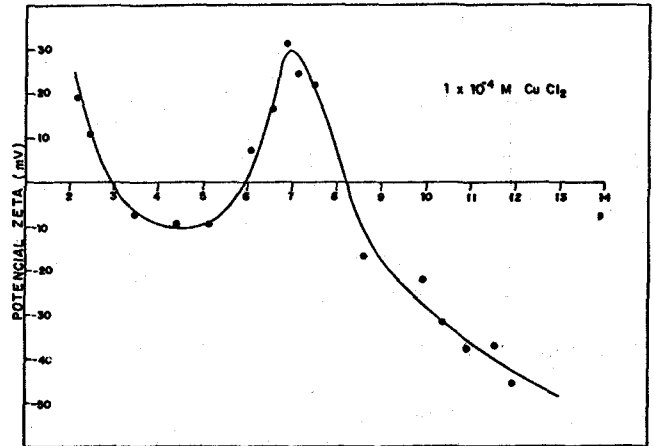


Figura 3 - Potencial Zeta de Hiperstênio em função do pH na presença de  $10^{-3} \text{M}$  de  $\text{MgCl}_2$ .

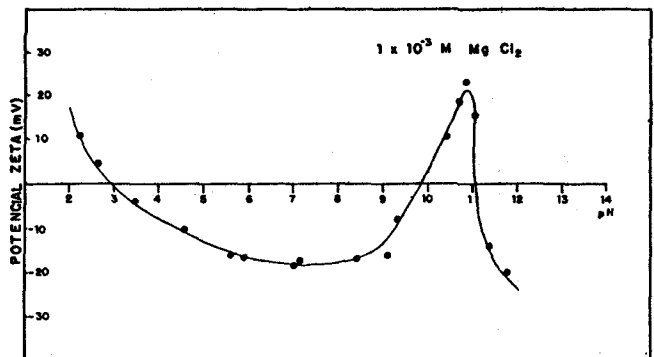
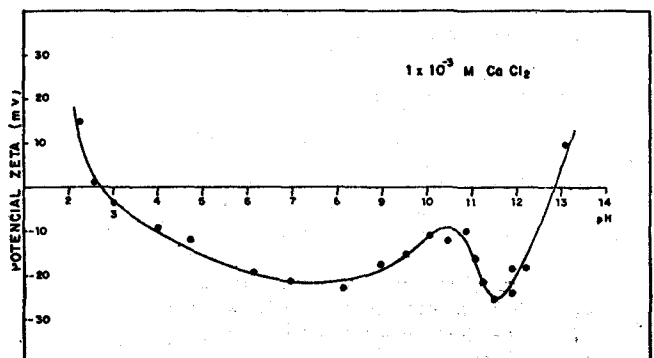
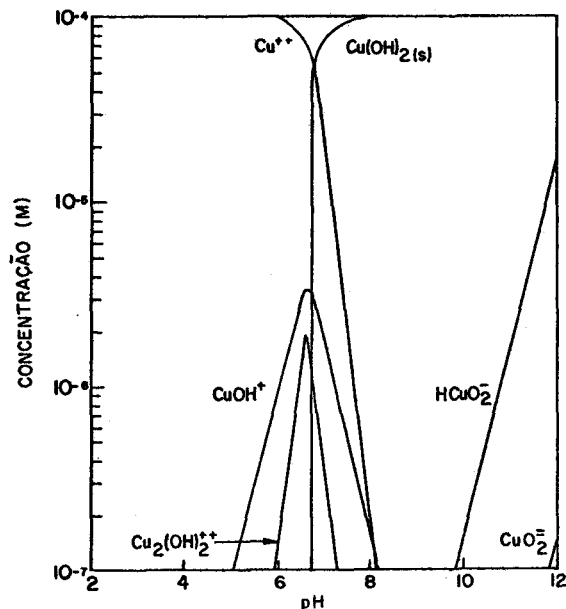


Figura 4 - Potencial Zeta de Hiperstênio em função do pH na presença de  $1 \times 10^{-3} \text{M}$  de  $\text{CaCl}_2$ .



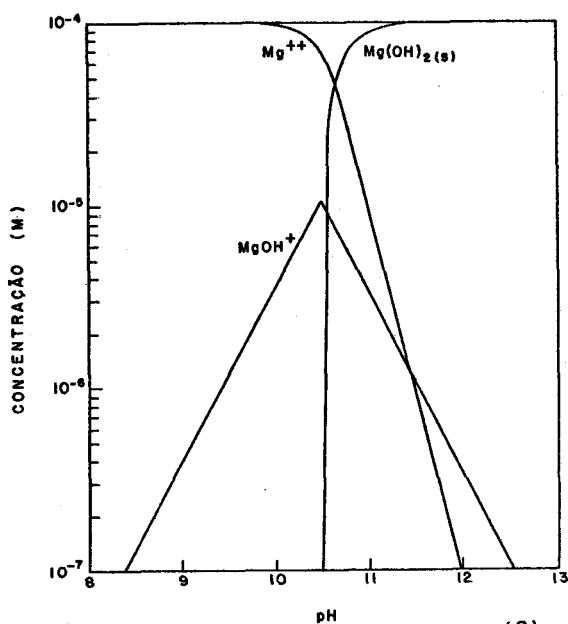
As figuras 5, 6 e 7 representam os diagramas de equilíbrio de espécies x pH para os cátions  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  e  $\text{Ca}^{++}$ , onde pode se observar as faixas de pH de predominâncias dos primeiros hidroxocomplexos destes cátions metálicos.

Figura 5 - Diagrama de Concentração Logarítmica para  $1 \times 10^{-4}$  M de  $\text{Cu}^{++}$ .



Fonte: FUERSTENAU, M.C. & PALMER, B.R. (2)

Figura 6 - Diagrama de Concentração Logarítmica para  $1 \times 10^{-4}$  M de  $\text{Mg}^{++}$ .

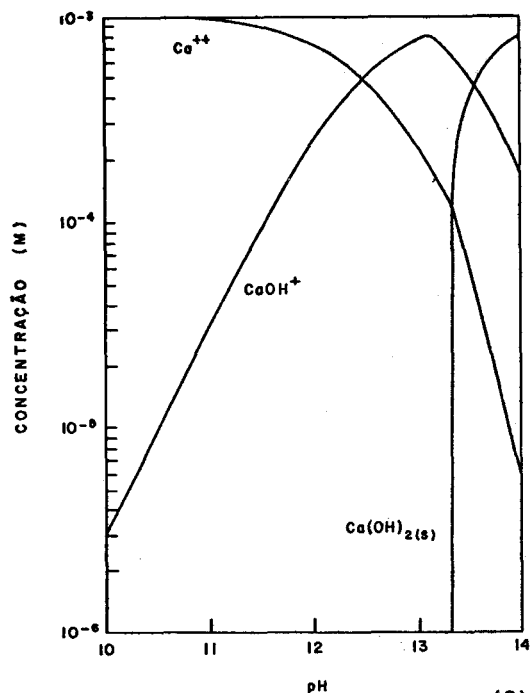


Fonte: FUERSTENAU, M.C. & PALMER, B.R. (2)

Um correlacionamento entre as duas figuras para o mesmo cátion mostra que provavelmente a adsorção do primeiro hidroxocomplexo do cátion metálico seja responsável pelas reversões de carga observadas, uma vez que as mesmas só ocorrem nas faixas de pH de predominância destas entidades em equilíbrio.

Dáí se acredita que, a partir desta adsorção específica, a superfície do hiperstênio poderia estar apta para adsorção não específica do ânion coletor.

Figura 7 - Diagrama de Concentração Logarítmica para  $1 \times 10^{-3}$  M de  $\text{Ca}^{++}$ .

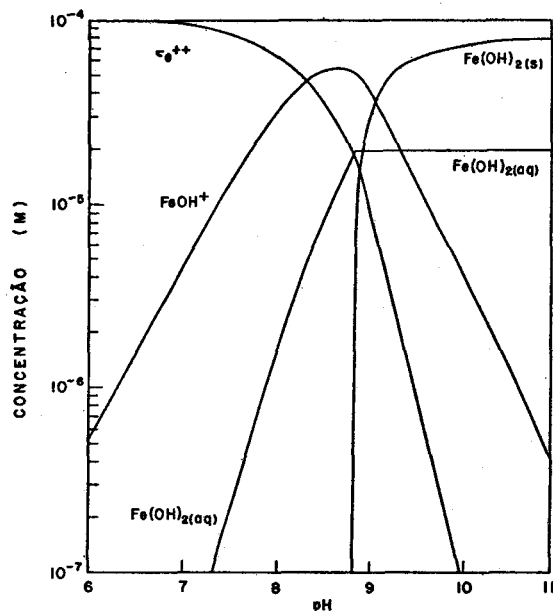


Fonte: FUERSTENAU, M.C. & PALMER, B.R. (2)

Observa-se que não se efetuou a determinação do potencial zeta do hiperstênio ativado com  $\text{Fe}^{++}$ , outro cátion constituinte deste mineral, porque ainda não se conseguiu estabilizar esta espécie nas condições ambientais na presença de água destilada na faixa alcalina de pH. No entanto, tal fato não significa dizer que num sistema industrial, com outras condições de oxidação-redução, tal espécie não esteja presente em equilíbrio e tudo indica ser este também um cátion de grande importância neste sistema.

A Figura 8 representa o diagrama de equilíbrio de espécies deste cátion e pode ser observado que a predominância do primeiro hidroxocomplexo ocorre na faixa de pH 8,3 a 9,3.

Figura 8 - Diagrama de Concentração Logarítmica para  $1 \times 10^{-4}$  M de  $\text{Fe}^{++}$ .



Fonte: FUERSTENAU, M.C. & PALMER, B.R. (2)

### 3.3. Testes de microflotação

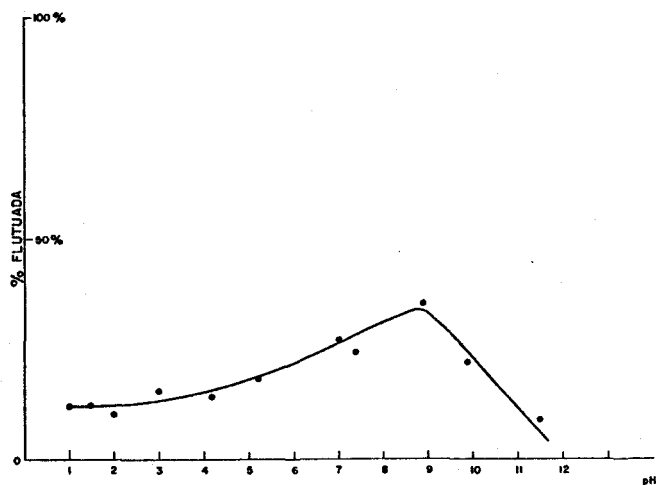
Com os intuitos de se inferir a interação do hiperstênio com os coletores aniônicos tio-compostos, a partir da solubilização parcial de seus cátions e de conhecer o seu conseqüente grau de hidrofobicidade, foram executados testes de microflotação com a mesma amostra de mineral puro.

Tais testes são atualmente aceitos como os principais indicadores do grau de hidrofobicidade e, por conseguinte, do nível de flutuabilidade, dos minerais quando em contato com reagentes específicos (30) por representarem mais aproximadamente o dinamismo envolvido nos sistemas de flotação.

Foi utilizado o tubo de Hallimond modificado (31), com amostras de 1g de mineral, tendo o pH sido modulado com HCl e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Empregou-se como coletor o isopropil xantato de sódio, purificado com solubilização em acetona e reprecipitação em éter dietílico (32) (33) numa dosagem de 2 mg/l. Foi empregado um tempo de condicionamento de 2 minutos e um tempo de flotação idem, numa vazão média de ar de 35 ml/min. Trabalhou-se com água destilada.

A figura 9 representa a curva de % flutuada x pH para estes testes. Na sua análise pode ser observado que realmente ocorre uma flotação parcial do hiperstênio na faixa alcalina de pH.

Figura 9 - Curva de flutuabilidade do hiperstênio puro em função do pH.



### 4. Estudos de bancada

Os resultados experimentais dos estudos fundamentais levaram à conclusão que as presenças do cátion  $\text{Mg}^{++}$  e, possivelmente, do  $\text{Fe}^{++}$  seriam responsáveis pela flotação inadvertida do hiperstênio no sistema industrial de flotação de cobre, levando à perda de seletividade, uma vez que esta flotação industrial se processa normalmente entre pH 9 e pH 11,5, faixa onde se obtém boa recuperação dos sulfetos.

A partir do fato de que o depressor tradicional para silicatos, o silicato de sódio, havia se mostrado inefetivo na depressão do hiperstênio, selecionou-se para esta etapa, agentes depressores que teriam seus mecanismos de ação sobre os cátions  $\text{Fe}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$ , a saber: derivados de amido de milho para o  $\text{Fe}^{++}$  e agentes complexantes (quelatantes) para o  $\text{Mg}^{++}$ . O objetivo básico destes testes de bancada era verificar a ação destes agentes depressores para anular a ativação accidental do hiperstênio quanto à flotação com tio-compostos.

Os testes de flotação em escala de bancada são tidos como sendo a menor escala que representa o que realmente ocorre em uma flotação com minérios, respeitada a limitação da ausência das recirculações de cargas, presentes nos circuitos contínuos. Tal fato se deve já à diversidade de moléculas e íons presentes, por já se trabalhar com minérios e não com minerais; devido à vigorosa agitação, mais representativa da hidrodinâmica dos circuitos contínuos; devido à presença de outros agentes, como espumantes e modificadores, que alteram sobremaneira a físico-química do sistema, além de outros fatores.

Utilizando minério de cobre de Caraíba, foi executada uma série muito grande destes testes, com grande faixa de variação de condições de flotação, testando-se diversos agentes depressores, a diversas dosagens, tendo sido selecionados os dois mais efetivos na anulação da ativação do hiperstênio, a saber: FLUIDEX — ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ )<sub>n</sub>, peso molecular médio de 6200, solúvel em água — e um sal de EDTA (sal dissódico etilenodiaminotetracético)

Nesta série de testes foram fixadas também as Condições operacionais em que seriam realizados os testes específicos com estes depressores e estas condições são listadas abaixo:

- Coletor: S-4037 (mistura de ditiofosfato + ditionocarbamato) - 12 g/t
- Espumante: MIBC (Metil Isobutil Carbinol) 30 g/t
- pH: ajustado com  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  - 10,5
- Massa de minério: 1000 g por teste
- Tempo de moagem: 10 minutos
- Condicionamento rougher: 3 minutos
- Flotação rougher: 7 minutos
- % de sólidos da flotação rougher: 28% em peso
- Condicionamento cleaner: 3 minutos
- Flotação cleaner: 4 minutos
- % de sólidos da flotação cleaner: 10%
- Ponto de adição do depressor: concentrado rougher.

Utilizando uma célula de flotação de bancada de fabricação Galigher e com estas condições operacionais fixadas anteriormente foi realizada uma série de testes com estes depressores selecionados e os resultados médios obtidos para cada condição podem ser observados na tabela I e, graficamente, nas figuras 10 e 11.

Observou-se que, apesar do sal de EDTA ter demonstrado algum efeito depressor, o FLUIDEX foi mais efetivo na depressão do hiperstênio.

TABELA I - Resultados Médios dos Testes de Flotação de Bancada com Minério Sulfetado de Cobre sem e com Adições de Agentes Depressores

CONDIÇÃO	FLUIDEX (g/t)	EDTA (g/t)	% Cu Alim.	% Cu Rougher	Rec. Rougher	% Cu Cleaner	Rec. Cleaner	% MgO Cleaner	% SiO <sub>2</sub> Cleaner
1	-	-	0.88	12.90	90.4	28.20	81.3	6.69	18.86
2	10	-	0.85	14.49	90.0	36.55	75.7	3.51	10.16
3	20	-	0.85	13.65	91.1	34.91	76.8	4.07	11.48
4	30	-	0.85	13.46	90.0	36.81	75.6	3.55	10.00
5	40	-	0.87	15.16	89.2	39.84	65.9	2.42	7.54
6	50	-	0.86	15.45	91.2	41.36	63.7	1.94	6.12
7		2.5	0.85	13.53	91.1	34.78	72.5	4.64	12.08
8		5.0	0.86	13.76	91.2	34.78	73.1	4.56	11.98
9		7.5	0.87	13.99	89.1	35.54	68.7	4.11	10.60
10		10.0	0.87	13.38	91.3	34.78	73.1	4.39	12.34
11		12.5	0.84	13.09	91.1	37.71	68.0	3.59	9.84

Figura 10 - Resultados Médios de % SiO<sub>2</sub>, % de MgO e % de Recuperação na Flotação Cleaner para os Testes de Bancada com Minério Sulfetado de Cobre em Função da Dosagem de FLUIDEX (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub> PM = 6200.

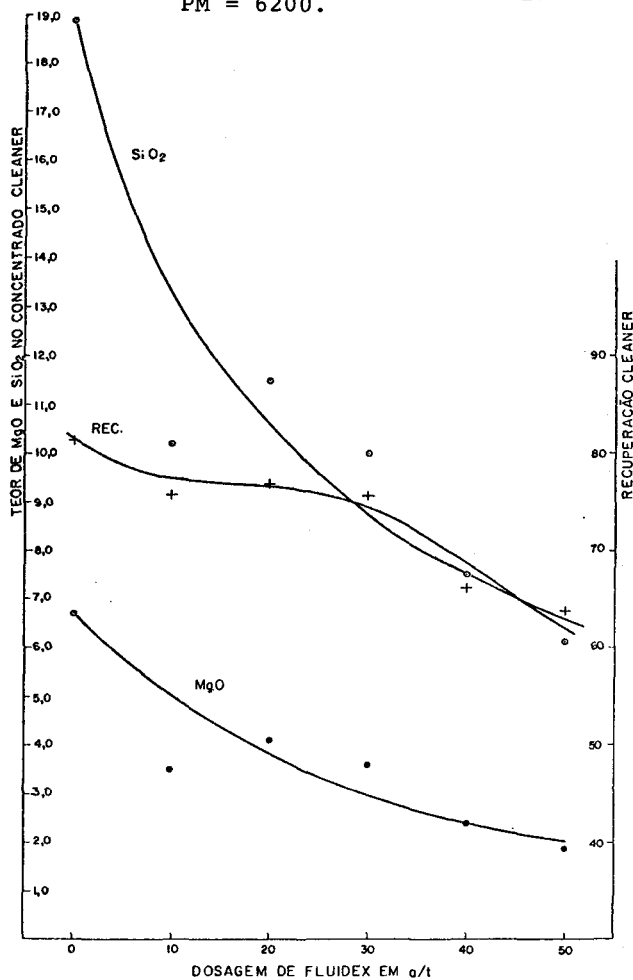
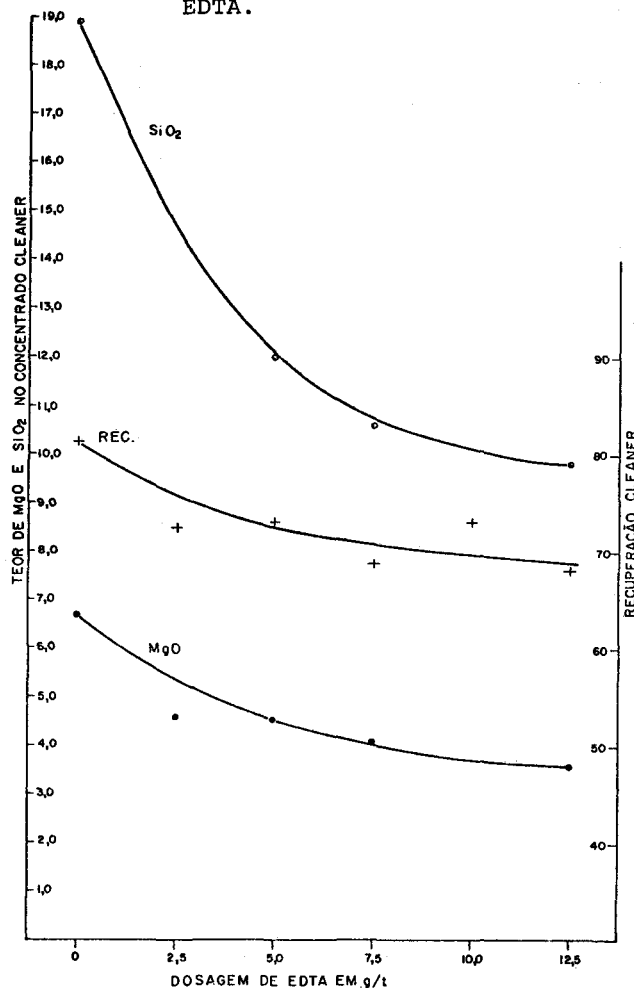


Figura 11 - Resultados Médios de % SiO<sub>2</sub>, % de MgO e % de Recuperação na Flotação Cleaner para os Testes de Bancada com Minério Sulfetado de Cobre em Função da Dosagem de Sal Dissódico de EDTA.





## 5. Conclusões

Os estudos fundamentais com amostra de mineral puro foram de grande valia na compreensão da falta de seletividade observada na flotação industrial de minério de cobre.

A partir das suas observações e da consecução das pesquisas em escala de bancada e escala piloto, partiu-se para a realização de testes industriais e para implantação do sistema industrial de depressão.

Foi selecionado o FLUIDEX como agente modificador, na função de depressor, numa dosagem de 30 g/t, que se confirmou industrialmente como uma dosagem capaz de, sem perdas substanciais de recuperação de cobre, reduzir o teor de MgO para a casa dos 3,5% e o SiO<sub>2</sub> para a casa dos 10,0%, aceitáveis para o processo pirometalúrgico subsequente, enquadrando o concentrado de cobre dentro das especificações exigidas.

Encontra-se atualmente em estudos a utilização conjunta de FLUIDEX + sal de EDTA em busca de melhorias adicionais para a seletividade deste sistema.

Ficou caracterizado que a revisão da literatura sobre os mecanismos de ação dos coletores aniônicos nos silicatos direcionou a realização dos estudos fundamentais e que os resultados destes conduziram à identificação dos cátions constituintes do hiperstênio, Fe<sup>++</sup> e Mg<sup>++</sup>, como os possíveis responsáveis pela sua ativação inadvertida e consequente flotação. Esta compreensão direcionou a escolha dos agentes depressores para o mineral em questão e os testes posteriores de seleção entre eles conduziram à efetiva depressão no sistema industrial de flotação de minério de cobre, redundando em grande melhoria na seletividade desta.

## 6. Bibliografia

- 1 - PALMER, B.R.; GUTIERREZ, B.G.; FUERSTENAU, M.C.; APLAN, F.F. Mechanisms involved in the flotation of oxides and silicates with anionic collectors: Parts 1 and 2. Transactions AIME, 258: 257-63, Sept. 1975.
- 2 - FUERSTENAU, M.C. & PALMER, B.R. Anionic flotation of oxides and silicates. In: FUERSTENAU, M.C. Flotation A.M. Gaudin Memorial Volume. New York, AIME, 148-196p, 1976
- 3 - HEEREMA, R.H. & IWASAKI, I. Chemical precipitation of alkaline earth cations and its effect on flocculation and flotation of quartz. Mining Engineering, 10: 1510-16, oct. 1980.
- 4 - CASES, J.M. Point de charge nulle et structure des silicates. Centre de Valorisation de Minerais de l'École Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et de Prospection Minière, nº 224: 1602-1611, 1969.
- 5 - FUERSTENAU, M.C.; PALMER, B.R.; GUTIERREZ, B.G. Mechanisms of flotation of selected iron - Bearing silicates, Transactions AIME, 262: 234-6, Sept. 1977.
- 6 - FUERSTENAU, M.C.; MILLER, J.D.; PRAY, R.E.; PERINNE, B.F. Metal ion activation in xanthate flotation of quartz. Transactions AIME, 235: 359-63, June 1966.
- 7 - CUMMINS, W.F. & FUERSTENAU, M.C. The role of basic aqueous complexes in anionic flotation of quartz. Trans. AIME, 228: 196-200, 1967.
- 8 - FUERSTENAU, M.C.; MARTIN, C.C; BHAPPU, R.B. The role of hydrolysis in sulfonate flotation of quartz. Trans. AIME, 224: 449-54, 1963.
- 9 - FUERSTENAU, M.C. & ELGILLANI, D.A. Calcium activation in sulfonate and oleate flotation of quartz. Trans. AIME, 227: 405-413, 1966.
- 10 - VISWANATHAN, K.L., e alii. The role of inorganic ions in the flotation of beryl. Trans. AIME, 227: 282-286, 1966.
- 11 - FUERSTENAU, M.C.; RICE, D.A.; ELGILLANI, D.A.; ATAK, S.; BHAPPU, R.B. The role of iron in the flotation of some silicates. Transactions AIME, 238: 321-8, Jun. 1967.
- 12 - FUERSTENAU, D.W. & RAGHAVAN, S. The crystal chemistry surface properties and flotation behavior of silicate minerals. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 12. São Paulo, DNPM, 1977, p. 368-415.
- 13 - APLAN, F.F. & FUERSTENAU, D.W. Principles of nonmetallic mineral flotation. In: FUERSTENAU D.W. Froth flotation - 50 th Anniversary Volume, New York, AIME: 170-214, 1962.
- 14 - LEONEL, C.M.L. Flotação de berilo, Belo Horizonte, UFMG, 1983. (Tese de mestrado)
- 15 - VALADÃO, G.E.S. Estudo de condições de flutuabilidade de alguns minerais de lítio. Belo Horizonte, UFMG, 1983 (Tese de mestrado).
- 16 - MANSER, R.M. Handbook of silicate flotation. Stevenage, Warren Spring Laboratory, 1975.
- 17 - READ, A.D. & MANSER, R.M. The action of fluoride as a modifying agent in silicate flotation. Warren Spring Laboratory, Stevenage, 1975.
- 18 - CASES, J.M. Les phénomènes physico-chimiques à l'interface application au procédé de la flottation. s.l., Faculté des Sciences Physiques de l'Université de Nancy, 1968. (Ph.D. Theses)
- 19 - LEJA, J. Surface chemistry of froth flotation. New York, Plenum Press, 1982. 758 p.
- 20 - GAUDIN, A.M. Flotation, 2 ed. New York, MacGraw-Hill, 1957. 473 p.
- 21 - HEEREMA, R.H. & IWASAKI, I. Chemical precipitation of alkaline earth cations and its effect on flocculation and flotation of quartz. Mining Engineering, 10: 1510-16, October 1980.
- 22 - FUERSTENAU, M.C.; ELGILLANI, D.A.; MILLER, J.D. Adsorption mechanisms in nonmetallic activation systems. Transactions AIME, 247: 11-14, 1970.

- 23 - PEREIRA, C.E. Influência de silicatos no comportamento da flotação de sulfetos de cobre. Belo Horizonte, UFMG, Novembro 1983. 96 p (Proposta de tese de mestrado).
- 24 - DEJU, R.A. & BHAPPU, R.B. Chemical interpretation of surface phenomena in silicate minerals. Transactions AIME, 227: 329-32, Dec. 1966.
- 25 - RANCK BROTHERS INC. Microelectrophoresis apparatus. Assembly Instructions, s.n.t. 21 p.
- 26 - SHAW, D.J. Introdução à química do colóides e de superfícies. São Paulo, Editora Edgard Blucher - Universidade de São Paulo, 1975. 185 p.
- 27 - de BRUYN, P.L. & AGAR, G.E. Surface chemistry of flotation. In: FUERSTENAU, D.W. Proth flotation, 50 th Anniversary Volume, New York, 1962. p.91-138.
- 28 - HEALY, T.W. Principles of dispersion and aggregation of mineral fines. In: SOMASUNDARAN, P. & ARBITER, N. Beneficiation of mineral fines - Problems and research needs, New York, AIME, 1979, p.161-178.
- 29 - PARKS, G.A. Adsorption in the marine environment. In: CHEMICAL OCEANOGRAPH 2 ed. New York, Academic Press, 1975. p. 241-308.
- 30 - PERES, A.E.C.; COELHO, E.M.; ARAÚJO, A.C. Flotação espessamento filtração deslamagem e floculação seletiva. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO TECNOLÓGICO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. Tratamento de minérios e hidrometalurgia in memoriam Prof. Paulo Abib Ardery. Recife, 1980.p. 205-286.
- 31 - FUERSTENAU, D.W., et alii. How to use this modified Hallimond tube. Engineering Mining Journal, March 1957: 93-95 p.
- 32 - OCAMPO, J.G. Influência do estado de oxi-redução na flutuabilidade da calcopirita. Belo Horizonte, UFMG, 1982 (Tese de mestrado).
- 33 - AMERICAN CYANAMID COMPANY Aero xanthate handbook. Wayne, 1972.