

# Estudos de beneficiamento do minério de cobre alterado de Salobo 3A da região de Carajás

Vânia Lúcia de Lima Andrade \*  
Astor Viana Júnior \*  
Hugo Radino \*\*

1. INTRODUÇÃO
2. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA
3. DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS
4. COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES
5. BIBLIOGRAFIA

\* Pesquisadores da Companhia Vale do Rio  
Doce - CVRD

\*\* Consultor da Companhia Vale do Rio  
Doce - CVRD



## Resumo

Este trabalho contém o estudo de recuperação de cobre, via hidrometalúrgica, do minério alterado de Salobo 3A, Carajás.

Representando uma reserva de 100 milhões de toneladas com 0,75% de Cu, o minério alterado de Salobo consiste de uma camada de rocha intemperizada de espessura média de 60 metros recobrimdo o depósito de minério sulfetado. Esta rocha apresenta um perfil de alteração onde o cobre se apresenta nos primeiros metros, apenas disseminado em minerais de alteração. Em

maior profundidade e próximo à zona de transição para o minério sulfetado, aparece também cobre sob forma de sulfetos e oxidados.

Os estudos de beneficiamento deste minério, desenvolvidos até o momento em escala de bancada consistem de uma etapa de aglomeração com água e ácido sulfúrico concentrado, seguida de cura dos aglomerados e lixiviação com solução de ácido sulfúrico e sulfato férrico.

Os resultados até o momento indicam extrações de cobre da ordem de 80% para lixiviações de 30 dias.

## 1. Introdução

A jazida de cobre da região de Carajás já foi alvo de vários trabalhos apresentados anteriormente (1, 2, 3). O corpo mineralizado, constituído de granada-anfibólio-biotita-xisto, apresenta uma zona de capeamento denominada zona alterada, com espessura média de 60 m. A reserva geológica correspondente é aproximadamente 100 milhões de toneladas, com o teor médio de 0,77% Cu.

Estudos recentes (4) realizados em amostras de furos de sonda mostraram que ao longo desta camada existe um perfil de alteração. Assim, tanto a mineralogia como a distribuição relativa dos minerais variam com a profundidade, reflexos de um maior ou menor grau de intemperismo e sensibilidade dos minerais à alteração.

Estes estudos indicam que a camada alterada, nos furos de sonda estudados, pode ser subdividida em três zonas. A primeira, chegando até uma espessura de aproximadamente 29 m, foi denominada zona de oxidação. Um forte intemperismo causou a completa remobilização do cobre, sendo que este se encontra principalmente associado aos óxidos hidratados de ferro e às micas. Nesta zona estão presentes grandes quantidades de argilas (originárias dos anfibólios e micas) e goethitas-limonitas (originárias dos silicatos e óxidos de ferro). A zona seguinte, abaixo da zona de oxidação e acima do lençol freático, foi denominada zona de

cementação, que se estende até a profundidade de 34 m. Sua mineralogia reflete a interação das soluções de sulfato de cobre percolantes da camada superior com sulfetos de cobre não decompostos. Nesta camada são identificáveis quantidades razoáveis de cuprita e cobre nativo, além de sulfeto de cobre secundário.

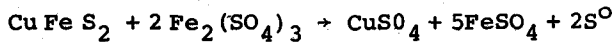
Abaixo da zona de cementação se encontra a zona de oxidação-redução, onde a presença de covelita, quase inexistente na rocha fresca, indica processos fluidais de alteração (intemperismo ou processos hidrotermais). Junto à covelita estão a bornita e calcosita, que são os principais sulfetos de cobre na rocha fresca. O tamanho médio dos grãos de sulfetos é da mesma ordem que o da rocha fresca, em torno de 30  $\mu$ . Na zona de oxidação-redução ainda estão presentes quantidades consideráveis de argila e goethita-limonita que contém cobre. O menor grau de alteração, no entanto, é evidenciado pela grande presença de magnetita e quase ausência de hematita.

O perfil de alteração descrito indica que o processo utilizado para a extração de cobre na zona alterada deve atender às diferenças expostas tanto das diversas formas de ocorrência deste elemento como da mineralogia da ganga, que confere, entre outros efeitos, uma existência de grande quantidade de finos.

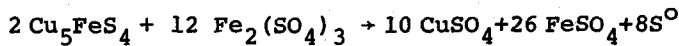
Uma das alternativas de tratamento é a lixiviação ácida, na presença de agentes oxidantes. Foi escolhido o ácido sulfúrico

que, agindo sobre o minério, produz quantidades razoáveis de sulfato férrico que, por sua vez, funciona como oxidante. Este processo já é utilizado em várias minas e algumas das reações envolvidas neste caso são:

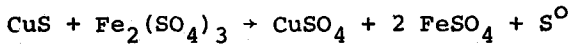
- Calcopirita



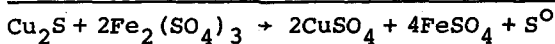
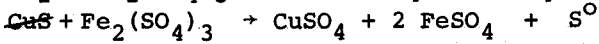
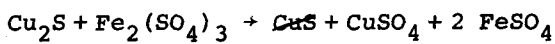
- Bornita



- Covelita



- Calcosita



Devido à grande quantidade de finos, a permeabilidade do leito de minério à passagem da solução ácida seria muito prejudicada. Para evitar o descarte de grande parte do material e consequente perda equivalente de cobre, foi estudada a técnica de aglomeração do minério em fase anterior à percolação. Esta técnica já é aplicada em algumas minas (5, 6). Em alguns casos, simultaneamente à adição de água para a aglomeração, é adicionado ácido sulfúrico concentrado. A reação fortemente exotérmica do ácido em contato com a água e o minério, promove um aquecimento local, o que é, em alguns casos, benéfico, pois aumenta a cinética de extração do cobre e aumenta a resistência dos aglomerados (7, 8, 9, 10, 12). Ainda para melhorar a resistência dos aglomerados e aumentar o grau de ataque dos minerais de cobre nesta etapa, o minério é deixado em repouso em pilha durante um determinado tempo, etapa a que se dá o nome de cura.

Este trabalho apresenta os resultados dos testes de aglomeração, cura e lixiviação sulfúrica efetuados em uma amostra de galeria da zona alterada de Carajás.

## 2. Caracterização da amostra

A amostra denominada G2.140.180 m, com a qual foram feitos os testes, apresentou a seguinte análise química inicial:

Cu <sub>tot</sub>	2,16%	MgO	1,03%
Cu <sub>sol</sub>	0,73%	S	0,37%
Fe <sub>tot</sub>	35,92%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,14%
SiO <sub>2</sub>	28,39%	Au	1,30 ppm
CaO	1,04%	Ag	N.D.

OBS: A análise de cobre solúvel foi feita com o ataque por ácido sulfuroso e ácido cítrico.

A análise difratométrica indicou ser a rocha constituída dos seguintes minerais: biotita, hidrobiotita, goethita, clorita, argila montmorilonítica, quartzo, stilpnomelana, hematita, almandina e magnetita.

Um estudo em microscopia ótica mostrou que os

minerais de cobre constituíam aproximadamente 2,5% da amostra inicial, estando assim distribuídos:

Minerais de cobre	%
Calcosita/digenita	52
Covelita	25
Bornita	10
Malaquita	8
Calcopirita	3
Cuprita	1
Cobre Nativo	1

Pelas características apresentadas, esta amostra é proveniente da zona de oxidação-redução. Nota-se a presença de malaquita, sendo sua porcentagem baixa em relação aos sulfetos de cobre. Um estudo de microsondagem indicou que nesta amostra existe cobre disseminado nos minerais de alteração.

De posse das análises anteriores, calculou-se que apenas 70% do cobre total está sob a forma de mineral de cobre, sendo que os 30% restantes devem-se encontrar disseminados na forma de cobre iônico. Este cálculo é confirmado pela análise de cobre solúvel, descontado o correspondente da malaquita.

## 3. Descrição dos trabalhos

### 3.1. Testes de bancada

Inicialmente foi feito um extenso programa em escala de bancada para a escolha das condições de adição de ácido sulfúrico concentrado e água na cura, e ácido sulfúrico diluído e sulfato férrico na lixiviação.

A amostra, britada a - 1/4", era colocada em betoneira, onde era aspergida água suficiente para se alcançar a umidade pré-estabelecida. A adição da água provocava a adesão das partículas finas às outras partículas. Após um tempo estipulado (normalmente 5 minutos), era aspergido ácido sulfúrico concentrado. O tempo gasto na adição do ácido era considerado o suficiente para completar a aglomeração em betoneira. A amostra era transferida para uma caixa de isopor bem isolada, e ali permanecia em cura durante 24 horas.

Observou-se que as melhores aglomerações foram obtidas com 10 e 12% de umidade, escolhendo-se o primeiro valor para os testes seguintes.

Foi medida a evolução da temperatura em vários testes. Observou-se que esta variou de 40°C, para adições de ácido de 20 g por kg de minério, até 100°C, quando foram usados 100 g de ácido por kg de minério.

Após o tempo de cura de 24 horas, cada amostra era homogeneizada e quarteada, retirando-se 500 g para cada teste de lixiviação em bêquer.

O ensaio de lixiviação consistia em se deixar o sólido em contato com a solução lixiviante, durante no mínimo 30 dias (agitando-se uma vez ao dia), retirando-se alíquotas para análise de Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> e Fe<sup>2+</sup>, nos dias estipulados. A relação em peso sólido : líquido foi de 1:5. Cada teste de lixiviação

era feito com uma solução lixiviante que variava em concentração de ácido e sulfato fêrrico, sendo testadas as diversas combinações destas variáveis. Os testes de cada série eram feitos simultaneamente para não haver possíveis interferências de outros efeitos, como temperatura ambiente e outros.

Os testes de bancada, sempre feitos de forma comparativa, serviram para se otimizar as dosagens de reagentes.

Foram feitos acima de 80 testes de lixiviação em quatro séries. Após os resultados de cada série, eram escolhidas as condições de lixiviação para a série seguinte. Foram investigados os seguintes níveis de reagentes: ácido sulfúrico na cura: de 80 a 20 g por kg de minério; ácido sulfúrico na solução lixiviante: 50 a 3 g por litro; sulfato fêrrico na solução lixiviante: 50 a 5 g por litro.

Os gráficos 1, 2 e 3 apresentam as extrações em cobre em função do tempo obtidas em uma das séries. As curvas do gráfico 1 correspondem aos testes em que foram usados 60 g por kg de minério na cura; as do gráfico 2, 40 g por kg de minério e as do gráfico 3, 20 g por kg de minério. Para facilitar a compreensão das curvas, estão simbolizadas

as concentrações diferentes de sulfato fêrrico na solução lixiviante - 5, 10, 15 e 20 g/litro e ácido sulfúrico - 3,1, 6,25 e 12,5 g/litro.

Inicialmente verificou-se que existem três regimes de extração: a) no início bastante intenso, b) linear em uma fase intermediária e c) assintótica no final. O período da primeira fase foi menor para maiores concentrações de ácido - aproximadamente 6 dias na curva 1 e 13 dias na curva 3. Maiores extrações neste período foram obtidas quando foi usada a maior quantidade de ácido na cura.

Os gráficos diferiram pela dispersão das curvas. No gráfico 1, as curvas se encontram muito mais próximas entre si que as do gráfico 2, que, por sua vez, são mais próximas que as do gráfico 3. Quando a quantidade de ácido usada na cura é menor, torna-se mais pronunciada a influência das concentrações de ácido e sulfato fêrrico na solução lixiviante. As maiores extrações finais são obtidas com as soluções lixiviantes mais concentradas em ácido (12,5 g/litro) e sulfato fêrrico (20 g/litro) mais ou menos independente da quantidade de ácido usada na cura (60, 40 ou 20 g de ácido por kg de minério).

GRÁFICO 1 - % Extração Cu versus tempo. 60g ácido/kg de minério na cura.

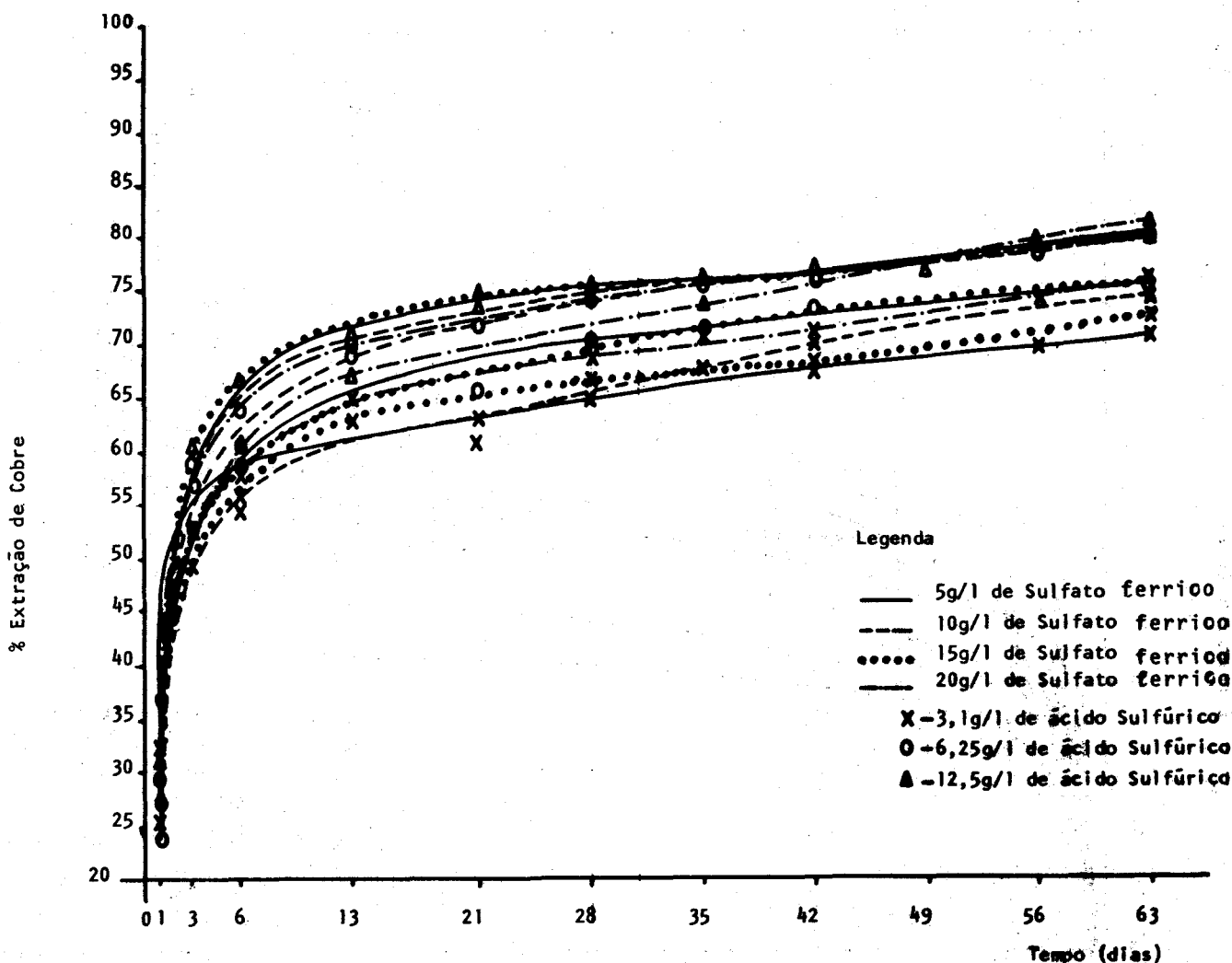


GRÁFICO 2 - % Extração Cobre versus tempo. 40g ácido/kg de minério na cura.

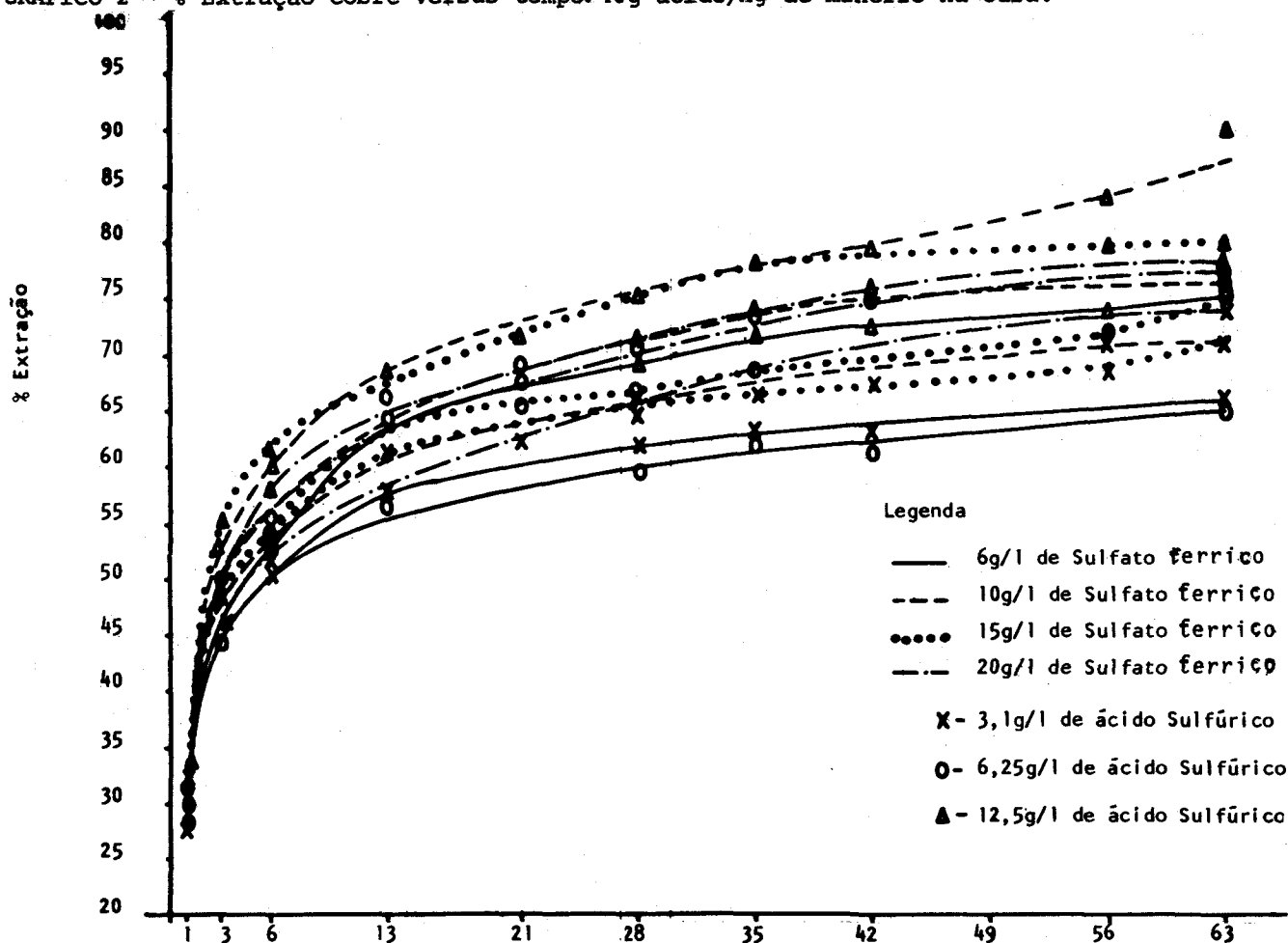
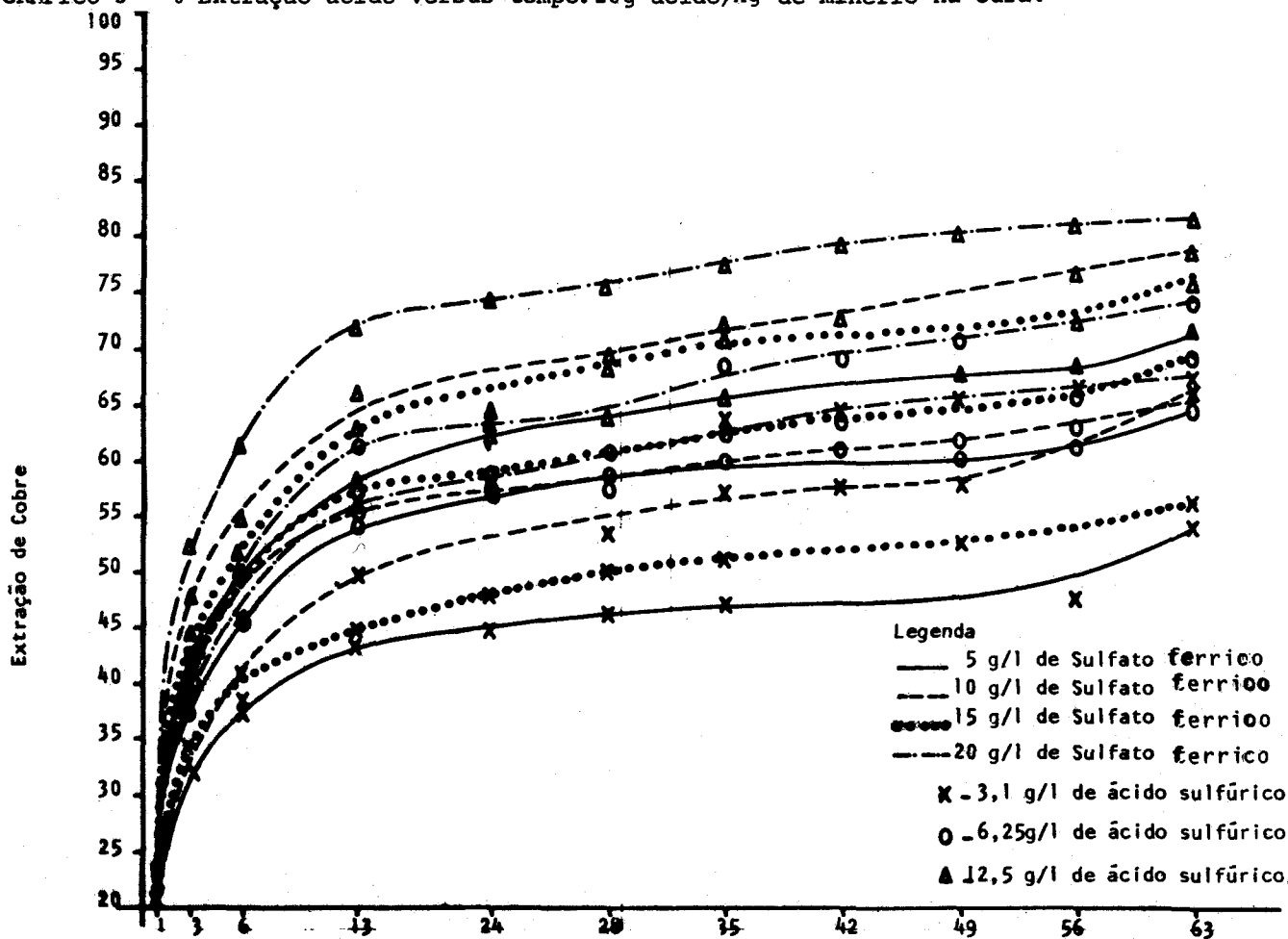


GRÁFICO 3 - % Extração ácido versus tempo. 20g ácido/kg de minério na cura.



Nesta série foi escolhida a condição de dosagem dos reagentes: 20 g de ácido sulfúrico concentrado na cura, 20 g/litro de sulfato férrico e 12,5 g/litro de ácido sulfúrico na solução lixiviante como o menor consumo de reagentes entre os testados, que produz extrações de cobre próximas a 80%.

Durante a execução dos testes em bancada, verificou-se, em alguns casos, que em testes de condições iguais nas etapas de aglomeração, cura e lixiviação, não foram obtidas iguais extrações no mesmo intervalo de tempo. Nestes testes observou-se uma diferença grande na relação  $[Fe^{3+}] / [Fe^{2+}]$ , apesar de terem sido usadas iguais quantidades de sulfato férrico e ácido. Maiores taxas de extração eram obtidas quanto maior era esta relação, o que significava também maiores valores de concentração de íon férrico. Não se soube explicar o motivo desta diferença, podendo-se atribuí-la às diferentes condições ambientais (temperatura, aeração, etc.) ou à presença de bactérias ferro-oxidans.

Para manter baixas as concentrações de  $Fe^{2+}$ , resolveu-se adicionar à solução pequenas quantidades de minério de manganês da região de Carajás. O óxido de manganês oxida o íon ferroso segundo a reação:



Este procedimento permitiu uma melhor comparação entre os testes de séries diferentes.

### 3.2. Testes em coluna

Devido à necessária demora na execução dos testes de bancada, os testes em coluna foram feitos simultaneamente àqueles. A preparação do minério na aglomeração e cura foi a mesma já discutida para os testes de bancada. Enchida a coluna, uma solução lixiviante era aspergida no seu topo. Os primeiros testes foram feitos com 60 g/kg de ácido na cura, e 20 g/litro de ácido e 12,5 g/litro de sulfato férrico na solução lixiviante.

A primeira coluna, de 1,5 m de comprimento, tornou-se impermeável após 48 horas de percolação. (Observou-se uma redução, em

todos os testes, da altura da camada de minério de aproximadamente 20%).

Na coluna seguinte utilizou-se gesso (4% em relação ao minério) para melhorar a resistência das pelotas. Esta coluna foi permeável à solução lixiviante. A taxa de percolação foi de 1 litro/m<sup>2</sup>/min, e a extração após 35 dias, foi de 83%.

Nos testes seguintes procurou-se construir colunas de maior altura - 3 m. O principal problema observado foi a resistência mecânica dos aglomerados para utilização de taxas adequadas de percolação. Observou-se que aglomerados produzidos em disco de pelletização eram mais resistentes e de tamanho mais uniforme que os obtidos em betoneira. Assim, a aglomeração com água foi feita em disco, sendo o ácido concentrado aspergido sobre as pelotas na betoneira.

A primeira coluna de 3 m, feita com 4% de gesso, ficou obstruída após dois dias de percolação, tendo-se usado taxa de aspersão de 1 litro/m<sup>2</sup>/min. Resolveu-se em uma coluna britar a amostra a - 1", peneirar-se a 1/4", aglomerar-se o - 1/4" (que correspondeu a 56% da massa inicial) com 6% de gesso. A cura das duas frações granulométricas foi feita separadamente e as frações misturadas antes da montagem da coluna. Em outro teste utilizou-se gesso (4% em peso) e menores taxas de percolação (0,3 litros/m<sup>2</sup>/min). Em uma coluna usou-se cal (2%) como aglomerante, apesar desta consumir parte do ácido sulfúrico. Observou-se que os aglomerados feitos com cal se desmanchavam menos que quando se usava o gesso.

As Tabelas I, II e III apresentam as condições usadas em cada teste de coluna e as extrações obtidas. Em todos os testes foi aspergida uma solução lixiviante de 12,5 g por litro de ácido e 20 g por litro de sulfato férrico.

As extrações em cobre finais, em torno de 80%, após 30 a 40 dias, reproduziram os melhores resultados obtidos nos testes de bancada. Os consumos específicos obtidos demonstram que, após o retorno do ácido ligado ao cobre, feito através de uma extração por solventes, situam-se entre 3,3 e 4,8.

TABELA I - Teste de lixiviação em coluna - Solução lixiviante: 12,5 g/l de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 20 g/l Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>

COLUNA	GRANULOMETRIA	AGLOMERANTE	PESO SOLIDO	ACIDO CURA	TEMPO LIX. (DIA)	1	2	3	6	9	13	16	20	24	28	31	% Cu RESID.	CONSUMO FINAL KgAC/KgCu	TAXA PERCOL. MEDIA
						DIA	DIAS	DIAS	DIAS	DIAS	DIAS	DIAS	DIAS	DIAS	DIAS	DIAS			
1	<1/4"	2%Cal	124kg	56g/Kg	RESUL. VOLUME LICOR (l)	35	74	36	88	107	126	110	138	120,5	134	52	0,46	6,36	3,67 l/min/m <sup>2</sup>
					Cu (g/l)	8,75	5,00	4,95	3,40	5,69	4,63	1,31	1,04	0,83	0,65	0,51			
					Cu AC. (g/l)	8,75	6,20	5,89	4,95	5,18	5,03	4,32	3,69	3,28	2,91	2,79			
					Fe <sup>3+</sup> (g/l)	0,02	2,24	0,87	2,33	12,76	12,92	4,19	4,34	4,33	4,40	4,04			
					ACIDEZ RESID. (g/l)	0	1,08	0	0	0	1,57	1,76	4,31	4,36	0	0			
					%EXTRAÇÃO Cu	8,96	10,82	5,21	8,75	17,80	17,04	4,22	4,29	2,91	2,55	0,17			
					%EXTRAÇÃO AC.	8,96	19,78	24,99	33,74	51,54	68,58	72,80	77,09	80,00	82,55	82,32			

TABELA II - Teste de lixiviação em coluna - Solução lixiviante: 12,5 g/l de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 20 g/l Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.

COLUNA	GRANULO METRIA	AGLOMERANTE	PESO SOLIDO	ACIDO CURA	TEMPO LIX RESUL.	1	2	5	8	12	15	19	23	28	33	% Cu RESID.	CONSUMO FINAL KgAC/KgCu	TAXA PERCOL. MEDIA
						DIA	DIAS	DIAS	DIAS	DIAS	DIAS	DIAS	DIAS	DIAS	DIAS			
2	<1"	6% Gesso No 1/4"	130Kg	56g/Kg	VOLUME LICOR (1)	34,5	37,0	100,0	116,0	121,0	111,0	123,0	122,0	145,4	144,2	0,48	5,65	0,65 l/min /m <sup>2</sup>
					Cu (g/l)	26,58	7,31	2,81	4,85	3,81	1,16	0,98	0,78	0,58	0,49			
					Cu AC. (g/l)	26,58	16,61	8,56	7,07	6,10	5,05	4,27	3,71	3,21	2,84			
					Fe <sup>3+</sup> (g/l)	8,78	2,44	4,25	12,81	11,75	3,84	3,67	3,66	3,63	3,24			
					ACIDEZ RESID. (g/l)	3,10	0	0	1,08	2,94	3,43	4,37	7,79	3,33	4,26			
					% EXTRAÇÃO Cu	25,37	7,48	7,78	15,57	12,77	3,57	3,32	2,62	2,31	1,94			
					% EXTRAÇÃO AC.	25,37	32,85	40,63	56,20	68,97	72,54	75,86	78,48	80,79	82,73			

TABELA III - Teste de lixiviação em coluna - Solução lixiviante: 12,5 g/l de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 20 g/l Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.

COLUNA	GRANULO METRIA	AGLOMERANTE	PESO SOLIDO	ACIDO CURA	TEMPO LIX RESUL.	3	7	10	13	19	26	37	47	% Cu RESID.	CONSUMO FINAL KgAC/KgCu	TAXA PERCOL. MEDIA
						DIAS	DIAS	DIAS	DIAS	DIAS	DIAS	DIAS	DIAS			
3	<1/4"	4% Gesso	130Kg	56g/Kg	VOLUME LICOR (1)	24	28,5	28,5	41	58,7	51,8	110	102	0,74	4,87	0,19 l/min /m <sup>2</sup>
					Cu (g/l)	24,63	28,88	13,13	4,45	3,30	2,30	1,76	1,29			
					Cu AC. (g/l)	24,63	26,93	22,07	16,15	11,88	9,82	7,23	5,87			
					Fe <sup>3+</sup> (g/l)	1,07	1,41	6,13	0,60	1,85	0,03	0,92	0,81			
					ACIDEZ RESID. (g/l)	0,64	0	0	0	0,69	1,27	0	0			
					% EXTRAÇÃO Cu	16,55	23,05	10,48	5,11	5,43	3,34	5,42	3,68			
					% EXTRAÇÃO AC.	16,55	39,60	50,08	55,19	60,62	63,96	69,38	73,06			

## 4. Comentários finais e conclusões

As seguintes conclusões podem ser obtidas a partir do trabalho exposto:

a) No processo de extração de cobre por meio de cura e lixiviação, observam-se três regimes diferentes de extração: (1) bastante intenso no início; (2) linear numa fase intermediária; e (3) assintótico no final.

b) O período em que o regime intenso inicial ocorre varia com a quantidade de ácido usado na cura. O período é menor e a extração maior para a maior quantidade de ácido usada na cura.

c) Quando a quantidade de ácido usada na cura é menor, torna-se mais pronunciada a influência das concentrações de ácido e sulfato férrico na solução lixiviante.

d) As maiores extrações finais são obtidas com as soluções lixiviantes mais concentradas em ácido (12,5 g/litro) e sulfato férrico (20 g/litro mais ou menos,

independentemente da quantidade de ácido utilizada na cura). Tais extrações atingiram valores superiores a 80%

e) As concentrações utilizadas de sulfato férrico poderão ser atingidas pela acumulação dos íons Fe<sup>3+</sup> decorrente das operações de lixiviação em circuito fechado.

f) É importante a regeneração do Fe<sup>3+</sup> por oxidação do Fe<sup>2+</sup> para a obtenção de altas taxas de extração e reduzir o tempo necessário de lixiviação. Tal regeneração poderá ser feita por aeração, auxiliada ou não por ação bacteriana, ou por meio de minério de manganês mais pobre, de qualidade não metalúrgica, existente em Carajás.

g) Os testes de bancada permitiram estabelecer os parâmetros para os ensaios de lixiviação em coluna, ora em andamento.

h) Nos ensaios em coluna, verificou-se ser importante obter aglomerados de razoável resistência mecânica para a utilização de taxas adequadas de percolação. Estudos estão sendo realizados para determinar as condições que influem na resistência de tais aglomerados.



i) Nos ensaios em coluna foram reproduzidos os melhores resultados de extração obtidos em bancada.

Outros parâmetros importantes ainda deverão ser determinados, alguns já alvo de testes em bancada e em coluna. Dentre estes parâmetros, podem-se citar:

- Granulometria a que deve ser britado o material, para produzir as extrações obtidas aliadas a maiores taxas de percolação.

- Tempo ótimo de cura, contemplando não somente altos graus de extração iniciais, mas aumento da resistência dos aglomerados.

- Definição de uma taxa de percolação adequada em função da taxa de extração e resistência dos aglomerados.

- Outros aglomerantes.

Finalmente, um estudo semelhante ao exposto será feito com amostras das outras zonas que compõem a camada alterada.

(9) DOMIC, E. Application de lixiviación TL en Lo Aguirre y La Cascada. In: CONVENCION ANUAL DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE MINAS DE CHILE, 32. s.l., Nov. 1981.

(10) DOMIC, E. Lo Aguirre's challenge for scaling up new technology in copper hidrometallurgy: from concept to industrial application. s.l., AIME, 1981

(11) DOMIC, E. Thin practice: cost of operation and process requirements. Journal of Metals, 36(1):48-53, Jan 1984

(12) PASOUR, D. Lo Aguirre producing copper cathodes. World Mining, 34(1): 38-40, Jan 1981.

## 5. Bibliografia

- (1) VEIGA, Marcello & SCHORSCHER, Hans. Caracterização tecnológica da relação cobre - óxidos hidratados de ferro no minério "oxidado" de cobre de Carajás, Marabá, PA, Brasil. In: ENCONTRO DO HEMISFÉRIO SUL SOBRE TECNOLOGIA MINERAL, 1. Anais ... Rio de Janeiro, 1982. v. 1., p. 606-14.
- (2) PEREIRA, Elcio. Cinética da lixiviação do minério de cobre alterado da região de Carajás com ácido sulfúrico. Belo Horizonte, UFMG, 1984.
- (3) MOURÃO, Marcelo. Projeto Cobre Carajás, Estudos de tratamento hidrometalúrgico do minério oxidado s.d., DETEG, CVRD, julho 1980.
- (4) VIEIRA, Maria, et alii. Perfil de alteração de xistos da jazida de cobre Salobo, Pará. In: SIMPÓSIO AMAZÔNICO, 2., s.l., abril 1984.
- (5) SHEFER, H. & EVANS, L. Copper leaching practices in the Western United States. USBM IC 8341, 1968.
- (6) BRASIL. PI nº 7601855. Processo e aparelho de lixiviação em camada fina. JOHSON, 1976.
- (7) DOMIC, E. Descripción del proyecto mina e planta Lo Aguirre. In: CONVENCION ANUAL DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE MINAS DE CHILE, 28. s.l., Oct. 1978.
- (8) BRASIL. PI nº 8100258. Processo para lixiviação do cobre. DOMIC, E. 1980.