

# **ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA RECUPERAÇÃO METALÚRGICA DO COBRE OXIDADO DA MINA DO SÓSSEGO DE CANAÃ DOS CARAJÁS SUBMETIDO À LIXIVIAÇÃO COM $H_2SO_4$**

Ana. L. C. Braga<sup>1</sup>, Raul. N. C. Júnior<sup>2</sup>, Reginaldo. S. de Paiva<sup>3</sup>, Silvio. B. do Vale<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduanda em Engenharia de Minas e Meio Ambiente - UFPA

<sup>2</sup>Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Pará  
Rua Manoel Abreu, s/n, Mutirão, Abaetetuba, PA, 68440-000

<sup>3</sup>Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará  
Folha 17, Quadra 04, Lote Especial, Marabá, PA, 68505-080.

E-mail: [ana\\_luiza\\_eng@hotmail.com](mailto:ana_luiza_eng@hotmail.com); [regisabo@ufpa.br](mailto:regisabo@ufpa.br); [raulncj@ufpa.br](mailto:raulncj@ufpa.br)

## **RESUMO**

O minério de cobre sulfetado de Canaã dos Carajás - PA vem sendo beneficiado através da flotação que permite este chegar à concentração de 30%. O Minério oxidado de cobre que se sobrepõe ao sulfetado é decapeado e estocado até que estudos de viabilidade da recuperação do cobre por rota hidrometalúrgica sejam concluídos. Atualmente, estuda-se a aplicação da lixiviação em tanques agitados, em pilhas e sob pressão em autoclaves para recuperação do cobre, tanto do oxidado, quanto do sulfetado. Desejando-se estudar o comportamento do minério de cobre oxidado mediante a lixiviação com ácido sulfúrico realizaram-se ensaios em escala laboratorial utilizando-se para tais ensaios, uma amostra do minério com teor considerado alto em relação ao teor médio encontrado na mina. Foram levantados dados importantes para a otimização do processo, como: concentração de ácido, relação líquido-sólido, tempo de agitação e a isoterma de equilíbrio. Na apresentação deste trabalho, mostram-se os métodos utilizados nos ensaios de tanques agitados e os resultados obtidos. Dados estes que irão servir para ensaios futuros de lixiviação do mesmo minério, em colunas e em pilhas.

**PALAVRAS-CHAVE:** lixiviação; cobre; oxidado.

## 1. INTRODUÇÃO

O cobre é um metal cujas características lhe conferem alguma superioridade em muitas aplicações quando comparado a materiais similares ou potenciais substitutos, tais como alta condutividade elétrica e térmica, trabalhabilidade, alta ductilidade e maleabilidade, boa resistência à corrosão, capacidade de formar ligas, flexibilidade do uso e alto índice de recuperação ao final do seu ciclo de vida. Para muitas aplicações não há um substituto economicamente viável. (Pereira, 2000).

O cobre é o metal não ferroso mais utilizado, após o alumínio ocorrendo na crosta terrestre predominantemente como sulfetos. Entre os minerais sulfetados de cobre, a calcopirita é o mais abundante. Entretanto, atualmente os minérios calcopiríticos são concentrados pelo processo de flotação, devido à propriedade hidrofóbica dos sulfetos, e processados, na sua grande maioria, por técnicas pirometalúrgicas. Os minérios oxidados de cobre são de baixo teor e pouco hidrofóbicos, além do que os gastos com a moagem aumentam significativamente os custos, inviabilizando o tratamento destes por esse processo.

A Província Mineral de Carajás possui um grande potencial para produzir cobre. Diversas jazidas foram descobertas como Sossego, Alvo 118, Salobo, Alemão, Pojuca, Serra Verde, Cristalino, Igarapé Bahia e Águas Claras. Alguns concentrados de cobre presentes nesses depósitos possuem características mais favoráveis a processos hidrometalúrgicos, como é o caso do minério oxidado, presente em cerca de 60% das jazidas existentes na Serra dos Carajás. Atualmente, porém este cobre alterado é considerado resíduo da exploração, pois devido o seu baixo teor o custo de sua extração é pouco eficiente e economicamente inviável, sendo atualmente descartado em pilhas de rejeito.

A capacidade de tratar minérios com baixos teores, dispensando o seu beneficiamento, é a característica básica da lixiviação, que consiste na dissolução seletiva de minerais contendo o metal ou metais de interesse através do contato do sólido (minério ou concentrado) com uma fase aquosa contendo ácidos, bases ou agentes complexantes, em condições variadas de pressão e temperatura. Esta operação se fundamenta na especificidade do agente de lixiviação empregado. Idealmente, e de maneira geral, ele deve ser: (i) barato; (ii) específico – para não reagir com a massa de minerais da ganga e assim dissolver elementos indesejados; (iii) solúvel em água; e (iv) reciclável – para não elevar os custos do procedimento extrativo (Heck, 2007). A lixiviação e a recuperação do metal constituem as etapas mais características do fluxograma hidrometalúrgico.

A hidrometalurgia tem a vantagem de necessitar de pequenos investimentos e ter baixo custo de operação, quando comparada com a pirometalurgia, além de reduzir os impactos ambientais provenientes das descargas de SO<sub>2</sub> na atmosfera. Frente às vantagens dos processos hidrometalúrgicos e ao desafio de pesquisar condições favoráveis para a recuperação do cobre oxidado via lixiviação tendo em vista a grande utilidade deste mineral e a esgotabilidade das jazidas de minérios, torna-se fundamental o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias mais competitivas, a fim de utilizar-se este cobre como matéria-prima no mercado nacional e internacional de metais.

Neste contexto, a presente pesquisa tem por propósito contribuir para a otimização do processo de lixiviação em tanques agitados realizando estudos de viabilidade e aprimoramento da metodologia utilizada; levando-se em conta o estudo e variabilidade de parâmetros físicos e químicos necessários para uma melhor extração com menores custos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nas pilhas de minérios de cobre oxidado existentes, aparecem comumente dois tipos de minérios que visivelmente diferem-se e são identificados por suas cores e cava de onde foram retirados. Um deles possui a tonalidade marrom oriundo da Cava do Siqueirinho e o outro verde extraído da Cava do Sossego, (Figura 01). Os ensaios foram feitos com o minério oxidado de cobre de tonalidade esverdeada oriundo da Serra do Sossego, localizada em Canaã dos Carajás, Sudeste do estado do Pará. Primeiramente foram realizadas a homogeneização em lona e o quarteramento em pilha cônica da amostra. Foram retirados aproximadamente 30 kg desta amostra para moagem em moinho de bolas (QUIMIS; Modelo: Q298-2; Série: 08090948). Após nova homogeneização e quarteramento, efetuou-se o peneiramento a seco de 20 kg de minério com o auxílio de um agitador de peneiras eletromagnético para análises

granulométricas (BERTEL; Série 11.06). As seguintes malhas de abertura foram utilizadas: 16; 35; 65; 80; 150 e 200#, da série Tyler/Mesh (BERTEL), respectivamente: 1,00; 0,425; 0,25; 0,18; 0,106 e 0,075mm.

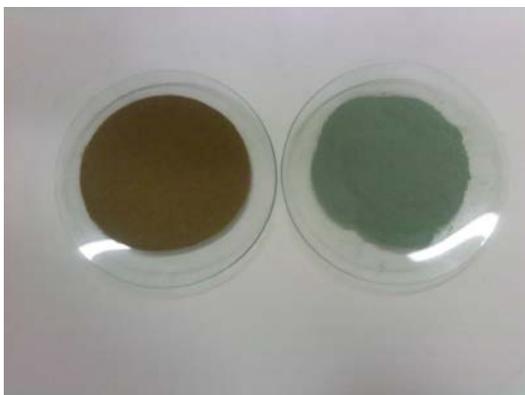


Figura 01 – Minérios de cobre oxidado, mais frequentes, encontrados nas minas de Canaã dos Carajás.

## 2.1. Determinação do teor de cobre por malha

Abertura da amostra: um grama do minério de cada malha utilizada no ensaio de distribuição granulométrica foi submetido à digestão com ácido nítrico 65% (SIGMA- ALDRICH, Lote: 100893374) sobre aquecimento (~180°C) em chapa elétrica aquecedora (BIOMIXER; Série 12833). Inicialmente foram adicionados 20 ml do ácido ao minério em um becker. Assim que se deu a redução de volume pela metade, retirou-se o becker da chapa, aguardou-se seu resfriamento e iniciou-se a segunda etapa do processo com a adição de mais 5 ml de ácido nítrico e 20 ml de água destilada; a temperatura foi elevada a 200°C. Após nova redução de volume pela metade as soluções foram retiradas do aquecimento e filtradas em papel de filtro de porosidade 185  $\mu$ . Finalmente as amostras, individualmente, foram recolhidas em balão volumétrico e avolumadas com água destilada.

Obs<sub>1</sub>: A digestão de líquidos é semelhante, porém inicialmente determina-se um volume de líquido que será utilizado, substituindo-se o uso de gramas de minério. Na primeira etapa são utilizados apenas 5 ml de HNO<sub>3</sub>.

Leitura dos licores por absorção atômica: O teor de cobre nas soluções oriundas da digestão foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica (THERMO SCIENTIFIC; S Series; AA Spectrometer), através da técnica da emissão por chama (método 3111 B), descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA,1998). As curvas de calibração foram feitas utilizando-se padrão de cobre do tipo 1.09987. TITRISOL; COPPER STANDART 1000MG CU; Lote: HC751163.

## 2.2. Ensaios de lixiviação em tanque agitado

Realizaram-se ensaios para a análise das variáveis: percentagem de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - PM = 98,08; VETEC, Lote 0706407) na solução lixiviante, relação líquido/sólido, tempo de agitação. O diâmetro de partícula utilizado estava entre 0,425 mm e 0,075 mm. Foram adotadas as concentrações de ácido de 3, 5, 8, 10, 12,15 e 20%. Utilizando-se 100 g de minério e 200 ml de solução lixiviante, submetidos à agitação por 1h. A partir do segundo ensaio trabalhou-se com o parâmetro ótimo obtido no ensaio anterior. No segundo ensaio variaram-se a relação líquido/sólido de 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5 e 6,0 (Figura 02). Relações menores mostraram-se inviáveis devido à impossibilidade de agitação. A densidade do minério é de 3,3434 g/cm<sup>3</sup>.

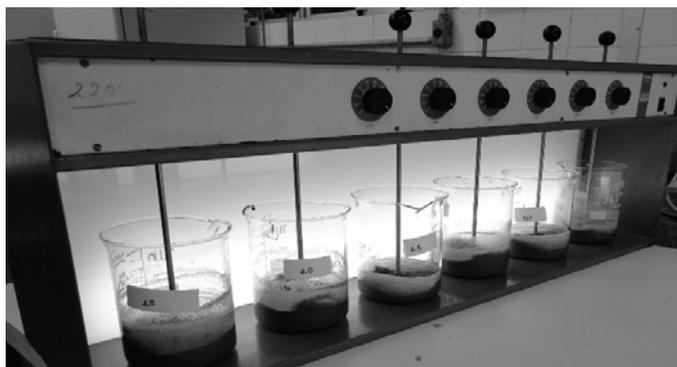


Figura 02: Ensaio de lixiviação em tanque agitado

O tempo de agitação foi o terceiro parâmetro estudado, com duração de até 2,5 h. Finalmente, com os pontos ótimos de cada parâmetro analisado executou-se o ensaio para a construção da Isoterma de Equilíbrio lixiviando-se várias vezes uma mesma amostra de 100 gramas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Teor de cobre

Foi realizada a determinação do teor de cobre nas malhas utilizadas nos ensaios de lixiviação. Na Figura 03, pode-se observar que os teores de cobre são em média de 0,74%, valor esse muito baixo do ponto de vista da viabilidade de concentração pelo método de flotação, empregado no minério de cobre sulfetado, que apresenta teor médio de 3% de cobre.

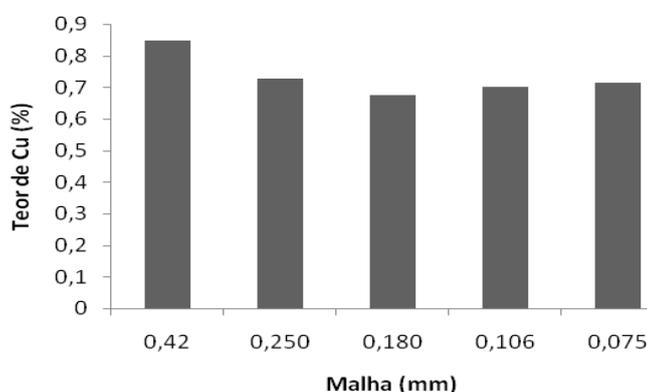
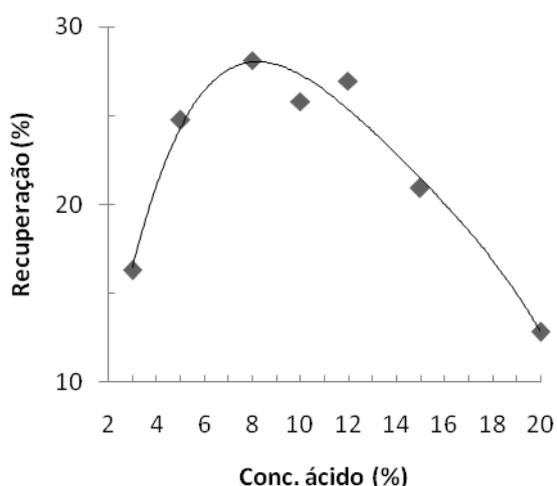


Figura 02: Teor de cobre nas malhas

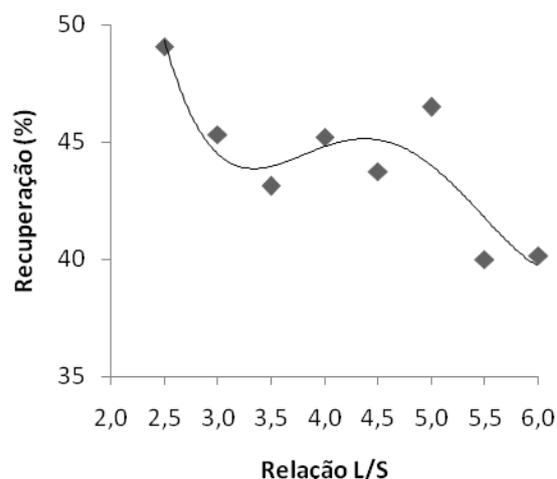
O teor de cobre mais alto, próximo a 0,9% se deu na malha de 0,42 mm, a maior dentre as analisadas.

#### 3.2. Determinação do ponto ótimo para cada parâmetro

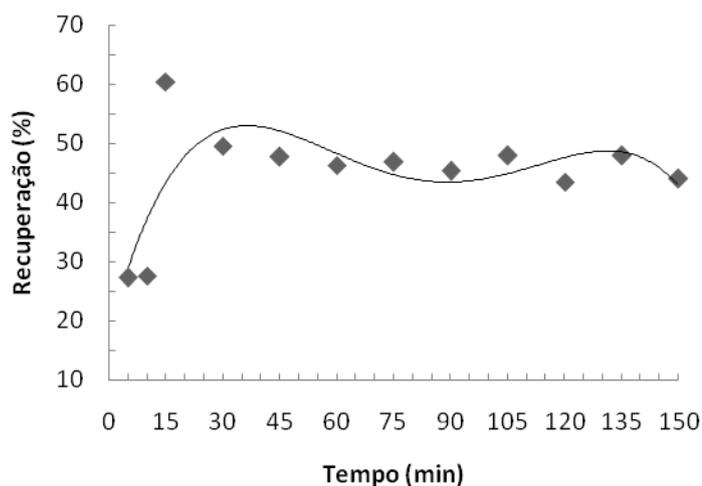
A determinação do ponto ótimo para os parâmetros concentração de ácido (Figura 03), relação líquido-sólido (Figura 04) e tempo (Figura 05) foi feita a partir da comparação da recuperação de cobre em cada ponto de análise do licor oriundo da lixiviação do minério em tanques agitados.



**Figura 03** – Recuperação de cobre X Concentração de ácido



**Figura 04** – Recuperação de cobre X Relação líquido/sólido



**Figura 05** – Recuperação de cobre X Tempo

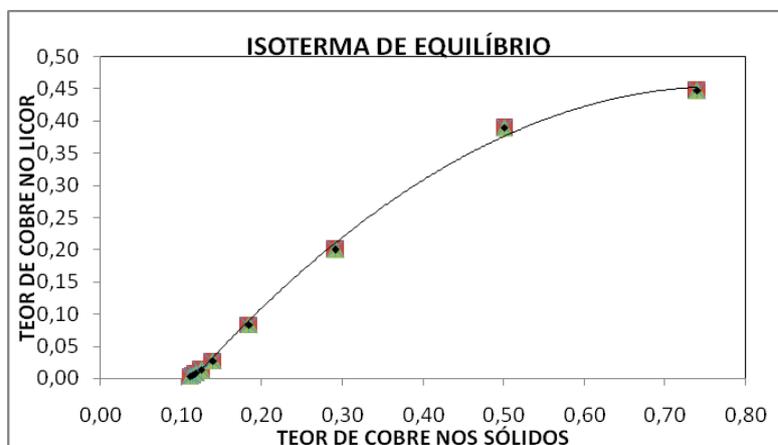
Pode-se notar que no licor de concentração igual a 8% a recuperação de cobre foi máxima o que é favorável do ponto de vista técnico e econômico à medida que os custos com reagente são reduzidos em comparação com os que se teria, caso o ponto ótimo ocorresse em uma concentração maior. O ponto ótimo de extração no estudo da relação líquido/sólido se deu quando a relação era igual a 2,5 o que é interessante economicamente pelo mesmo motivo do parâmetro anterior.

Para a análise do tempo ótimo tomaram-se dez pontos de coleta e a recuperação máxima correspondeu ao tempo de 15 minutos de agitação. Pode-se notar que após esse tempo ocorre uma diminuição na recuperação, ao invés da sua constância, o que pode ser explicado pela concentração de cobre no licor ultrapassar o limite de solubilidade na solução, ocasionando a formação de cristais e sua conseqüente precipitação impedindo que haja sua passagem através do papel de filtro.

### 3.3. Isoterma de equilíbrio

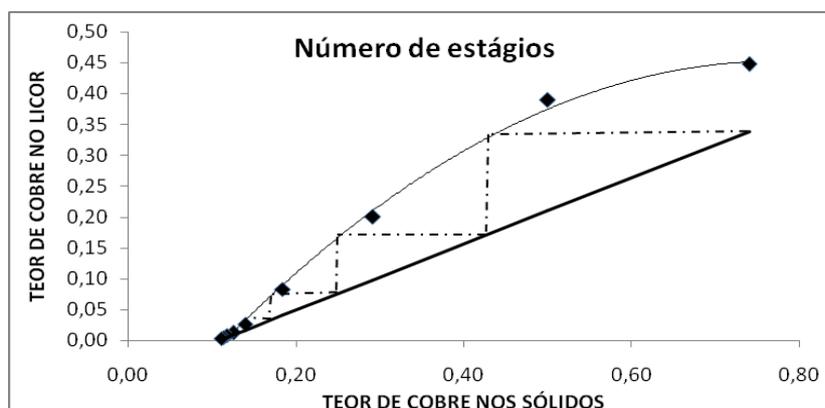
A Isoterma de Equilíbrio (Figura 06) de extração de cobre nos auxilia na visualização do equilíbrio do sistema e nos possibilita determinar do número de estágios de lixiviação que devem ser realizados a fim de se alcançar a máxima

extração de forma mais econômica, evitando um maior número de estágios com um acréscimo de recuperação insignificante.



**Figura 06** – Isoterma de equilíbrio

No início a percentagem de cobre no minério era de 0,74%, após o primeiro estágio de lixiviação essa percentagem já cai para aproximadamente 0,5% e após quatro estágios de lixiviação esse teor é menor que 0,1% (Figura 07). O que significa dizer que após quatro estágios a recuperação de cobre é maior que 80%. E a partir de então se tem uma recuperação de cobre muito pequena a cada estágio posterior.



**Figura 07** – Número de estágios de lixiviação

#### 4. CONCLUSÕES

Em relação ao método observa-se a coerência de dados, pois em cada otimização de uma variável, o percentual da recuperação aumenta. O estudo dos parâmetros concentração de ácido, relação líquido/sólido, tempo e o número de estágios necessários para a otimização da recuperação de cobre pela via hidrometalúrgica através da lixiviação de cobre oxidado, oriundo da Serra do Sossego, em tanques agitados nos direcionou para os pontos ótimos destes parâmetros que são concentração de 8% de ácido sulfúrico, numa relação líquido/sólido igual a 2,5 submetidos a 15 minutos de agitação em três estágios obtendo-se uma recuperação de até 80%, alta, observando-se que a extração foi executada em um só estágio.

Uma observação interessante é que em todos os ensaios verificaram-se que, depois de atingido o ponto de saturação, os valores percentuais de recuperação caem, pois ocorre cristalização do sulfato de cobre, o que mostra que a extração por lixiviação com ácido sulfúrico não deve ser efetuada em um único estágio, para assim, garantir a extração do cobre cristalizado.

A curva da isoterma de extração observou-se que o número de estágios não deve ser superior a 3, um número maior de estágio somente será viável,, após estudos prévios de viabilidade econômica serem parecer favorável, Preço do metal no mercado e custos do processo de extração devem serem levados em consideração.

Esses dados servirão de base no futuro iniciarem-se estudos de lixiviação em colunas e pilhas, assim com o posterior dimensionamento de pilhas de minério oxidado de cobre.

## **5. AGRADECIMENTOS**

Os autores Agradecem à Vale, pela doação das amostra, ao CNPq pelo apoio financeiro, à UFPA pelo apoio logístico e à técnica do Laboratório de Hidro e Eletrometalurgia Rita Quezado por toda a paciência e prestatividade.

## **6. REFERÊNCIAS**

Pereira, G. S. P., Lixiviação de pilhas de minério oxidado de cobre. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica de São Paulo. 215 p., 2000.

Heck, N. C., Metalurgia extrativa dos metais não-ferrosos. Dissertação de Mestrado. Departamento de Metalurgia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

APHA, *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20<sup>th</sup>, Washington, (1998).