

CONCENTRAÇÃO DE COBRE COM SEPARADOR ELETROSTÁTICO

F. B. Pereira¹, A. M. Imbelloni¹, F. O. Milhomem¹, C. B. Zorzal¹, C. A. Pereira¹, E. Nuñez²

¹ Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto
Campus Universitário, Bauxita, Ouro Preto, MG, 35400-000.

e-mail: felipedbp@gmail.com, carolinezorzal@gmail.com, pereira@demin.ufop.br

² Departamento de Engenharia de Minas, Universidad Nacional de San Juan
Campus Universitário, Mitre, 396, San Juan, Provincia de San Juan, Argentina.
e-mail: enonius@gmail.com.

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido na Universidad Nacional de San Juan/Argentina. Os ensaios em batelada foram realizados com minério de cobre (calcopirita com teor de 0,42 a 1 % de cobre) e materiais provenientes de reciclagem com alta concentração de fios de cobre. Para estudo da concentração dessas duas amostras foi utilizado o separador eletrostático Carpcó. Devido à grande quantidade de variáveis que este equipamento possui, foram realizados testes preliminares a fim de identificar parâmetros iniciais referentes às mais significativas. As variáveis selecionadas para os ensaios de concentração foram taxa de alimentação, voltagem, velocidade de rotação do tambor, ângulo das palhetas. A recuperação de fios de cobre de material reciclado chegou a 83,53 % através do emprego de etapas *rougher* e *scavenger* do produto médio da etapa anterior.

PALAVRAS-CHAVE: Separador eletrostático, calcopirita, concentração, reciclagem.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A calcopirita é o mineral de cobre mais amplamente distribuído e uma das principais fontes de obtenção do mesmo. É composta de sulfeto de cobre-ferro, CuFeS_2 , que cristaliza no sistema tetragonal onde o prisma apresenta todos os ângulos internos retos e duas arestas equivalentes porém distinta da restante.

A quantidade de equipamentos eletroeletrônicos produzidos com a utilização de cobre é muito grande. Devido ao aumento do consumo destes bens e devido à pequena vida útil desses equipamentos, a sua produção tem aumentado ainda mais (Lee, 2000). Conseqüentemente, a quantidade de material obsoleto e defeituoso cresce na mesma proporção, e seu descarte se torna necessário. No entanto, a reciclagem deste tipo de sucata ainda é bastante limitada diante da heterogeneidade dos materiais presentes e da complexidade de produção destes equipamentos.

O propósito desta pesquisa desenvolvida na Universidad Nacional de San Juan é determinar os parâmetros ótimos de utilização da concentração eletrostática tanto para o minério de cobre (calcopirita) como para a separação de fios de cobre de resíduos plásticos. No que tange a concentração de calcopirita é conveniente ressaltar que este método é de extrema importância para a o desenvolvimento sustentável da região, pois trata-se de uma região árida, o que torna muito custoso o processo de flotação, uma vez que este exige um volume expressivo de água.

A separação eletrostática é um processo de concentração de minérios e/ou outras misturas sólidas que se baseiam nas diferenças de algumas de suas propriedades, tais como: condutibilidade elétrica, susceptibilidade em adquirir cargas elétricas superficiais, forma geométrica, densidade, entre outras. Para promover a separação é necessária à existência de dois fatores elétricos: campo elétrico de intensidade suficiente para desviar uma partícula eletricamente carregada quando em movimento na região do campo e carga elétrica superficial das partículas, ou polarização induzida, que lhes permitam sofrer a influência do campo elétrico.

A separação eletrostática é um processo indicado para o beneficiamento de minérios, como: areia monazítica, minerais pesados, ilmenita, rutilo, zircônio, além de granada, dentre outros. Ademais, o controle ambiental, cada vez mais exigente, proporciona o emprego desse processo na separação de metais e plásticos, na reciclagem de materiais (Sampaio *et al*, 2007). A maior restrição ao uso desse processo é que a operação tem que ser a seco, assim, sua capacidade se torna muito baixa para materiais mais finos, ou seja, abaixo de 60 μm .

O uso da separação eletrostática tem crescido na reciclagem de metais tal como o cobre, uma vez que novos estudos têm sido estimulados para o tratamento de resíduos. Segundo Veit *et al* (2008), grande parte das sucatas de equipamentos eletroeletrônicos são dispostas junto ao lixo doméstico o que acarreta na perda de metais valiosos e na poluição do meio ambiente.

As características da amostra que exercem maior influência no desempenho do separador eletrostático são:

- Distribuição granulométrica: partículas grossas ou finas demais, condutoras, podem se dirigir ao produto não condutor, diminuindo a eficiência do processo, uma vez que os separadores operam com partículas entre 60 e 500 μm (Will's, 2006). O comportamento das primeiras se deve a carga superficial pequena, já as segundas, se encontram no inferior do leito das partículas não-condutoras, sendo transportadas junto às mesmas;
- Grau de Liberação: para um processo de separação do mineral de interesse ser bem sucedido, o grau de liberação deve ser maior que 80 %;
- Diferença de condutibilidade entre os componentes da alimentação: é um pré-requisito essencial para

uma adequada separação. A condução elétrica depende da carga, da concentração de carga e da mobilidade do transportador;

- Umidade: a presença de água nas partículas deve ser eliminada, pois reduz a eficiência de separação, uma vez que elas ficam suscetíveis a eletrização, apresentando um comportamento elétrico que não corresponde às mesmas.

2. METODOLOGIA

Os trabalhos de laboratório foram realizados nas instalações do Departamento de Engenharia de Minas da Universidad Nacional de San Juan, na cidade de San Juan na Argentina. O objetivo do trabalho consistiu em verificar a aplicação da separação eletrostática para concentração de minerais de cobre, e, posteriormente, a recuperação de fios de cobre provenientes de material para reciclagem.

O equipamento utilizado foi o Separador Eletrostático Carpco Research and Engineering INC, mostrado na figura 1. Este apresenta um comprimento de tambor de aproximadamente 0,0152 m e um diâmetro de 0,0140 m. Ao final de um ciclo, o equipamento fornecia 3 produtos: concentrado, o qual era rico em cobre; médios, apresentava teor intermediário; e rejeito, com baixo teor de cobre. A seguir, para a amostra de calcopirita era, então, realizada a recirculação do rejeito e dos médios. Mas, quando tratou-se de fios de cobre, apenas os médios foram recirculados, pois, o rejeito apresentava massa de metal praticamente nula.

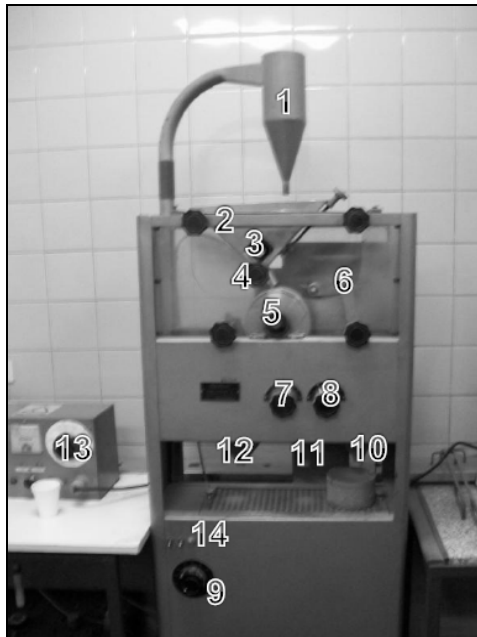


Figura 1: Separador Eletrostático Carpco: 1) Alimentador da recirculação; 2) Recipiente de armazenagem de material; 3) Resistência; 4) Chave de controle da alimentação; 5) Tambor; 6) Haste que sustenta os eletrodos ionizantes e o separador; 7) Regulador da paleta separadora do material estéril e misto; 8) Regulador da paleta separadora de material concentrado e misto; 9) Controlador de velocidade de rotação do tambor; 10) Funil de coleta do material concentrado; 11) Funil de coleta do material misto; 12) Funil de coleta do material estéril; 13) Controle da diferença de potencial aplicada nos eletrodos.

O trabalho foi dividido em três fases distintas. Inicialmente, foram realizados testes preliminares, experimentos para verificar a influência das variáveis do equipamento; em seguida, foram feitos ensaios para concentrar minerais de cobre, e por último, recuperação do cobre proveniente de fios para reciclagem.

2.1 Testes preliminares

As principais variáveis do separador eletrostático foram determinadas a partir de vários testes com calcopirita realizados com uma variável fixa e as demais constantes. A determinação do valor ótimo foi feita com análise visual dos produtos obtidos. As variáveis estudadas foram as seguintes:

- Velocidade de rotação: Para definir a velocidade de rotação do tambor, foram mantidas constantes a voltagem a 20 KV, o ângulo da paleta 1 a 65 graus e da paleta 2 a 40 graus. A velocidade de rotação variou de 22 a 108 RPM (rotação por minuto).
- Diferença de potencial: A verificação da influência dos diferentes níveis de voltagem para a amostra de calcopirita foi realizada por ensaios mantendo-se constante a inclinação das paletas 1 e 2, com um ângulo de 60 e 40°, respectivamente, uma velocidade 85 RPM e por um tempo de 600 s.
- Ângulo das paletas: A paleta 1 é responsável por separar o rejeito do misto. Desta forma, deve-se utilizar uma inclinação onde se tem uma baixa concentração de calcopirita. A paleta 2, por sua vez, é responsável pela separação entre o concentrado e os médios, devendo alcançar o menor teor de Cu no rejeito. Nos testes, os ângulos das paletas 1 e 2 foram variados.
- Temperatura de operação: O concentrador eletrostático disponível nas instalações da UNSJ não possui um regulador de temperatura, porém, quando estabilizado, a resistência pode fornecer calor ao sistema, que atinge uma temperatura de 110° C. Foram realizados, então, testes com a resistência acionada e desligada.
- Posição dos eletrodos: O posicionamento dos eletrodos depende de duas hastes que estão conectadas, as quais podem ser movidas para determinar a posição desejada. Foram testadas diferentes posições dos eletrodos e das hastes.

2.2 Concentração do Minério de Pachon

O minério utilizado para realização dos ensaios foram amostras de calcopirita (CuFeS_2) da mina de Pachon, da companhia Xstrata, localizada na região de Caliglasta, no noroeste da Argentina. O minério estudado apresenta teores médios de 1 % de cobre, 0,12 % de molibdênio e de 3 % de ferro. Os ensaios foram realizados utilizando as variáveis que foram determinadas na primeira etapa do trabalho. A massa utilizada no ensaio foi 0,340 Kg de minério. O tempo total para realizar cada teste era de 1500 s, sendo que os 300 primeiros eram necessários para a estabilização do sistema, nos 420 seguintes ocorria a recirculação sem separação dos produtos e no tempo restante havia a coleta propriamente dita.

2.3 Recuperação de Fios de Cobre Provenientes de Material Reciclado

A amostra utilizada consistiu de pedaços triturados de plástico e fragmentos de fio de cobre, apresentando um d_{80} igual a 0,0002 m. Há diferença significativa de condutibilidade entre os constituintes, o que garante uma boa separação no equipamento eletrostático. A amostra de fios de cobre com resíduos plásticos fora simulada de tal forma a obter uma concentração média de $0,011 \text{ Kg}_{\text{Fios de Cu}}/\text{kg}_{\text{amostra}}$. Para os testes de recuperação de cobre provenientes de material reciclado, as variáveis do equipamento foram mantidas as mesmas que as dos ensaios de concentração da calcopirita. Exceto a temperatura, pois, a fim de evitar que o plástico presente na amostra derretesse a resistência não foi acionada. A massa da alimentação do teste foi de 4,6 Kg.

3. RESULTADOS

3.1 Testes Preliminares

A utilização de velocidades de rotação do tambor elevadas promovem saltação das partículas e, além disso, a exposição das partículas ao campo elétrico por pouco tempo, são fatores que dificultam a separação dos elementos condutores. Sendo assim, observou-se que a velocidade de 85 RPM apresenta os melhores resultados.

A diferença de potencial aplicada no sistema é fundamental para determinarmos o quão rápido será a separação e também para determinarmos o grau de pureza que o concentrado terá, deste conclui-se que existe uma faixa na qual os produtos são similares, compreendendo entre 15 – 25 KV. Assim, definiu-se a diferença

de potencial em 20 KV.

A paleta 1, responsável por separar o rejeito do misto, apresentou a menor concentração do mineral de interesse com um ângulo de 70°. Já para a paleta 2, responsável pela separação entre misto e concentrado, ao utilizar ângulos de inclinação muito baixos, o concentrado obtido apresentou significativa presença de material não liberado. Para esta variável determinou-se então o ângulo de 60°.

Segundo De Waal e Du Plessis (2005), a condutividade dos materiais é uma propriedade instável, sendo assim pode ser influenciada pela temperatura do minério e pelas condições do ambiente como umidade e temperatura. Nos experimentos realizados a temperatura na qual o minério é submetido é da ordem de 110° C. Tal aquecimento otimizará a eficiência do processo, pois, elimina toda a umidade residual do material. Sendo assim, utilizando a resistência tem-se uma melhor concentração.

Para os eletrodos adotou-se um posicionamento em uma direção tangente ao tambor.

3.2 Ensaios de Concentração com Minério de Cobre

A alimentação apresentou um d_{80} de 0,00005 m, onde aproximadamente 45 % se encontra entre $6,25 \times 10^{-5}$ m e $2,5 \times 10^{-4}$ m e 55 % entre $2,5 \times 10^{-4}$ m e 1×10^{-3} m. A figura 2 mostra a curva granulométrica dos produtos e da amostra inicial.

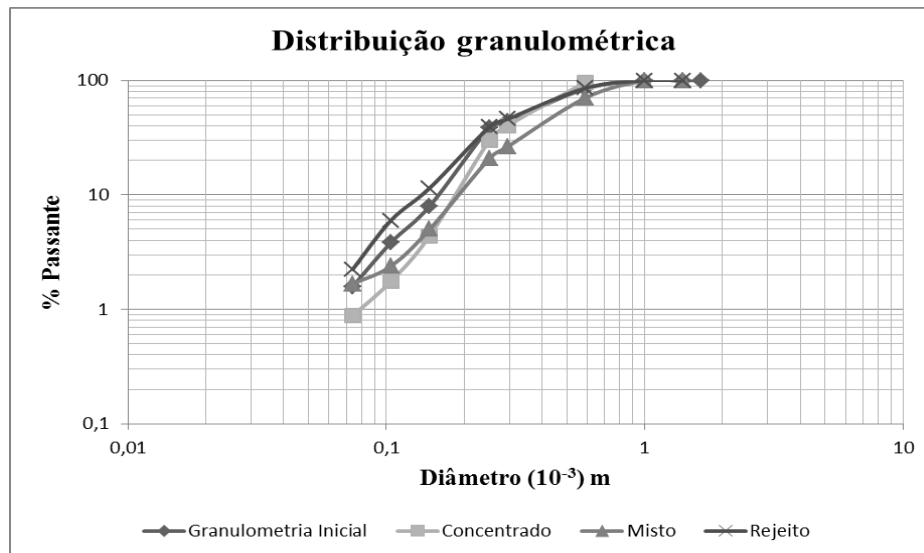


Figura 2: Curvas granulométricas da alimentação e dos produtos do processo de concentração.

Após a realização do procedimento de concentração, conforme a metodologia explicada anteriormente foram analisados os teores e as recuperações mássicas da alimentação de cada produto, tanto para o cobre quanto ao ferro, como mostrados na tabela I.

Tabela I: Teor e Recuperação Mássica do Cobre e Ferro.

Amostra	Teor (%)		Recuperação mássica do Cu (%)	Recuperação mássica do Fe (%)
	Cu	Fe		
Alimentação	0,41	3,76	-	-
Concentrado	0,79	35,4	17,45	70,89
Médios	0,35	2,47	31,54	24,27
Rejeito	0,31	0,84	40,83	12,06

A recuperação metalúrgica de cobre no concentrado não foi satisfatória. O minério utilizado é um material de difícil aplicação para a concentração eletrostática devido ao seu baixo teor de cobre. Acredita-se que este material não se encontra bem liberado, o que pode ser uma das causas da baixa recuperação de cobre. Para uma maior liberação dos minerais de interesse seria necessário fragmentar mais o minério, tornando a concentração eletrostática ineficiente.

Segundo Sampaio e Da Luz (2005), as faixas granulométricas muito amplas não são adequadas à separação eletrostática. A dimensão e forma das partículas têm influência na ação do separador. Aquelas com granulometria grossa possuem carga superficial pequena devido à baixa superfície específica. Como consequência, a força eletrostática sobre as mesmas é menor que o peso individual de cada partícula. Tal fato justifica a presença de material grosso e condutor na fração não condutora, diminuindo a eficiência do processo. Por outro lado, partículas muito finas e condutoras tendem a permanecer com as não condutoras nos leitos inferiores das mesmas sobre a superfície do rolo, diminuindo também o desempenho da operação.

3.3 Recuperação de Fios de Cobre Provenientes de Material Reciclado

Da amostra de 4,6 Kg de fios de cobre proveniente de material reciclado, sabia-se que 0,0502 Kg representavam massa de cobre. A tabela II representa os valores de recuperação de cobre no produto.

Tabela II: Resultados dos ensaios para a concentração do cobre.

Etapa	Massa de Cobre (Kg)	Recuperação (%)
Rougher	0,0347	69,18
Scavenger do produto médio	0,0419	83,53

A partir dos resultados acima, observou-se uma boa eficiência da separação eletrostática, comprovando a exequibilidade para prática de reciclagem de cobre presente em materiais dielétricos.

A figura 3 traz uma simulação possível do comportamento da massa recuperada de cobre, caso fosse realizada a recirculação dos médios após a segunda etapa, onde se reciclou o produto médio da recirculação inicial (*scavenger* do produto médio). Admitindo que as variações seguissem uma tendência linear, espera-se obter uma recuperação de aproximadamente 0,0485 Kg de cobre, logo 96,6 % de recuperação mássica.

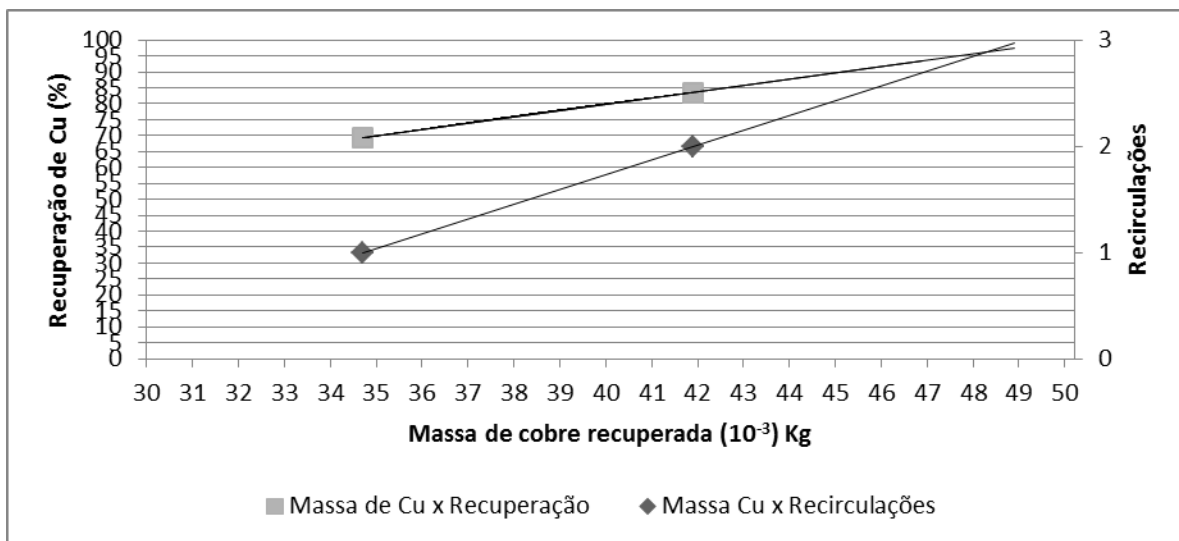


Figura 3: Tendências de recuperação de cobre em função do número de recirculações no sistema.

4. CONCLUSÕES

A partir dos ensaios realizados, conclui-se que o método de separação eletrostática apresenta um conjunto abrangente de variáveis que dificultam sua aplicação, sendo assim, acabam restringindo sua aplicabilidade.

A tentativa de concentração de calcopirita se mostrou ineficiente nas condições na qual o minério se encontrava. Novos estudos sobre este método deveriam ser realizados, utilizando-se de outras variáveis, de forma a encontrar uma possível utilização desta técnica, já que trata-se de uma região árida. Além disso, é comum o uso da separação eletrostática em conjunto com outros processos, como separação gravítica e magnética. Assim, sugere-se para trabalhos futuros determinar com maior precisão a granulometria mais indicada para o processo, fazendo ensaios com mais faixas granulométricas, e verificar a concentração com outros tipos de circuito.

Por outro lado, a concentração de cobre presente em resíduos industriais reaproveitáveis demonstrou ser aplicável com sucesso, pois apresentou uma boa recuperação do metal contido na alimentação, igual a 83,53 %, demonstrando ser possível utilizar tal técnica para recuperação de cobre para a reciclagem.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

De Waal, P., Du Plessis, F. E. Automatic control of a high tension roll separator. Heavy Minerals 2005, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2005.

Lee, C. H., Chang, S. L., Wang, K. M., Wen, L. C. Management of Scrap Computer Recycling in Taiwan. Journal of Hazardous Materials A73, p. 209-220, 2000.

Sampaio J. A., Da Luz A. B. Separação Magnética e Eletrostática. Comunicação Técnica elaborada para a 4ª Edição do Livro de Tratamento de Minérios, CT2004-186-00. CETEM, Rio de Janeiro, p.326 – 327, 2005.

Sampaio, J. A., França, S. C. A.; Luz, A. B. Ensaio de Separação Magnética e Eletrostática. In Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais. Sampaio, J. A. França, S. C, Braga, P. F. A. (editores) CETEM/MCT, Rio de Janeiro, p. 319-348, 2007.

Veit, H. M., Bernardes, A. M., Bertuol, D. A., Oliveira, C. T. Utilização de processos mecânicos e eletroquímicos para reciclagem de cobre de sucatas eletrônicas. REM: Revista Escola de Minas, 61:2, p. 159-164, 2008.