

FLOTAÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE ZINCO

M. L. C. Russo; E. M. Martins; C. A. Pereira;

Departamento de Engenharia de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto

Morro do Cruzeiro 35400-000 – Ouro Preto - MG

E-mail: pereira@demin.ufop.br;

RESUMO

No mercado mundial, o valor dos metais tem aumentado consideravelmente. Todas as empresas mineradoras estão adotando medidas com o objetivo de aperfeiçoar seus processos de concentração, sempre visando retirar a máxima quantidade de metal de interesse do minério ROM. Este princípio é compatível com o alvo ambiental de minimização da geração de resíduos na atividade mineral. Este trabalho investigou parâmetros para a concentração de rejeitos do circuito de flotação de willemita. Testes de flotação em escala de bancada foram executados para determinar os reagentes a serem usados e suas respectivas dosagens. Concluiu-se que o uso de um sistema de reagentes que consistia de sulfeto de sódio, silicato de sódio e uma emulsão composta por dodecilamina, óleo diesel e metil iso butil carbinol (MIBC) era adequada para se alcançar uma boa performance na flotação do rejeito do processamento de minério de zinco. Foram aplicadas ferramentas estatísticas (software MINITAB) com o objetivo de se determinar as melhores dosagens desses reagentes. Para uma alimentação com teor de 2,9% de zinco, obteve-se um concentrado com teor de 10,5% de zinco, com recuperação metalúrgica de aproximadamente 58%, empregando-se apenas um único estágio *rougher*.

PALAVRAS-CHAVE: willemita, flotação, ferramentas estatísticas, rejeito, resíduo.

ABSTRACT

In the world market, the metal prices have been increasing considerably. All mining companies have adopted actions with the objective of optimizing their concentration processes, enhancing the recovery of the metal bearing mineral from the ROM. This line is compatible with the environmental target of minimizing the generation of wastes in the mining activities. The goal of the present investigation is to determine conditions to concentrate the tailing of the willemita flotation circuit. Bench scale flotation was carried out to determine which reagents should be used, and their respective dosages. It was concluded that sodium sulphide, sodium silicate, and an emulsion of primary dodecylamine, diesel oil, and MIBC, is adequate to reach a good flotation performance. The results of the tests were analyzed with the help of a statistical tool (MINITAB), with the objective of determining the best dosages of these reagents. From a feed with a zinc grade of 3.4%, it was obtained a concentrate with zinc grade of 10.6%, at a metallurgical recovery of 58%, with the use of only one rougher flotation stage.

KEY-WORDS: willemita, flotation, statistical tools, wastes, tailings.

1. INTRODUÇÃO

A Votorantim Metais é a maior produtora de zinco da América Latina e está entre as maiores produtoras mundiais. Possui unidades metalúrgicas nas cidades de Três Marias e de Juiz de Fora, ambas no Estado de Minas Gerais. Grande parte do suprimento de minério é garantida por uma mina situada na cidade de Vazante/MG, onde são extraídos minérios silicatados de zinco (willemita e calamina).

A Votorantim Metais, em sua unidade de Vazante/MG, gera hoje três tipos de rejeito: O rejeito final do processo de concentração de willemita, o rejeito final do processo de concentração de calamina, e a lama de calamina. Esses rejeitos têm como características principais a granulometria fina e teores baixos de zinco. A geração do rejeito de willemita é consideravelmente superior aos resíduos oriundos do beneficiamento da calamina, e os planos de desenvolvimento da empresa contemplam um aumento na exploração da willemita em curto prazo. Por isso, este trabalho se baseou no estudo de viabilidade de concentração via flotação do rejeito willemítico.

Segundo Borges (1993), de acordo com a tendência mundial, beneficiar minérios de teores mais baixos, que anteriormente foram estocados ou foram considerados estéreis e depositados em pilhas, tratar rejeitos de processos de concentração e reduzir as perdas na deslamagem tornou-se fundamental.

Rey (1979) cita suas experiências, aonde chega à conclusão de que o melhor processo para a concentração de minérios oxidados de zinco é a flotação, tendo como etapa preliminar uma dispersão da lama, a sulfetização, e por fim, a adição de coletor e espumante.

A importância da recuperação de finos no minério de zinco pode ser observada no trabalho de Peres e Galery (1981). Pesquisando o minério willemítico da empresa CMM, observaram que a lama descartada representava 43% (em peso) da alimentação.

Pereira (2004) mostrou que utilizando concentrações mais altas de dispersante era possível tratar o minério calamínico sem deslamar, conseguindo uma recuperação em torno de 70%.

Segundo Russo (2007), apesar da granulometria fina do rejeito de willemita, é possível a concentração do mesmo via flotação, alcançando bons resultados em termos de recuperação e teores, desde que haja uma boa dispersão, e as dosagens de reagentes sejam determinadas de maneira racional.

A willemita (Zn_2SiO_4) pertence à classe dos ortossilicatos, caracterizados por apresentarem tetraedros independentes, ligados entre si por cátions de zinco. Na fratura do cristal, esta estrutura favorece a criação de uma superfície polarizada.

2. OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo:

- Determinar, os melhores reagentes para a flotação de rejeito de willemita.
- Planejar, executar e analisar resultados de testes de flotação em bancada segundo um planejamento estatístico, com o objetivo de se investigar parâmetros para a flotação do rejeito de willemita;

3. METODOLOGIA

Os ensaios foram feitos com amostras de rejeito de processamento de willemita fornecidas pela Votorantim Metais, unidade de Vazante. Foi feito de início, uma análise dos minerais constituintes das amostras em questão, e este indicou os seguintes minerais:

- Silicatos: quartzo, willemita;
- Carbonatos: dolomita, smithsonita;
- Sulfetos: esfalerita, galena;
- Óxidos: hematita;

Os ensaios laboratoriais foram desenvolvidos nos laboratórios do DEMIN (Departamento de Engenharia de Minas) da Universidade Federal de Ouro Preto. Foram feitos vários ensaios preliminares, com o objetivo de se determinar quais reagentes seriam mais efetivos na flotação do rejeito de willemita. E depois esta flotação foi analisada em termos de dosagens dos reagentes.

Foi determinado que os reagentes que mais respondem ao processo de flotação são o sulfeto de sódio, o silicato de sódio e uma emulsão. Os ensaios de flotação de bancada para esta pesquisa foram feitos de acordo com a seguinte metodologia:

- Tempo de condicionamento inicial de 5 minutos;
- Adição do dispersante (silicato de sódio), e condicionamento por 2 minutos;
- Adição de 60% do sulfeto de sódio, condicionamento por 3 minutos;
- Adição de 60% da emulsão e condicionamento por 2 minutos;
- Flotação por 2 minutos, e retirada do primeiro concentrado;
- Adição de 20% do sulfeto de sódio e condicionamento por 3 minutos;
- Adição de 20% da emulsão e condicionamento por 2 minutos;
- Flotação por 2 minutos e retirada do segundo concentrado;
- Adição dos 20% restantes do sulfeto de sódio e condicionamento por 3 minutos;
- Adição dos 20% restantes da emulsão. Condicionamento por 2 minutos;
- Flotação por 2 minutos e retirada do terceiro concentrado;
- Retira-se o rejeito que permanece contido na cuba de flotação.

A seguir, os resultados experimentais de flotação obtidos foram analisados em termos de dosagem ótima de reagentes. Os ensaios de flotação com o rejeito de willemita foram desenvolvidos, segundo um planejamento estatístico, no qual se variaram os níveis de concentração dos reagentes, de acordo com a tabela I abaixo:

Tabela I - Níveis de dosagem de reagentes para o planejamento estatístico:

Níveis	Sulfeto de Sódio (a)	Silicato de Sódio (B)	Emulsão (c)
Mínimo	(-1) 500 g/t	(-1) 1000 g/t	(-1) 400 g/t
Máximo	(+1) 2000 g/t	(+1) 2000 g/t	(+1) 800 g/t

Trabalhou-se com as três variáveis apresentadas na tabela acima (sulfeto de sódio, silicato de sódio e uma emulsão), a dois níveis cada uma (máximo e mínimo). A emulsão é composta por dodecilamina, óleo diesel e MIBC. O número de testes desenvolvidos em um experimento é dado pela equação 01:

$$N^{\circ} \text{Testes} = N^{\circ} \text{níveis}^{N^{\circ} \text{variáveis}} \quad (01)$$

Então este planejamento estatístico exigiu a realização de oito testes, com três variáveis a dois níveis ($2^3=8$ testes). Como cada teste tem uma réplica, foi desenvolvido um total de dezesseis testes.

O resultado final da recuperação de cada teste foi um resultado composto em função dos concentrados obtidos em cada etapa do teste.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A tabela II apresentada abaixo, mostra o resultado da análise granuloquímica do rejeito de willemita, que é o material a ser submetido à testes de flotação de bancada.

Tabela II – Resultado de Análise Granuloquímica do Rejeito de Willemita

Peneira mm	Massa Retida (g)	% Simples	% Acumulada	% Zn	Dist. Zn	% Fe
0,149	68,1	5,97	5,97	3,04	6,20	2,05
0,105	70,6	6,19	12,16	3,04	6,43	3,01
0,074	49,6	4,35	16,51	2,44	3,63	5,57
0,053	53,6	4,70	21,21	1,96	3,15	8,03
0,044	64,4	5,65	26,85	1,74	3,36	9,84
0,037	38,3	3,36	30,21	1,63	1,87	10,42
-0,037	796,1	69,79	100,00	3,16	75,37	9,51
	$\Sigma=1140,7g$	$\Sigma=100,00\%$		%Zn (calculada) 2,93%	$\Sigma=100\%$	%Fe (calculada) 8,47%

O objetivo de se organizar testes laboratoriais de flotação, controlando-se a variação de níveis de dosagem de cada um dos reagentes a um máximo e um mínimo, é analisar todas as combinações possíveis, buscando tanto a melhor condição de flotação para o material como a influência da variação de cada reagente nas respostas finais, em termos de recuperações e teores.

Após uma etapa de ensaios preliminares que indicaram quais os melhores reagentes a serem usados, foi estipulada uma faixa de dosagem (entre os níveis máximos e mínimos), na qual a flotação se mostrou viável. Na tabela III abaixo, apresenta-se as dosagens de reagentes usadas em cada teste. O primeiro teste cujos resultados são apresentados, na primeira linha, é o teste tampão, onde as dosagens dos três reagentes se encontram no nível mínimo (-1). Na segunda linha, apresenta-se o teste onde apenas a variável “sulfeto de sódio” (chamada variável ou efeito “a”) está no nível máximo, logo este teste é chamado também de teste “a”.

Nas duas últimas colunas da tabela III (Teor Médio e Recuperação Média), vêm-se os resultados dos ensaios em termos de teor de zinco e recuperação metalúrgica, respectivamente. Todos os testes foram realizados com réplica. Os valores dos teores e das recuperações apresentados correspondem à média entre os resultados de cada um dos testes e de sua respectiva réplica.

Tabela III – Resultado dos Ensaios de Flotação de testes Desenvolvidos Segundo um Planejamento Estatístico

Teste	Sulfeto de Sódio	Silicato de Sódio	Emulsão	Teor Médio	Recup. Média
	a	b	c		
Tampão	-1	-1	-1	9,92	56,72
a	+1	-1	-1	8,94	58,57
b	-1	+1	-1	10,59	52,18
ab	+1	+1	-1	10,45	57,89
c	-1	-1	+1	7,48	52,45
ac	+1	-1	+1	5,90	50,50
bc	-1	+1	+1	7,56	50,75
abc	+1	+1	+1	6,47	53,28

Fez-se uma análise estatística dos resultados do teste fatorial, usando o software estatístico “MINITAB”. Esta análise foi feita tanto em termos de teores como em termos de recuperação:

a. Análise Segundo os Teores

Apresenta-se na figura 01, o gráfico de Pareto para os teores, onde todos os efeitos que ultrapassam o valor de 1,86 são significantes. Assim, pode-se confirmar que somente o efeito conjunto dos três reagentes na sua condição máxima, não é significativo, numa análise a um nível de confiança de 5%. O gráfico de Pareto apresenta também o grau de significância de cada um dos fatores. Nota-se que o efeito correspondente à emulsão (c) é o mais significativo.

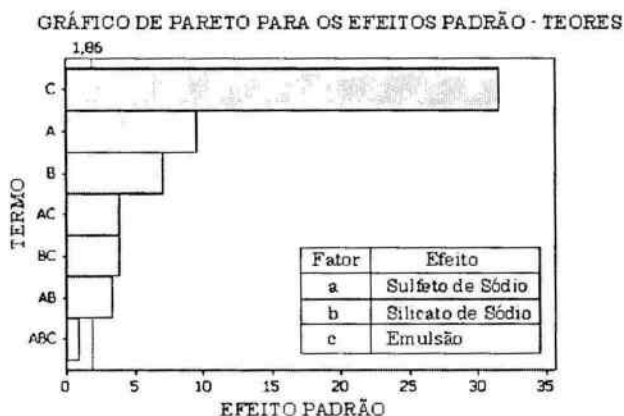


Figura 01 – Gráfico de Pareto para Efeitos Padrão (Teores)

A variação do resultado (teor de Zn) em função de cada uma das variáveis isoladamente, é mostrada na figura 02 abaixo, onde se vê o gráfico dos efeitos principais.

Nota-se que um acréscimo na dosagem do sulfeto de sódio, provoca uma redução no teor de zinco do concentrado. Já um acréscimo na dosagem do silicato de sódio, provoca um aumento no teor de zinco do concentrado, o que confirma o fato de o silicato, oferecendo ao sistema uma condição maior de dispersão, conseqüentemente leva a um acréscimo em termos de seletividade. Um acréscimo na dosagem de emulsão provoca uma redução drástica no teor do concentrado.

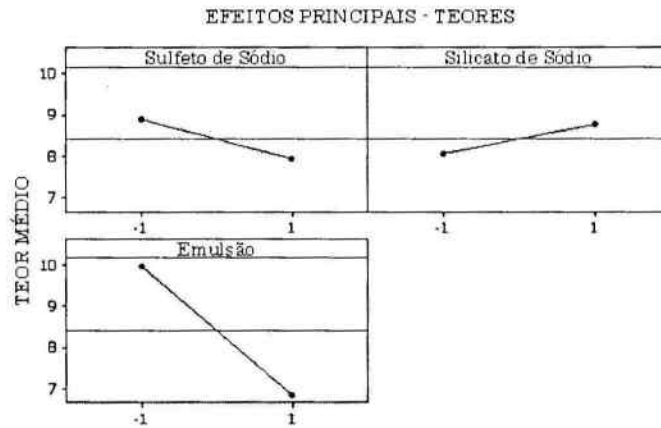


Figura 02 – Gráfica de Efeitos Principais (Teores)

b. Análise Segundo as Recuperações

Apresenta-se na figura 03 abaixo, o gráfico de Pareto para os resultados das recuperações, mostrando que os efeitos que ultrapassam a linha no valor de 1,86 são significantes. De maneira semelhante à análise dos teores, vê-se que o fator principal “c”, correspondente à dosagem de emulsão, exerce uma maior significância sobre o processo de flotação, Porém neste caso seguida pelo fator “ab” (sulfeto de sódio e silicato de sódio em seus níveis máximos) e pelo fator “a” (sulfeto de sódio no nível máximo).

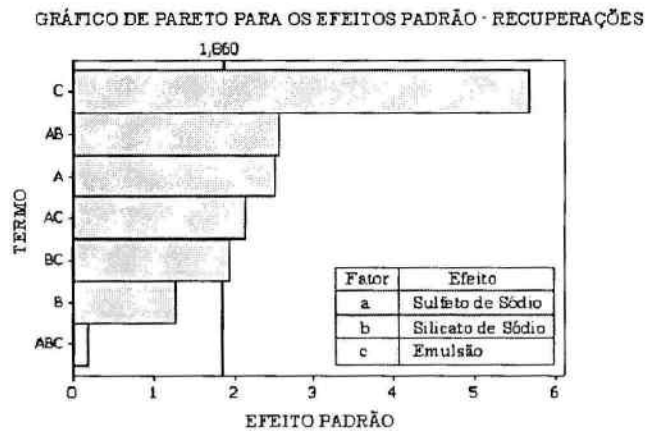


Figura 03 – Gráfico de Pareto para Efeitos Padrão (Recuperações)

Na figura 04 abaixo, vê-se a variação nos efeitos principais em função da recuperação, ao se variar as dosagens de cada reagente do nível mínimo para o nível máximo.

Um acréscimo na dosagem do sulfeto de sódio leva a um incremento na recuperação, pois o sulfeto de sódio tem como função primordial (além de regular o pH) promover uma sulfetização da superfície da willemita, levando este mineral a ser coletado pela amina. Já um acréscimo na dosagem do silicato de sódio, leva a uma redução na recuperação.

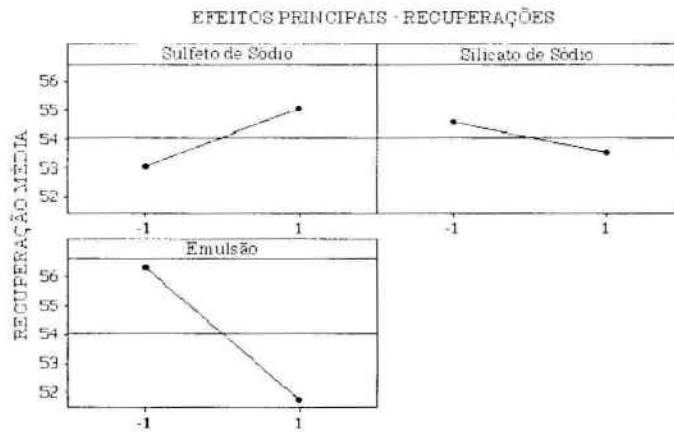


Figura 04 – Gráfica de Efeitos Principais (Recuperações)

5. CONCLUSÕES

- A emulsão foi o reagente com maior capacidade de interferir nos resultados finais. Um incremento na dosagem da emulsão de 400 g/t para 800 g/t, provoca uma redução significativa nos teores e recuperações dos concentrados.
- Analisando os ensaios com dosagem mínima de emulsão, concluiu-se que o sulfeto de sódio contribuiu para um acréscimo na recuperação, e o silicato de sódio, oferecendo um incremento à dispersão do sistema, logo, aumentando a seletividade, contribuiu para um acréscimo nos teores.
- O acréscimo na dosagem de silicato de sódio não interfere no desempenho do sulfeto de sódio, bem como um acréscimo da dosagem do sulfeto de sódio, também não interfere no desempenho do silicato de sódio.
- O teste “ab”, com níveis superiores de dosagem de sulfeto de sódio e silicato de sódio (ambos 2000 g/t) e nível inferior de emulsão (400 g/t) apresentou uma recuperação média de 58,0% e um teor de zinco de 10,5% no concentrado, o que supera as expectativas iniciais do projeto (teor de 10% de zinco e recuperação de 50%) provando que é viável o tratamento do rejeito de willemita via flotação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borges, A.A.M., Influência do estado de dispersão na flotabilidade de minério oxidado de zinco. Dissertação de Mestrado, UFMG, 1993.
- Rey, M., Memoirs of milling and process metallurgy: Flotation of oxidized ores. Transactions Institution of Mining and Metallurgy, 1979.
- Peres, A.E.C., Galéry, R., Investigação visando a redução do teor de dolomita de minério de zinco. UFMG/FCO/CMM, 1981.
- Pereira, C.A., Estudo da dispersão e concentração de minério calaminico. Tese de doutorado, UFMG, 2004.
- Russo, M.L.C., Flotação de Rejeito de Minério de Zinco. Dissertação de Mestrado, UFOP, 2007.