

## FLOTAÇÃO ANIÔNICA DE FINOS DE MINÉRIO DE MANGANÊS SÍLICO-CARBONATADO

Gláucia Regina da Silva

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral / Escola de Minas /UFOP  
E- mail: [glauqui2002@yahoo.com.br](mailto:glauqui2002@yahoo.com.br)

Rosa Malena Fernandes Lima

Dr<sup>a</sup>., Prof<sup>a</sup>. do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral / Escola de Minas /UFOP  
E-mail: [rosa@demin.ufop.br](mailto:rosa@demin.ufop.br)

João Antônio Vasconcelos

Aluno de Iniciação Científica do Departamento de Engenharia de Minas/ Escola de Minas/UFOP  
E-mail: [joantovas@oi.com.br](mailto:joantovas@oi.com.br)

### RESUMO

A exaustão das reservas brasileiras de minérios de manganês de altos teores vem incentivando a adoção de uma série de medidas no sentido de garantir o suprimento do parque siderúrgico nacional, dando destaque a estudos de aproveitamento de protominérios (gondito e queluzito) e ao reaproveitamento dos finos (fração abaixo de 0,15 mm), gerados no beneficiamento dos minérios de manganês de altos teores, que eram descartados para bacias de rejeitos. O presente trabalho teve como objetivo efetuar a concentração de um resíduo de minério de manganês silico-carbonatado da região de Conselheiro Lafaete/MG, cujos teores de Mn, Fe e SiO<sub>2</sub>, eram iguais a 28,3; 3,67 e 28,1%, respectivamente, por flotação aniônica, aplicando a metodologia estatística de planejamento e a análise fatorial de experimentos. As variáveis estudadas foram o pH de flotação, dosagem de coletor (mistura comercial de ácidos graxos) e depressor (silicato de sódio). Através desses estudos verificou-se que os teores de sílica nos concentrados gerados não foram influenciados nos níveis das variáveis estudadas e que os teores e recuperações de manganês foram influenciados pela dosagem de coletor e pH de flotação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reaproveitamento de rejeitos, flotação, manganês.

### ABSTRACT

The exhaustion of the Brazilian deposits of manganese ores which have high content of manganese is motivating the adoption of a series of measures in the sense of guaranteeing the supply of the national metallurgical industry. So, it is necessary to study the possibility to use the poor ores (gondite and queluzite) and to reprocessing the fine sizing fraction (below 0.15 mm) which were generated in the processing the waste of rich manganese ores. The present work had as objective makes the concentration of a residue of silic-carbonated manganese ore from Conselheiro Lafaete/MG area, whose contents of Mn, Fe and SiO<sub>2</sub>, were 28.3, 3.67 and 28.1%, respectively by anionic froth flotation concentration method. The statistical methodology of design experiments was applied. The studied variables were the pH, collector dosage (commercial mixes of carboxylic acids) and depressant (sodium silicate). Through of those studies it was verified that the silic content in the concentrates was not influenced in the levels of the studied variables and that the contents and recoveries of manganese were influenced by the collector dosage and pH.

**KEY-WORDS:** Waste reprocessing, froth flotation, manganese.

## 1 - INTRODUÇÃO

O Brasil possui grandes reservas de minério de manganês, da ordem de 132 milhões de toneladas (2,5% das reservas mundiais). Ocupa um papel importante no mercado internacional, 5º lugar em termos de reservas, que se concentram principalmente nos estados de Mato Grosso do Sul (40,79%) e Pará (36,20%). Os estados da Bahia, Espírito Santo, Amapá, Goiás, Ceará e Minas Gerais possuem importantes reservas remanescentes, que apresentam teores em manganês muito baixos e em fase de exaustão como é o caso de Morro da Mina em Conselheiro Lafaiete-MG. Os maiores produtores de minério de manganês são a África do Sul, Austrália e Brasil (Costa e Figueiredo, 2005 e DNPM,2005).

O processo de beneficiamento de minérios de manganês de elevados teores de Minas Gerais consistia de fragmentação e classificação em peneira de 0,15 mm, cuja fração granulométrica menor que 0,15 mm (finos) eram armazenadas em bacias de rejeito. No entanto, métodos gravíticos de concentração (jigues, mesas vibratórias e espirais de Humphrey) e flotação podem ser utilizados para recuperar as frações granulométricas abaixo de 1 mm (Lins e Luz, 2005).

Araújo e Bruno (1976) não obtiveram bons resultados na concentração por flotação de minérios ferro-manganesíferos da zona costeira de Santa Catarina, com teor de 19% de Mn, usando quebracho como depressor dos óxidos de manganês e um sulfonato (Aero 801 da Cyanamid) como coletor dos minerais de ganga. Segundo os pesquisadores, esse baixo desempenho na concentração daqueles minérios pode ser atribuído à presença de ácido tânico no quebracho utilizado, que deprimiu boa parte do ferro, presente na amostra.

Acevedo (1977) através de estudos de microflotação dos minerais rodocrosita, rodonita, espessartina e quartzo, usando ácido oléico verificou a possibilidade de separação seletiva entre os carbonatos de manganês e ganga silicatada para valores de pH 9 e 10. No entanto, ensaios de flotação em bancada efetuados com um minério complexo contendo rodonita, rodocrosita, misturas de óxidos de manganês e ganga, constituída de carbonatos de Ca e Mg, silicatos de Ca, Mg e Al, óxidos de ferro e grafita, usando o mesmo sistema de reagente, usado na microflotação não deram bons resultados. Segundo o pesquisador esse baixo desempenho dos ensaios de bancada pode ser atribuído à extrema complexidade mineralógica do minério testado.

Nesse trabalho foi efetuada a concentração de uma amostra de finos de minério de manganês sílico-carbonatado de Morro da Mina-MG, através de flotação aniônica dos carbonatos presentes na amostra, visando à recuperação da fração granulométrica abaixo de 0,15 mm, que normalmente é descartada para as bacias de rejeito.

## 2 - MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra de finos (80% abaixo de 0,147 mm) de minério de manganês sílico-carbonatado, proveniente de Morro da Mina-MG, utilizada neste trabalho, era constituída pelos minerais de manganês rodonita ( $MnSiO_2$ ), rodocrosita ( $MnCO_3$ ) e espessartina ( $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$ ), minerais de ganga como quartzo ( $SiO_2$ ), flogopita ( $KMg_3(AlSi_3O_{10})F_2$ ), clinocloro ( $(MgAl)(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$ ), huntita ( $Mg_3Ca(CO_3)_4$ ), anita ( $K_2(Fe,Mn,Mg)_5Si_8O_{20}(OH,F)_4$ ) e rutilo ( $TiO_2$ ), que foram identificados por difratometria de raios X, método do pó total.

Na Tabela I estão apresentados os resultados das análises granuloquímicas dos elementos principais da amostra de finos do minério sílico-carbonatado de Morro da Mina.

Os ensaios de flotação em escala de bancada, usando como coletor uma mistura comercial de ácidos graxos, derivado de óleo de soja saponificado com hidróxido de sódio e como depressor o silicato de sódio, ambos a 5% p/v. Para ajustar o pH foi utilizada solução de hidróxido de sódio (10% p/v).

Em uma primeira fase foram efetuados ensaios preliminares para determinação da porcentagem de sólidos no condicionamento e na flotação, rotação da célula de flotação, vazão de ar e tempo de condicionamento com coletor e silicato de sódio. Em uma segunda fase foi feito o planejamento fatorial de experimentos. As variáveis estudadas e os níveis das variáveis estão apresentados na Tabela II. As variáveis respostas analisadas foram a recuperação de Mn (X), teor de Mn e  $SiO_2$  nos concentrados (Y) e (Z), respectivamente.

O procedimento padrão para a realização dos ensaios de flotação foi o seguinte:

- Colocava a massa do minério na cuba de flotação de volume 1500 mL e diluía com água de torneira para obter a polpa com a porcentagem de sólidos em peso desejada;
- adicionava o depressor e deixava condicionar pelo tempo desejado sob agitação de 800 RPM, ajustando o pH para o valor desejado;

- adicionava o coletor, deixava condicionar pelo tempo desejado. Em seguida conferia o valor de pH;
- ajustava a agitação da célula de flotação para o valor desejado RPM;
- ajustava a vazão de ar para a vazão desejada e efetuava a flotação até completa exaustão da espuma (tempo cronometrado de flotação 5 minutos);
- filtrava, secava, pesava, quarteava e pulverizava as amostras para análise química dos produtos flotados e afundados para efetuar os balanços de massa e metalúrgico dos ensaios.

Tabela I – Resultados das análises granulométricas dos elementos principais da amostra de finos do minério sílico-carbonatado de Morro da Mina (Reis, 2005).

Faixa granul. mm	Freq. simples (%)	Teores de elementos e/ou compostos principais (%)									
		Mn	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	NiO	S	P	P.P.C.
0,42	1,75	22,3	3,65	32,20	9,37	2,55	0,24	0,110	0,37	0,085	16,29
0,297	1,94	20,9	3,61	34,90	9,83	2,57	0,39	0,100	0,39	0,068	12,79
0,210	3,41	20,0	3,70	34,90	9,63	2,55	0,38	0,090	0,44	0,062	10,86
0,149	7,05	22,5	3,53	37,90	9,37	2,49	0,46	0,080	0,39	0,071	9,68
0,105	14,12	26,0	3,45	33,30	9,97	2,32	0,29	0,060	0,32	0,055	11,87
0,074	20,57	27,7	3,38	28,50	9,61	2,64	0,31	0,060	0,26	0,068	12,03
0,053	19,79	29,1	3,36	26,50	9,14	2,68	0,18	0,060	0,25	0,071	13,84
0,044	8,66	28,7	3,62	24,90	8,88	2,79	<0,10	0,060	0,26	0,089	13,00
0,037	9,45	29,7	3,80	24,00	8,62	2,84	<0,10	0,080	0,29	0,100	15,68
-0,037	13,26	26,8	3,55	24,60	9,21	2,70	0,16	0,130	0,36	0,097	15,27
Amostra global	100,00	28,3	3,67	28,10	9,30	2,63	0,22	0,080	0,36	0,080	13,84

Tabela II – Níveis das variáveis do primeiro planejamento de experimentos.

Variáveis	Níveis		Identificação
	-	+	
Dosagem de depressor (g / t) (silicato de sódio)	300	1200	A
Dosagem de coletor (g / t) (Mistura de ácidos graxos)	300	1200	B
pH	8	11	C

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelas Figuras 1 (a) e 1 (b) observa-se um pequeno acréscimo da recuperação metalúrgica de manganês para polpas com porcentagens de sólidos de 40 e 50% em peso (recuperação metalúrgica em torno de 15%), tanto no caso em que foi efetuada a diluição da polpa após o condicionamento para efetuar a flotação, quanto para polpas condicionadas na mesma porcentagem de sólidos da flotação. No entanto, não foi observada nenhuma influência sobre os teores de Mn (em torno de 29 a 30%) e SiO<sub>2</sub> nos concentrados obtidos, que estava em torno de 18%.

Na Figura 2 está apresentada a influência da rotação da célula no condicionamento e na flotação sobre a recuperação metalúrgica de Mn e teores de Mn e SiO<sub>2</sub> nos concentrados. Observa-se que não houve variação significativa dos teores de Mn e SiO<sub>2</sub> nos concentrados e que houve um aumento da recuperação metalúrgica do Mn nas rotações de 1200 e 1400 RPM. Porém, observou-se claramente o arraste mecânico das partículas para o produto flotado para rotações a partir de 1200 RPM.

Na Tabela III estão apresentados os resultados dos ensaios de flotação do primeiro planejamento fatorial de experimentos.

Após a análise dos resultados dos experimentos apresentados na Tabela III por algoritmo de Yates e a determinação da significância dos efeitos das variáveis estudadas, chegou-se às equações, que descrevem a influência da dosagem de coletor, depressor e pH sobre a recuperação metalúrgica de Mn (X), teores de Mn (Y) e SiO<sub>2</sub> (Z) no concentrado de flotação do minério sílico-carbonatado, que estão apresentadas abaixo:

$$X = 32,79 - 37,57 B + 11,65 C \quad (01)$$

$$Y = 29,01 + 2,11 B - 0,91 BC \quad (02)$$

$$Z = 21,01 \quad (03)$$

Como pode ser observado pela equação (03), nenhuma das variáveis estudadas tiveram efeito sobre o teor de sílica no concentrado.

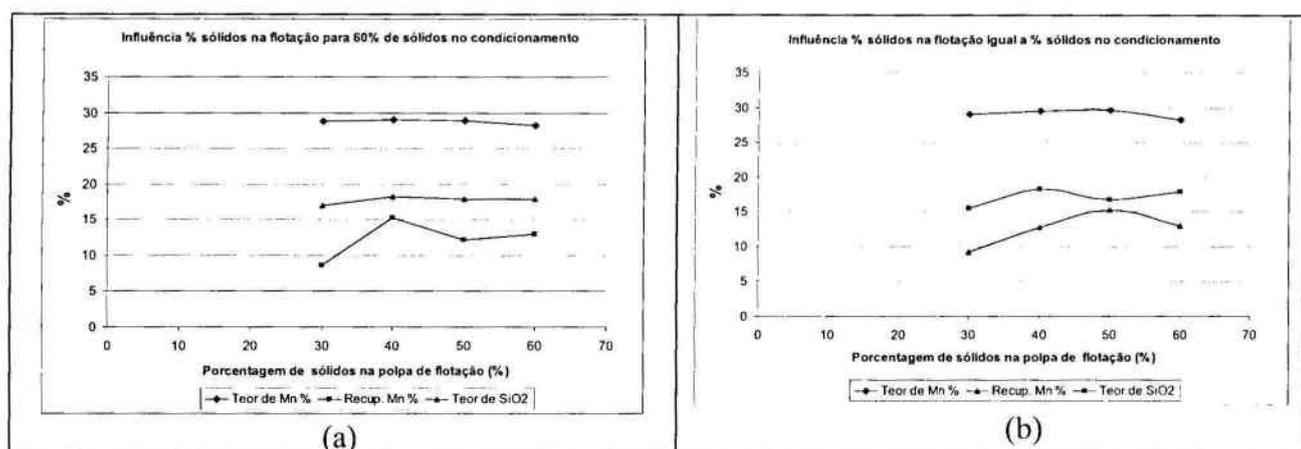


Figura 1. Influência da porcentagem de sólidos no condicionamento sobre a recuperação metalúrgica de Mn e teor de Mn e SiO<sub>2</sub> no concentrado. Condições dos ensaios: Rotação da célula = 1000 RPM, pH = 10, dosagem de coletor e depressor = 750 g/t, tempo de condicionamento com o depressor e com o coletor de 5 min.

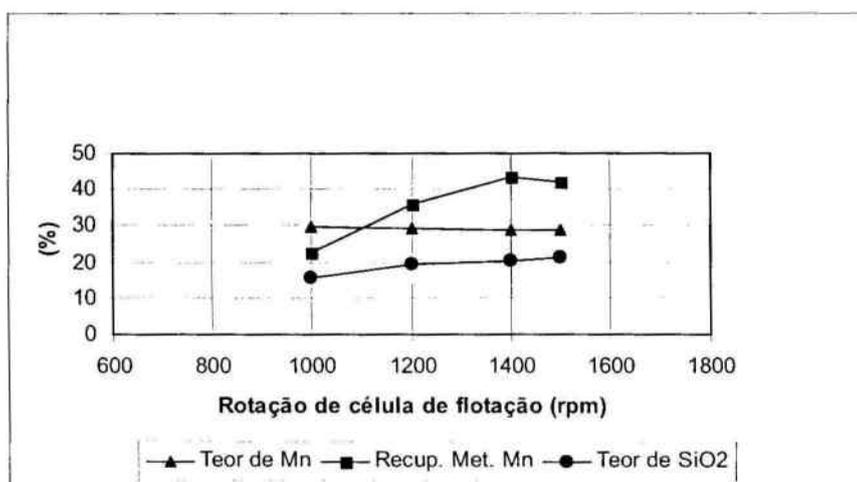


Figura 2 - Influência da rotação da célula de flotação condicionamento sobre a recuperação metalúrgica de Mn e teor de Mn e SiO<sub>2</sub> no concentrado. Condições dos ensaios: Rotação da célula no condicionamento = 800 RPM, vazão de ar = 6 L/min., pH = 10, dosagem de coletor e de depressor = 750 g/t, tempo de condicionamento com o depressor e com o coletor de 5 min.

Tabela III – Resultados das variáveis respostas dos ensaios de flotação segundo o planejamento de experimentos.

Nº. Ensaio	Matriz do planejamento			Variáveis respostas (média dos ensaios em duplicata)		
	A	B	C	Recuperação de Mn (%) - X	Teor de Mn no conc. (%) - Y	Teor de SiO <sub>2</sub> no conc. (%) - Z
1	-	-	-	9,21	27,25	21,75
2	+	-	-	28,95	28,95	19,95
3	-	+	-	8,43	27,50	22,35
4	+	+	-	29,75	29,75	21,50
5	-	-	+	30,70	30,70	19,65
6	+	-	+	29,70	29,70	22,10
7	-	+	+	30,10	30,10	19,65
8	+	+	+	28,10	28,10	21,65

#### 4 - CONCLUSÕES

- Após os ensaios preliminares de flotação dos finos de minério de manganês silico-carbonatado de Morro da Minas foram fixadas as seguintes condições para os ensaios de flotação:
  - i – porcentagem de sólidos da polpa no condicionamento e na flotação igual a 40%;
  - ii – rotação da célula de flotação no condicionamento e na flotação de 800 e 1200 RPM, respectivamente;
  - iii – tempo de condicionamento com coletor e com depressor de 5 minutos;
  - iv – vazão de ar igual a 6 L/min e
  - v – tempo de flotação igual a 5 minutos.
- Não foi verificada nenhuma influência das variáveis, dosagem de coletor, dosagem de depressor e pH de flotação sobre os teores de SiO<sub>2</sub> nos concentrados obtidos para os níveis estudados.
- As equações que descrevem a influência das variáveis estudadas sobre a recuperação e teor de Mn são:

$$X = 32,79 - 37,57 B + 11,65 C$$

$$Y = 29,01 + 2,11 B - 0,91 BC$$

#### 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, G.S. *Flotation of silicate-carbonated manganese ores using oleic acid as and depressors*. In: Avances en flotación, S. Castro e J. Alvarez (Ed). Universidad de Concepción v.3, p.50-60. 1977.
- ARAÚJO,C.T.; BRUNO, J.B. *Aspectos da Flotação de minérios de ferro-manganês*. In: IV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios, São José dos Campos, p.30-38. 1976
- COSTA,M.R.M.; FIGUEIREDO,R.C.*Sumário Mineral Brasileiro 2005*. Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM, Brasília, p. 82-83.2005
- LUZ, A. B.; LINS, F. A.F. *Rochas & minerais industriais: usos e especificações*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 515-530. 2005
- REIS, E.L. *Caracterização de resíduos provenientes da planta de beneficiamento do minério de manganês silico-carbonatado da RDM-Unidade Morro da Mina*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto.123 p.,2005.

#### 7 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq pela concessão de bolsa de mestrado e de iniciação científica e a unidade Morro da Mina da RDM pela realização das análises químicas em seus laboratórios.