



# CARACTERIZAÇÃO E CONCENTRAÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE MANGANÊS <sup>1</sup>

Rosa Malena Fernandes Lima<sup>2</sup>  
Éder Esper Pereira<sup>3</sup>  
Érica Linhares Reis<sup>4</sup>  
Gláucia Regina da Silva<sup>5</sup>

## Resumo

Nesse trabalho são apresentados os resultados de ensaios de caracterização e concentração por métodos gravíticos e flotação efetuados com uma amostra de rejeito de minério de manganês. Através de microscopia ótica, MEV/EDS e difratometria de raios X foram identificados os minerais de Mn, espessartita (20%), tefroíta (15%), rodonita (5%) e rodocrosita e outros carbonatos (29%), minerais opacos e outros (16%), micas (6%) e quartzo (4%). Foi obtida recuperação metalúrgica de Mn de 58% com teores de Mn no concentrado variando de 30% a 32,5%. Os teores de SiO<sub>2</sub> nos concentrados da flotação foi de até 1,5% menor do que os teores obtidos nos concentrados dos métodos gravíticos.

**Palavras-chave:** Minério de manganês; Caracterização tecnológica; Recuperação de rejeito.

## CHARACTERIZATION AND CONCENTRATION OF MANGANESE ORE WASTE

### Abstract

In this work is presented the tests results of characterization and concentration by gravity and flotation methods carried out with a manganese sample waste. By optical microscopy, SEM/EDS and X-ray diffractometry were identified the Mn minerals spessartite (20%), tephroite (15%), rhodonite (5%), rhodochrosite and carbonates minerals (29%), opaque minerals and others (16%), micaceous minerals (6%) and quartz (4%). It was obtained Mn metallurgical recovery of 58% with Mn concentrate contents varying from 30 to 32.5%. The concentrates SiO<sub>2</sub> contents of flotation were until 1.5% smaller than those contents of gravity method concentrates.

**Key words:** Manganese ore; Technological characterization; Waste recovery.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 65° Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Dr<sup>a</sup>, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral/DEMIN/UFOP.

<sup>3</sup> Estudante do curso de Engenharia de Minas/DEMIN/UFOP.

<sup>4</sup> Doutoranda, REDEMAT/UFOP.

<sup>5</sup> Mestre, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral/DEMIN/UFOP.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é detentor de 11% das reservas mundiais de manganês. Apesar de Minas Gerais possuir as maiores reservas brasileiras de manganês, esses minérios são de baixo teor. Até o final dos anos 60 o estado, especialmente a região de Conselheiro Lafaiete/MG, foi responsável por quase que a totalidade da produção e exportação do país dessa importante matéria prima para o parque siderúrgico nacional e internacional.

Com a exaustão dos ricos depósitos do estado de Minas Gerais no início dos anos 70 como é o caso da Unidade Morro da Mina/RDM, cujas atividades começaram em 1894 e pela escassez dessa importante matéria prima para a fabricação de aços especiais, fez com que a Unidade Morro da Mina começasse a lavar os proto-minérios, constituídos por carbonatos e silicatos de manganês, associados a uma complexa ganga mineral, com teor de metal bem menor do que os minérios oxidados já exauridos. No entanto, o fluxograma de beneficiamento da mina continuou inalterado, com o emprego de seleção visual dos blocos na frente de lavra, fragmentação e classificação, cujo fluxograma industrial está apresentado na Figura 1. Como pode ser observada pela Figura 1, a fração menor que 0,106 mm é encaminhada para um tanque de decantação de onde é recuperada água de processo e posteriormente esses finos são removidos e estocados.

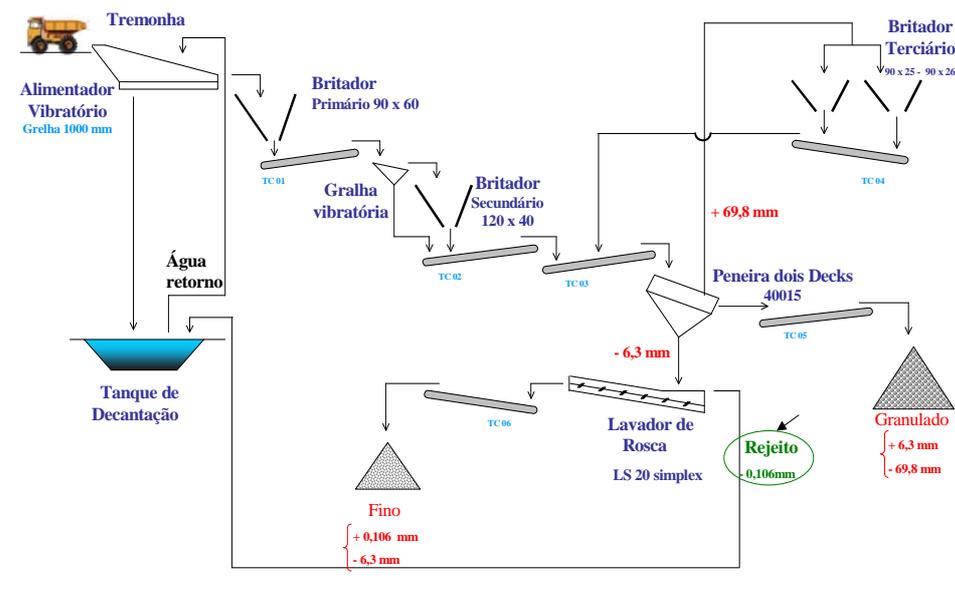


Figura 1 – Fluxograma de beneficiamento de minério de manganês de Morro da Mina.<sup>(1)</sup>

A unidade Morro da Mina/Vale comercializa 5 produtos, cujas especificações estão apresentadas na Tabela 1 abaixo. Os teores de manganês desse produtos são bastante baixos (Tabela 1).



Tabela 1- Especificações dos produtos da Unidade Morro da Mina – RDM/Vale<sup>(1)</sup>

Produto	Faixa granulométrica	Especificação Química (%)			
		Mn	Fe	SiO <sub>2</sub>	Mn sol.
Minério de Manganês Carbonatado	0 a 6,3 mm	-	-	-	22,0 mín.
Minério de Manganês Sílico Carbonatado Granulado	6,3 mm a 71,0 mm	30,5 mín.	4,0 máx.	30,0 máx.	-
Minério de Manganês Sílico Carbonatado Fino - Tipo 1	1,6 mm a 9,5 mm	27,0 mín.	4,5 máx.	29,0 máx.	-
Minério de Manganês Sílico Carbonatado Fino - Tipo 2	0 a 1,6 mm	24,0 mín.	4,5 máx.	29,0 máx.	-
Minério de Manganês Sílico Carbonatado Fino - Tipo 3	0 a 6,3 mm	23,0 mín.	6,0 máx.	35,0 máx.	-

Existem alguns exemplos na literatura sobre concentração de minérios de manganês, como é o caso da separação em meio denso de minérios de manganês pela American Cyanamid Co., relatado por Taggart em 1945.<sup>(2)</sup> No caso do minério de Chiatura, devido, entre outros fatores, a pequena diferença nas propriedades físicas dos seus componentes metálicos e não – metálicos havia grande dificuldade na seleção do melhor processo de beneficiamento do minério em questão. Após diversos ensaios laboratoriais, optou-se pela utilização em conjunto de hidrociclone e separação em meio denso para as frações granulométricas de 3 mm–15 mm e de 3 mm-0 mm. Os testes do minério separado em suspensão de ferro-silício, magnetita ou a combinação de ambos e depois em hidrociclone apresentaram bons resultados.<sup>(3)</sup>

A empresa ICOMI utilizou concentração em meio denso e concentração gravítica no beneficiamento do minério de manganês da Serra do Navio. No tratamento do minério denominado “miúdo” (-7,94 +0,84 mm), os jigues foram substituídos por unidades Dyna Whirlpool Processor-DWP, equipamento de separação em meio denso, o FeSi (ferro silício) foi o meio denso alimentado aos DWP . Este equipamento demonstrou ser mais eficiente que o jigue, aumentando a recuperação, além de ter capacidade mais elevada, o que possibilitou a utilização de menor número de unidades concentradoras. Obteve-se, ainda, aumento do teor do concentrado (acima de 48% em Mn). No tratamento do minério denominado “fino” (-0,84 +0,11 mm, 33% Mn), foram utilizadas espirais de Humphrey, em duas baterias, num total de 24 unidades concentradoras. Obteve-se um concentrado com 47% em Mn, com uma recuperação metalúrgica de 55,5% (recuperação mássica de 43%).<sup>(4)</sup>

Como exemplos de aplicação industrial de flotação na concentração de minério de manganês podem ser citados:

1 - Cuban-American Manganese Co., que tratava um minério associado a cinzas vulcânicas. Após a fragmentação do minério, a fração mais grosseira era concentrada por jigagem. O produto misto do jigue era remoído e juntava-se com as partículas de granulometria mais fina, que eram concentradas por flotação. Os reagentes utilizados eram óleo combustível, cal, um espumante e quebracho para depressão de ganga silicosa.<sup>(1,4)</sup>

2 - Three Kids Mine, Nevada, EUA, operada na década de 50: O minério era composto de óxidos de manganês, sílica, gipsita, calcita, barita, celestita, caolinita e argila bentonítica. Condicionava-se com Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, pH aproximadamente 8,0. Os reagentes utilizados na flotação eram SO<sub>2</sub>, “tall-oil”, óleo diesel e um sulfonato de petróleo (aril-alquil-sulfonato). De uma alimentação média de 24% em Mn, obtinha-



se um concentrado na flotação com 41% em Mn. Este concentrado era tratado em fornos calcinantes e nodulizado, elevando-se o teor para aproximadamente 48% em Mn. A recuperação global do processo era de 75%.<sup>(4,5)</sup>

3 - A Anaconda Co. operou, na década de 40, em Anaconda, Mont., uma usina de flotação para tratar rodocrosita (um carbonato de manganês). O minério era moído e classificado em 0,210 mm, espessado para 35 – 40% de sólidos e condicionado com sulfato de cobre, soda, xantato e óleo de pinho e levado a uma usina de flotação de sulfetos para recuperar a esfalerita. O rejeito da flotação de sulfeto era condicionado, estagiadamente, com silicato de sódio e um espumante (óleo de semente de algodão saponificado) e flotado. O concentrado era espessado, pelletizado e convertido em ferromanganês em um forno elétrico. De uma alimentação com 21% em Mn, era obtido um concentrado da flotação com teor de 38% – 40%, que era elevado a aproximadamente 60% na etapa metalúrgica, com uma recuperação de 86%.<sup>(5)</sup>

Pelo fato do minério alimentado à planta de beneficiamento da Unidade Morro da Mina já ter passado por uma “concentração” prévia na frente de lavra, os finos descartados na planta de lavagem poderiam possuir teores bem próximos aos teores dos produtos comercializados pela mina. Por essa razão, nesse trabalho são apresentados os resultados dos estudos de caracterização e concentração do rejeito de minério sílico-carbonatado de Morro da Mina por concentração gravítica e flotação, visando dessa forma o aumento da recuperação global do depósito.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra de rejeito de minério de manganês (1263 kg) da planta de lavagem da Unidade Morro da Mina/Vale, que foi utilizada nesse trabalho, recebida no Laboratório de Tratamento de Minérios/DEMIN/UFOP após secagem ao sol, foi desagregada, homogeneizada e quarteada em pilha longitudinal e posteriormente quarteada em quarteador tipo Jones para obtenção de alíquotas de massas adequadas para a caracterização granulométrica, química, mineralógica e ensaios de concentração em escala de bancada por mesa vibratória, espiral de Humphrey e flotação.

A análise granulométrica do material foi efetuada por peneiramento a úmido, utilizando-se a série Tyller de peneiras de abertura de 42  $\mu\text{m}$  a 37  $\mu\text{m}$  (35# a 400#). Posteriormente, a fração abaixo de 37  $\mu\text{m}$  foi analisada no granulômetro a laser Cilas 1064 do Laboratório de Propriedade Interfaciais do DEMIN/UFOP.

Foram retiradas alíquotas de diversas frações granulométricas, escolhidas adequadamente, para confecção de lâminas delgadas polidas, que foram analisadas no microscópio ótico Leica modelo DMLP do DEMIN/UFOP, microscópio eletrônico de varredura com sistema de análise dispersiva de energia de raios X (MEV/EDS) do Laboratório de Microscopia do DEGEO/UFOP, difração de raios X (método do pó total), efetuada no Laboratório de Difractometria de Raios X do DEGEO/UFOP.

Para a semi - quantificação dos minerais foi efetuada contagens de pontos/partículas nas lâminas delgadas polidas das diversas frações granulométricas, observadas no microscópio ótico. Em seguida, foram efetuados os cálculos da proporção dos mesmos, utilizando as proporções volumétricas e densidades teóricas dos minerais identificados. Posteriormente, foram efetuados os cálculos da proporção em peso, levando-se em consideração o peso de cada fração granulométrica no minério e finalmente foi efetuada a totalização de cada uma das espécies minerais identificadas.<sup>(6)</sup>



Foram determinados teores de Mn, Fe, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, por faixa granulométrica no laboratório Lakefield Geosol Ltda, visando o cálculo da distribuição dos diversos elementos e/ou compostos de interesse e deletérios por faixa granulométrica.

Nos ensaios de concentração em mesa vibratória tipo Wifley (13-A) e em espiral de Humphrey (5 voltas) do Laboratório de Tratamento de Minérios do DEMIN/UFOP, foi investigada a influência da porcentagem de sólidos, que variou de 15% a 35% sobre a recuperação metalúrgica de Mn e teores de SiO<sub>2</sub> e outras impurezas no concentrado obtido com a amostra global.

Nos ensaios de flotação aniônica em escala de bancada, usando a célula Cimaq do Laboratório de Flotação do DEMIN/UFOP, foram utilizados como coletor o óleo de soja hidrogenado saponificado com NaOH, fabricado pela Hidrovex. O depressor utilizado foi o silicato de sódio, fabricado pela Vetec (Razão SiO<sub>2</sub>/Na<sub>2</sub>O de 3.5).

Nos ensaios de flotação foi utilizado planejamento fatorial de experimentos com réplica para estudar a influência das variáveis: Dosagem de depressor (a), dosagem de coletor (b) e pH de flotação(c) , sobre a recuperação metalúrgica de Mn (y<sub>1</sub>), teores de Mn (y<sub>2</sub>) e de SiO<sub>2</sub> (y<sub>3</sub>) nos concentrados obtidos. Nesses ensaios foram fixadas as seguintes condições: Porcentagem de sólidos de 40%, rotação da célula de 1200 RPM e tempo de condicionamento com depressor e com coletor de 5 minutos para ambos, que foram previamente determinados por Silva.<sup>(7)</sup> A análise do planejamento de experimentos foi efetuada pelo *software Minitab 15* do DEMIN/UFOP. Na Tabela 2 estão apresentadas de forma resumida as condições dos ensaios realizados.

**Tabela 2** – Níveis das variáveis do planejamento de experimentos com o de óleo de soja saponificado

Variáveis	Níveis		Identificação
	-	+	
Silicato de sódio (g/t)	300	1.200	a
Sabão de óleo de soja (g/t)	300	1.200	b
pH	8	11	c

Os produtos obtidos de todos os ensaios de concentração foram filtrados, secados, pesados, homogeneizados e quarteados, para a retirada de amostras representativas, que eram enviadas para análises químicas nos laboratórios da Morro da Mina/Vale, onde se determinavam os teores de Mn, Fe, SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e P. Com os resultados obtidos nas análises químicas dos produtos (concentrado e rejeito) foram efetuados os balanços de massas e metalúrgicos.

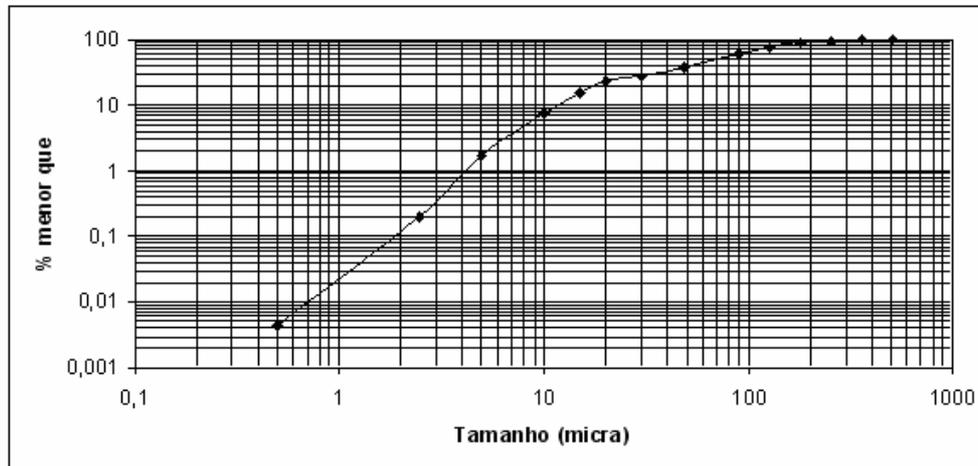
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 está apresentada a distribuição granulométrica da amostra de rejeito do minério sílico-carbonatado de Morro da Mina, que foi utilizada nesse trabalho. Observa-se que o d<sub>80</sub> da amostra está em torno de 150 µm e que 7,5% e 1,7% da amostra encontra-se abaixo de 10 µm e de 5 µm, respectivamente.

Os minerais identificados na difratometria de raios X por Reis<sup>(1)</sup> e Silva<sup>(8)</sup> (método do pó total) foram: rodonita, rodocrosita, espessartita, quartzo, rutilo, flogopita, clinocloro e huntita. Após a análise na microscopia ótica e MEV/EDS foram confirmados os minerais apresentados na Tabela 3. Observa-se que foram identificados 4 minerais de manganês na amostra e que a proporção dos mesmos são superiores a 40%. Há de ressaltar, que além do carbonato de manganês (rodocrosita) foram identificados silicatos de manganês (espessartita, tefroíta e



rodonita) além de outros silicatos (quartzo, micas e feldspato), o que pode ser bastante complicado na concentração desse material. Observa-se também uma proporção considerável de minerais opacos (16%). Dentre os minerais opacos foi identificado um mineral de terras raras (rabdofana-Ce), que contém fósforo em sua fórmula química.



**Figura 2** – Distribuição granulométrica do rejeito do minério sílico-carbonatado de Morro da Mina.

Na Tabela 4 está apresentada a análise granuloquímica da amostra de rejeito de Morro da Mina. Observa-se que os teores de Fe e de  $Al_2O_3$  são distribuídos uniformemente por todas as faixas granulométricas e que os teores de Mn são ligeiramente maiores nas frações granulométricas abaixo de  $106 \mu m$ , ocorrendo o inverso para os teores de  $SiO_2$ . Tanto os teores de Mn (27,04%) quanto os teores de impurezas do rejeito descartado da planta de lavagem de Morro da Mina possuíam teores químicos compatíveis com os produtos comercializados por Morro da Mina, veja valores na Tabela 1.

Na Figura 3 e Tabela 5 estão apresentados os resultados dos ensaios de concentração do rejeito do minério sílico-carbonatado de Morro da Mina por mesa vibratória e espiral de Humphrey. Observa-se que houve queda da recuperação metalúrgica de Mn com o aumento da porcentagem de sólidos da polpa alimentada tanto para a mesa vibratória quanto para a espiral de Humphrey e que as recuperações metalúrgicas e teores de Mn nos concentrados obtidos (polpa com porcentagem de sólidos de 15%) para a mesa vibratória foram de 58% e 32,8%, respectivamente. Para a espiral de Humphrey foram de 57% e 31,5%, respectivamente. Estas recuperações obtidas estão compatíveis com os valores mencionados na literatura, apesar da faixa ótima de aplicação tanto da mesa vibratória quanto da espiral de Humphrey ser acima de  $74 \mu m$ . No entanto, houve aumento do teor de Mn alimentado de até cerca de 5% e diminuição do teor de  $SiO_2$  alimentado de cerca de 4%. Para as outras impurezas observou-se ligeiro aumento.

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados dos ensaios de flotação do rejeito do minério sílico-carbonatado. Após as análises de significância, usando gráfico de Pareto para um nível de confiança de 95% com o auxílio do *software Minitab 15*, chegou-se as equações que descrevem o modelo estatístico da influência das variáveis estudadas (dosagem de silicato de sódio (a), dosagem de oleato de sódio (b) e pH (c) sobre a recuperação metalúrgica de Mn ( $y_1$ ), teor de Mn ( $y_2$ ) e teor de  $SiO_2$  ( $y_3$ ) nos concentrados obtidos:



$$y_1 = -18 - 1,4 \times 10^{-2}a + 1,8 \times 10^{-2}b + 2c + 1,9 \times 10^{-5}ab + 1,54 \times 10^{-3}ac + 2,4 \times 10^{-3}bc$$

$$y_2 = 22,6 - 1,1 \times 10^{-3}a + 9,6 \times 10^{-3}b + 4,2 \times 10^{-1}c - 1,34 \times 10^{-6}ab + 2,2 \times 10^{-4}ac - 6,7 \times 10^{-4}bc$$

$$y_3 = 22,1 - 7,7 \times 10^{-3}b + 3,9 \times 10^{-2}c + 6,1 \times 10^{-4}bc$$

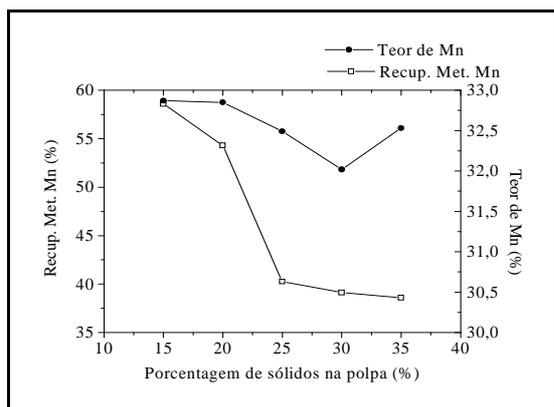
Tabela 3 – Mineralogia dos finos do minério sílico-carbonatado de Morro da Mina

Mineral	Fórmula química	Proporção no minério (%)
Espessartita (Mn – 33,3%)	$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$	20,0
Tefroíta (Mn – 54,5%)	$Mn_2(SiO_4)$	15,0
Carbonatos: Dolomita Rodocrosita (Mn – 47,8%)	$(Ca,Mg)CO_3$ $MnCO_3$	29,0
Rodonita (Mn – 41,9%)	$(Mn,Fe,Mg,Ca)_5(SiO_3)_5$	5,0
Micas: Muscovita Biotita/Flogopita	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$ $K(Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}(OH,F)_2]$	6,0
Quartzo	$SiO_2$	4,0
K -Feldspato	$KAlSi_3O_8$	5,0
Opacos e outros: Magnetita Rutilo Ilmenita Pirita Esfalerita Pentlandita Rabdofana-Ce	$Fe_3O_4$ $TiO_2$ $FeTiO_3$ $FeS_2$ $(Zn,Fe)S$ $(Fe,Ni)S_8$ $(Ce,La)PO_4 \cdot (H_2O)$	16,0

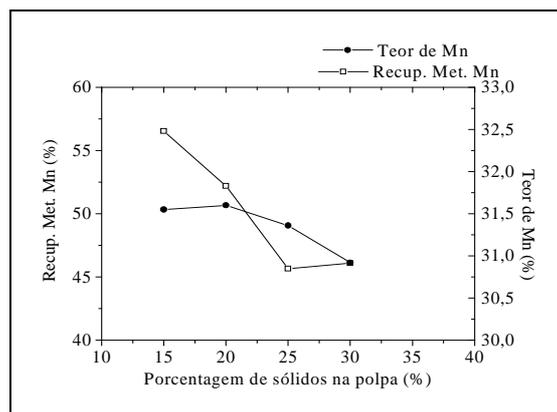
Na Figura 4 está apresentado o gráfico de otimização do planejamento de experimentos pelo *Minitab 15*, levando-se em consideração os parâmetros apresentados na Tabela 7, que também apresenta os valores otimizados e as condições ótimas do ensaio.

Tabela 4 – Análise granulométrica do rejeito de minério sílico-carbonatado de Morro da Mina

Faixa Granulométrica (µm)	Peso (%)	Elementos e/ou Componentos (%)				Distribuição (%)		
		Mn	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
+420	1,7	22,3	3,65	32,2	9,37	1,4	1,7	2,0
+297	1,9	20,9	3,61	34,9	9,83	1,5	2,0	1,4
+210	3,4	20,0	3,70	34,9	9,63	2,5	3,5	4,2
+149	7,0	22,5	3,53	37,9	9,37	5,9	7,0	9,3
+105	14,1	26,0	3,45	33,3	9,97	13,6	15,1	16,4
+74	20,6	27,7	3,38	28,5	9,61	21,1	21,2	20,5
+53	19,8	29,1	3,36	26,5	9,14	21,3	19,4	18,3
+44	8,7	28,7	3,62	24,9	8,88	9,2	8,3	7,5
+37	9,4	29,7	3,80	24,0	8,62	10,4	8,7	7,9
-37	13,3	26,8	3,55	24,6	9,21	13,1	13,1	11,4
Alimentação Recalculada	100,0	27,04	3,50	28,60	9,34	100,0	100,0	100,0



(a) Mesa vibratória



(b) Espiral de Humphrey

**Figura 3** – Concentração do rejeito de minério de manganês sílico-carbonatado por mesa vibratória e espiral de Humphrey

De uma maneira geral, observou-se que foram obtidos teores de Mn nos concentrados da mesa e espiral de Humphrey (maiores que 30,5%) maiores do que os valores obtidos com o sistema de reagentes testados na flotação em bancada, que foi de aproximadamente 30% para os mesmos níveis de recuperação metalúrgica. No entanto os teores de SiO<sub>2</sub> obtidos na flotação foram cerca de 1,5% menores que os valores obtidos na mesa vibratória e espiral de Humphreys.

**Tabela 5** – Teores dos concentrados da mesa vibratória e espiral de Humphrey do rejeito do minério sílico-carbonatado de Morro da Mina (polpa com 15% de sólidos)

% sol.	Teores (%) - mesa vibratória						Teores (%) - espiral de Humphrey					
	Mn	SiO <sub>2</sub>	Fe	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Mn	SiO <sub>2</sub>	Fe	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
15	32,87	24,62	3,42	0,083	10,48	2,11	31,55	23,59	3,50	0,079	10,05	2,38
20	32,85	24,85	3,56	0,067	10,75	2,18	31,60	23,98	3,52	0,097	10,79	2,31
25	32,49	26,17	3,45	0,073	11,57	2,11	31,36	24,40	3,47	0,036	10,44	2,90
30	32,05	25,90	4,03	0,051	11,46	2,0	30,92	25,69	3,46	0,090	10,97	2,33
35	32,53	27,74	3,68	0,09	12,92	2,16	-	-	-	-	-	-

**Tabela 6** – Resultados do planejamento estatístico de experimentos com o coletor óleo de soja saponificado/silicato de sódio

Ordem	Matriz do planejamento			y <sub>1</sub>		y <sub>2</sub>		y <sub>3</sub>	
				R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
1	-	-	-	10,04 <sup>15</sup>	8,38 <sup>11</sup>	27,5 <sup>15</sup>	27 <sup>11</sup>	21,2 <sup>15</sup>	22,3 <sup>11</sup>
2	+	-	-	9,11 <sup>4</sup>	7,74 <sup>7</sup>	27,6 <sup>4</sup>	27,4 <sup>7</sup>	22 <sup>4</sup>	22,7 <sup>7</sup>
3	-	+	-	43,89 <sup>1</sup>	44,42 <sup>2</sup>	30,6 <sup>1</sup>	30,8 <sup>2</sup>	18,8 <sup>1</sup>	19,5 <sup>2</sup>
4	+	+	-	44,4 <sup>3</sup>	47,7 <sup>9</sup>	30 <sup>3</sup>	30 <sup>9</sup>	19,8 <sup>3</sup>	19,5 <sup>9</sup>
5	-	-	+	20,19 <sup>5</sup>	16,42 <sup>16</sup>	28,3 <sup>5</sup>	27,9 <sup>16</sup>	22,4 <sup>5</sup>	20,9 <sup>16</sup>
6	+	-	+	19,86 <sup>8</sup>	20,26 <sup>10</sup>	29 <sup>8</sup>	28,9 <sup>10</sup>	20,1 <sup>8</sup>	19,8 <sup>10</sup>
7	-	+	+	52,17 <sup>6</sup>	64,32 <sup>14</sup>	30,1 <sup>6</sup>	29,4 <sup>14</sup>	22,8 <sup>6</sup>	20,2 <sup>14</sup>
8	+	+	+	55,76 <sup>12</sup>	59,92 <sup>13</sup>	29,8 <sup>12</sup>	29,6 <sup>13</sup>	21,7 <sup>12</sup>	22,5 <sup>13</sup>

R<sub>1</sub> e R<sub>2</sub> – réplica 1 e réplica 2; N<sup>ab</sup> sobrescritos – ordem de execução dos ensaios.

## 4 CONCLUSÕES

- O d<sub>80</sub> da amostra de rejeito do minério sílico-carbonatado de Morro da Mina era de 150 μm.
- Os teores da amostra global do rejeito do minério de manganês sílico-carbonatado de Morro da Mina foram: 27,04% de Mn; 3,5% de Fe; 28,60% de

SiO<sub>2</sub> e 9,34% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, que são as especificações químicas de um dos produtos comercializados pela empresa.

- Os minerais de manganês identificados na amostra foram: Espessartita (20%), tefroíta (15%), rodonita (5%) e 29% de rodocrosita e demais carbonatos (dolomita).

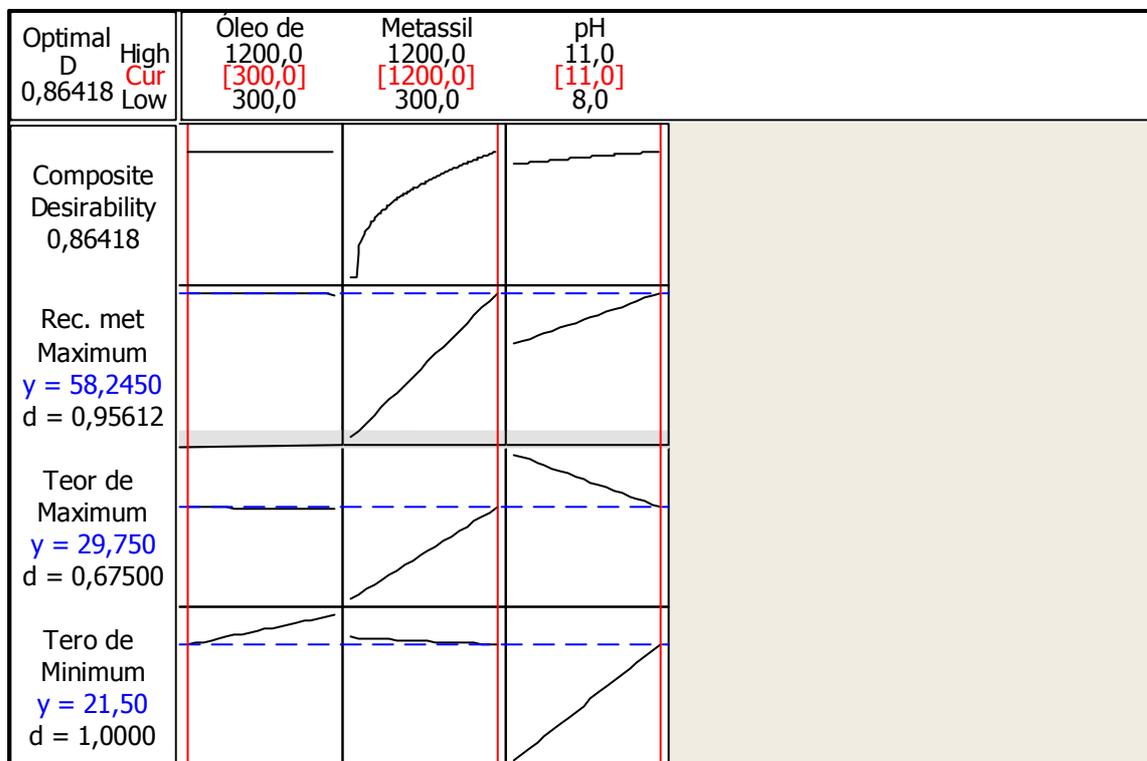


Figura 4 – Otimização da resposta do planejamento experimental.

Tabela 7 – Parâmetros para a otimização e resposta otimizada dos ensaios de flotação em bancada

Parâmetros analisados	Objetivo	Limite inferior	Objetivo	Limite superior	Valores otimizados
Rec. Met. Mn (%)	Máx.	20	60	60	58,245
Teor de Mn (%)	Máx.	23	33	33	29,75
Teor de SiO <sub>2</sub> (%)	Mín.	23	23	28	21,5
Condições ótimas:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Dosagem de silicato de sódio – 1200 g/t</li> <li>Dosagem de são de óleo de soja – 300 g/t</li> <li>pH – 11</li> </ul>					

- Cerca de 16% da amostra do minério sílico-carbonatado de Morro da Mina era constituída pelos minerais opacos e outros: Magnetita, rutilo, ilmenita, pirita, esfalerita, pentlandita e rabdofana-Ce. As micas (muscovita, biotita/flogopita) perfazem cerca de 6% da amostra e o quartzo, 4%.
- O fósforo presente na amostra é proveniente do mineral rabdofana-Ce.
- Nos ensaios de concentração gravítica (mesa vibratória e espiral de Humphrey) foram obtidos concentrados com teores de Mn acima de 30,5% e de SiO<sub>2</sub> de cerca de 23 a 25% para recuperações metalúrgicas em torno de 58%.
- Os teores de Mn (~30%) obtidos nos ensaios de flotação com o silicato de sódio e sabão de óleo de soja foram ligeiramente menores que os valores

obtidos na concentração gravítica. Porém, os teores de SiO<sub>2</sub> (21,5%) cerca de 1,5% menores que os valores alcançados na concentração gravítica.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem o grande apóio da Fapemig, sem o qual não seria possível a aquisição de diversos equipamentos do Laboratório de Propriedades Interfaciais do Departamento de Engenharia de Minas da UFOP, que foram usados nesse projeto, a concessão de bolsa de iniciação científica para o aluno do curso de Engenharia de Minas, a CAPES e ao CNPq pela concessão das bolsas de mestrado e a Morro da Mina pela amostra de rejeito e análises químicas efetuadas.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 REIS, E. L. Caracterização de Resíduos Provenientes da Planta de Beneficiamento do Minério de Manganês Sílico-Carbonatado da RDM-Unidade Morro da Mina/RDM. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral/DEMIN/UFOP. Dissertação de mestrado. 124p. 2005.
- 2 TAGGART, A. F. Handbook of Mineral Dressing., New York, John Wiley & Sons, 6th Priting, Section 17. 1956.
- 3 TISHCHENKO, K. I. Development and Introduction of the Technology for Beneficiation of Carbonate Manganese Ore Heavy Media Hydrocyclones. In: XII Congresso Internacional de Processamento de Minerais, DNPM, Brasília, vol I, 1980. p.310-317.
- 4 APLAN, F. F. Manganese. In: WEISS, N.L.(ed), SME. Mineral Processing Handbook: Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, New York. p 27.6-27.9. 1985.
- 5 PRYOR, E. J. Mineral Processing. Elsevier Aplied Scince Publishers Limited, London, 3<sup>a</sup> edição. 844 p. 1965.
- 6 PORPHÍRIO, N. H., BARBOSA, M. I. Caracterização Mineralógica de Minérios. In: Tratamento de Minérios. Luz, A. B., Possa, M. V., Almeida, S. L. (Eds.) Rio de Janeiro. 2<sup>a</sup> edição. Cap. 3. p.61-99. 1998.
- 7 SILVA, G. R. Flotação de Finos de Rejeito de Minério de Manganês Sílico-Carbonatado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral/DEMIN/UFOP. Dissertação de mestrado. 106p. 2007.