

# CARACTERIZAÇÃO DE FINOS DE MINÉRIO DE MANGANÊS SÍLICO-CARBONATADO DE MORRO DA MINA/RDM - CONSELHEIRO LAFAIETE -MG <sup>1</sup>

Érica Linhares Reis<sup>2</sup>  
Rosa Malena Fernandes Lima<sup>3</sup>

## Resumo

Neste trabalho estão apresentados os resultados de caracterização de uma amostra de finos de minério sílico-carbonatado de manganês (estocados como rejeito) da Unidade Morro da Mina/RDM, localizada em Conselheiro Lafaiete-MG, visando o reaproveitamento dos mesmos. Foram efetuadas análises granulométrica por peneiramento, análise química por fluorescência de raios X e análise mineralógica, usando difratometria de raios X. De acordo com a distribuição granulométrica dos finos do minério de manganês, verificou-se que 80% das partículas encontravam-se abaixo de 150  $\mu\text{m}$ . Os teores dos principais elementos/compostos analisados, Mn, Fe e  $\text{SiO}_2$  foram de 28,3; 3,67 e 28,10%, respectivamente, que estão dentro dos limites indicados nas especificações químicas do minério de manganês sílico-carbonatado fino – tipo 3 ( $\text{Mn}_{\text{mín.}}$  - 23 %,  $\text{Fe}_{\text{máx.}}$  - 6 % e  $\text{SiO}_{2\text{máx.}}$  - 35 %), que é um dos produtos da Unidade Morro da Mina – RDM. Os minerais de manganês identificados na amostra foram a rodocrosita (carbonato de manganês) e a espessartina (silicato de manganês). Os minerais de ganga identificados foram o quartzo, huntita, anita, flogopita, clinocloro e rutilo. Verificou-se através de ensaios de separação em líquido denso e posteriores análises químicas por faixa granulométrica, que os minerais de manganês encontravam-se razoavelmente liberados dos minerais de ganga em todas as frações granulométricas analisadas.

**Palavras-chave:** Finos de minérios de manganês; Caracterização de resíduos.

## CHARACTERIZATION OF SILIC-CARBONATED MANGANESE ORE FINES FROM MORRO DA MINA/RDM – CONSELHEIRO LAFAIETE-MG

### Abstract

In this work are presented the results of fine manganese ore characterization studies that are stocked as tailings, from Morro da Mina Mining - RDM, located in Conselheiro Lafaiete-MG. The size distribution, chemical and mineralogical contents were determined by humid sieving, X-ray fluorescence and X-ray diffraction techniques. It was observed that 80% of sample particles were below 150  $\mu\text{m}$ . The Mn, Fe and  $\text{SiO}_2$  contents were 28,3; 3,67 and 28,10%, respectively, that is inside of the Morro da Mina Mining—RDM products chemical specifications ( $\text{Mn}_{\text{mín.}}$  - 23%,  $\text{Fe}_{\text{máx.}}$  - 6% and  $\text{SiO}_{2\text{máx.}}$  - 35%). The manganese minerals identified in the sample were the rhodochrosite (manganese carbonate) spessartine (silicate). The gangue minerals were quartz, huntite, annite, phlogopite, clinocllore and rutile. It was observed that the freedom degree of manganese minerals from gangue minerals were above 87% for all size range that was analyzed.

**Key words:** Manganese fine ores; Tailing characterization.

<sup>1</sup> Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

<sup>2</sup> M.Sc, aluna de doutorado da REDEMAT/UFOP

<sup>3</sup> Dr<sup>a.</sup>, Prof<sup>a.</sup> Adjunto do PPGEM/DEMIN/UFOP

## 1 INTRODUÇÃO

O manganês é um importante insumo para a indústria siderúrgica. No Brasil, cerca de 85% do consumo de minérios de manganês se destina a fabricação de aço e outras ligas.<sup>(1)</sup> Devido às suas características físico-químicas, o manganês pode atuar como agente desoxidante, dessulfurante, oxidante e ser responsável por propriedades como maior maleabilidade, tenacidade e dureza dos aços. É usado também para obtenção de ferro-ligas, gusas e aços especiais.

O estado de Minas Gerais foi o pioneiro na exploração deste minério no país como é o caso da mina Morro da Mina de Conselheiro Lafaiete-MG, que opera a mais de 100 anos.<sup>(2)</sup> O beneficiamento do minério de manganês da Unidade Morro da Mina/RDM faz-se através de britagem, classificação granulométrica e lavagem para remoção da fração fina (abaixo de 106  $\mu\text{m}$ ) do minério. Na Tabela 1 estão apresentadas as especificações de alguns dos produtos obtidos no beneficiamento dos minérios de manganês da Unidade Morro da Mina/RDM.

**Tabela 1.** Especificações dos produtos da Unidade Morro da Mina/RDM

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

Fonte: Unidade Morro da Mina/RDM

A relação ideal de Mn/Fe de minérios de manganês, utilizados na indústria metalúrgica deverá ser maior ou igual a 7, mas o valor 6 é aceitável.<sup>(3)</sup>

Reis<sup>(4)</sup> e Reis e Lima<sup>(5)</sup> realizaram ensaios de concentração gravítica, usando mesa oscilatória e espiral de Humpreys, de uma amostra de finos do minério de manganês sílico-carbonatado da unidade Morro da Mina/RDM. Através desses ensaios foram obtidos concentrados com teores de Mn de até 33%. Porém, não ocorreram significativas variações dos teores das impurezas nos concentrados.

Normalmente, os finos obtidos na lavagem do minério de manganês da Unidade de Morro da Mina/RDM, fração abaixo de 106  $\mu\text{m}$ , vão para um tanque onde é feita a decantação desses sólidos, que após a separação sólido/líquido são estocados. Logo, é de grande importância do ponto de vista ambiental e econômico o estudo de caracterização desses finos estocados, visando a identificação de potenciais aplicações para os mesmos. Uma alternativa que se vislumbra é o beneficiamento

destes “resíduos” de manganês, que foram estocados ao longo da vida útil da mina, que além de garantir uma maior recuperação de recursos não renováveis, propicia, a redução desses resíduos lançados no meio ambiente. Dentro deste contexto, este trabalho teve por objetivo a caracterização de finos de minérios de manganês da Unidade Morro da Mina/RDM, que estão sendo lavrados atualmente. Para isto, foram efetuadas a caracterização granulométrica (peneiramento a úmido), mineralógica (difratometria de raios X), análise química da fração abaixo de 147 $\mu$ m.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra (1,2 toneladas) proveniente da lavagem do minério de manganês sílico-carbonatado da Unidade Morro da Mina/RDM foi secada, desagregada, homogeneizada e quarteada por pilha longitudinal até a obtenção de uma alíquota de cerca de 5 kg.

A distribuição granulométrica foi obtida por peneiramento a úmido, usando a série Tyler de peneiras de 420 a 37  $\mu$ m (35 a 400 mesh).

Para facilitar a identificação dos minerais presentes na amostra efetuou-se o fracionamento da mesma, utilizando líquido denso (bromofórmio – densidade igual a 2,89) e separação magnética de alta intensidade, utilizando um separador magnético de alta intensidade (campos gerados por correntes de 4 e 7A). Em seguida, foram obtidos os difratogramas dos diversos produtos do fracionamento (método do pó total). O difratômetro de raios X utilizado foi de modelo Rigaku, série D/Max-B. A interpretação dos difratogramas foi efetuada através do software JADE 3.1 do fabricante MDI. Os constituintes químicos majoritários da amostra global e das frações granulométricas (420 a 37  $\mu$ m) foram determinados por fluorescência de raios X (Mn, Fe, CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e P).

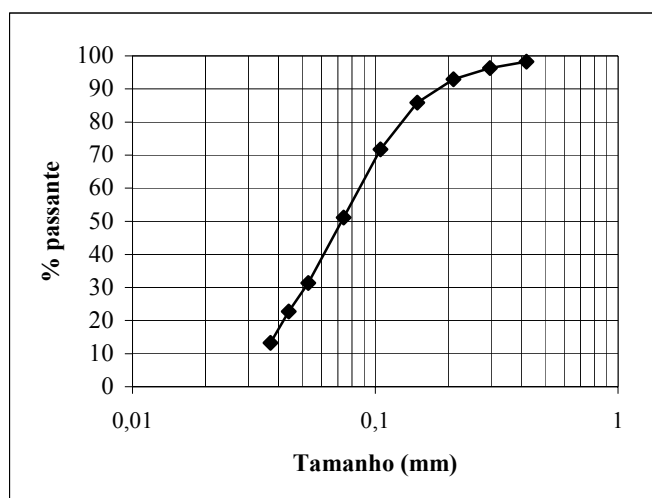
Foram realizados ensaios de separação em líquido denso (bromofórmio (CHBr<sub>3</sub>)) para as faixas granulométricas de 149 a -37  $\mu$ m (100 a -400mesh). O bromofórmio (50 mL) era colocado em um funil de vidro, adaptado a uma mangueira de silicone, estrangulada por um prendedor apropriado. Em seguida, adicionava-se a massa de amostra selecionada, que era homogeneizada com um bastão de vidro, deixava-se em repouso até a estabilização das duas fases (flutuado e afundado) e separavam-se as fases afundada e flutuada pela abertura do prendedor, que eram filtradas e secadas, pesadas e preparadas para análise química. Finalmente, foram determinados os teores de Mn, Fe, SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e P das mesmas, visando determinar a distribuição do manganês nos produtos flutuado e afundado e desta forma obter informações da faixa granulométrica em que os minerais de manganês encontravam-se liberados dos minerais de ganga.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 está apresentada a distribuição granulométrica da amostra de finos do minério de manganês sílico-carbonatado da Mineração Morro da Mina/RDM, onde se observa que 51 % das partículas estavam abaixo de 74  $\mu$ m (-200mesh), O d<sub>50</sub> era igual a 70  $\mu$ m e o d<sub>80</sub> igual a 150  $\mu$ m, isto é, 80% da amostra, encontrava-se abaixo de 150  $\mu$ m.

Na Tabela 2 estão apresentados os minerais identificados nos difratogramas obtidos da amostra global (Figura 1) e dos diversos produtos de fracionamento da amostra estudada. Observa-se que a amostra era constituída essencialmente pelos minerais de manganês rodocrosita e espessartina. Os minerais de ganga identificados foram

os silicatos quartzo, flogopita e clinocloro. A flogopita do grupo das micas e o clinocloro do grupo clorita. Ocorre ainda a presença de rutilo, anita, e huntita.



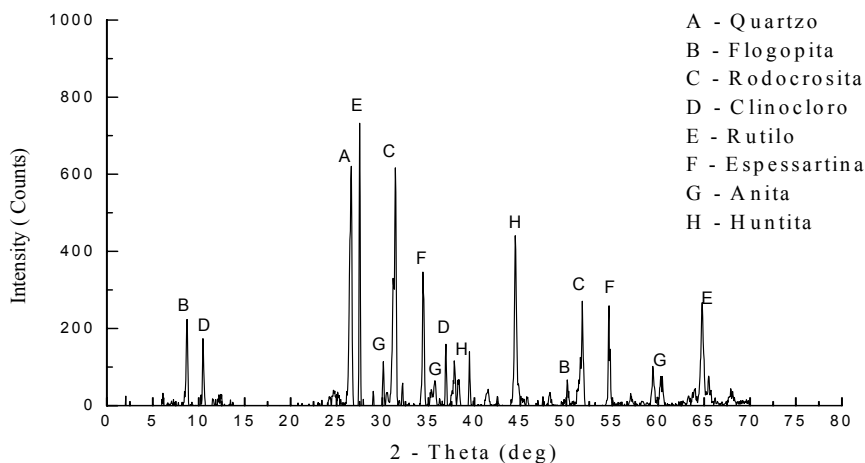
**Figura 1.** Distribuição granulométrica dos finos de minério de manganês sílico-carbonatado da Unidade Morro da Mina/RDM.

**Tabela 2.** Minerais identificados nos difratogramas da amostra global e dos produtos de fracionamento em líquido denso (bromofórmio) e separação magnética de alta intensidade dos finos do minério de manganês sílico-carbonatado da Unidade Morro da Mina/RDM.

Mineral	Fórmula Química	G	Líquido Denso		Separação Magn. 4A		Separação Magn. 7A	
			F	A	M	NM	M	NM
Rodocrosita	MnCO <sub>3</sub>	X	X	X	X	X	X	X
Espessartina	Mn <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	X		X	X	X	X	X
Quartzo	SiO <sub>2</sub>	X	X			X		X
Huntita	Mg <sub>3</sub> Ca(CO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	X		X	X	X	X	
Anita	K <sub>2</sub> (Fe,Mn,Mg) <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>20</sub> (OH,F) <sub>4</sub>	X		X		X		X
Flogopita	KMg <sub>3</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )F <sub>2</sub>	X	X	X	X	X	X	X
Clinocloro	(Mg <sub>5</sub> ,Al)(Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	X	X	X	X	X	X	X
Rutilo	TiO <sub>2</sub>	X	X					

G – amostra global, F – flutuado, A – afundado, M – magnético, NM – não magnético

Observa-se através da Tabela 3, que os teores dos principais elementos analisados da amostra global, Mn, Fe e SiO<sub>2</sub>, foram 28,3; 3,67 e 28,10%, respectivamente, que já estavam dentro dos limites indicados nas especificações químicas (Mn<sub>mínimo</sub>– 23%, Fe<sub>máximo</sub>– 6% e SiO<sub>2máximo</sub>– 35%) dos produtos da Unidade Morro da Mina/RDM, veja Tabela 1. A relação Fe/Mn da amostra global era 7,7, que está dentro das especificações de minérios de manganês para aplicação na indústria metalúrgica, como visto anteriormente. Para as faixas granulométricas abaixo de 210 µm, observa-se este mesmo comportamento.



**Figura 1.** Difratograma da amostra global dos finos do minério de manganês sílico-carbonatado da Unidade Morro da Mina/RDM.

**Tabela 3.** Análise granuloquímica e distribuição de Mn e sílica dos finos do minério sílico-carbonatado de Morro da Mina/RDM.

F.G. ( $\mu\text{m}$ )	% S.	Elementos e/ou Compostos (%)							Distribuição (%)	
		Mn	Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Mn	SiO <sub>2</sub>
+420	1,7	22,3	3,65	32,2	0,085	9,37	3,60	2,55	1,4	2,0
+297	1,9	20,9	3,61	34,9	0,068	9,83	3,50	2,57	1,5	1,4
+210	3,4	20,0	3,70	34,9	0,062	9,63	3,10	2,55	2,5	4,2
+149	7,0	22,5	3,53	37,9	0,071	9,37	3,50	2,49	5,9	9,3
+105	14,1	26,0	3,45	33,3	0,055	9,97	3,80	2,32	13,6	16,4
+74	20,6	27,7	3,38	28,5	0,068	9,61	3,80	2,64	21,1	20,5
+53	19,8	29,1	3,36	26,5	0,071	9,14	3,80	2,68	21,3	18,3
+44	8,7	28,7	3,62	24,9	0,089	8,88	3,80	2,79	9,2	7,5
+37	9,4	29,7	3,80	24,0	0,100	8,62	3,90	2,84	10,4	7,9
-37	13,3	26,8	3,55	24,6	0,097	9,21	4,20	2,70	13,1	11,4
Global	100,0	28,3	3,67	28,1	0,080	9,30	3,80	2,63	100,0	100,0

F. G. \_ Faixa granulométrica, % S. - % retida simples

Conforme pode ser visto na Tabela 3, abaixo da fração 149  $\mu\text{m}$  (100 mesh) há um pequeno enriquecimento em manganês, porém até esta faixa granulométrica o teor de sílica é bastante alto. Abaixo da fração 105  $\mu\text{m}$  (150 mesh) ocorre uma pequena, mas significativa redução no teor de sílica. Ou seja, à medida que diminui a granulometria aumenta o teor de manganês. Esta proporcionalidade é inversa no caso do teor de sílica.

Em termos da distribuição de manganês, nota-se que 55,95% do manganês presente na amostra encontrava-se entre 105 e 53  $\mu\text{m}$  (150 e 270 mesh). Observa-se ainda que 55,28% da sílica ocorre nesta mesma faixa granulométrica. O mesmo pode-se dizer em relação aos outros elementos e compostos, pois há uma maior distribuição granulométrica nestas faixas, veja Tabela 3.

Como a distribuição granulométrica acima de 105  $\mu\text{m}$  da amostra estudada era de cerca de 14%, pode-se afirmar que as distribuições dos elementos e compostos maiores analisados eram menores em relação às frações mais finas que esta granulometria, especialmente para a granulometria maior que 210  $\mu\text{m}$ . Pela Tabela 3, observa-se que 7,10% da amostra, encontrava-se acima de 210  $\mu\text{m}$ . Isto significa

que ao se fazer um corte granulométrico em 210 µm descarta-se 7,10% da massa do “minério” com perdas em termos de manganês de 5,46%, contido no minério.

Na Tabela 4 está apresentada a distribuição por faixa granulométrica do Mn nos produtos flutuado e afundado da separação em líquido denso, que fornecem uma idéia da liberação dos minerais de manganês, em relação aos minerais de ganga. Pode ser observado que há uma correlação entre o teor de manganês com a distribuição granulométrica dos produtos afundados e conseqüentemente com a liberação dos minerais. Para todas as frações granulométricas mais de 80% do manganês encontra-se no afundado, o que indica que para todas as frações granulométricas os minerais de manganês parecem apresentar considerável grau de liberação. É possível notar que a liberação dos minerais de manganês aumenta com a diminuição da granulometria. Para a faixa granulométrica entre 149 e 74 µm (100 e 20 mesh) uma porcentagem significativa de manganês se encontra no produto flutuado (um valor médio de 8,72 %), o que pode indicar que uma pequena parte dos minerais de manganês poderia não estar totalmente liberada.

#### 4 CONCLUSÕES

- A distribuição granulométrica mostrou que 80% dos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM, encontra-se abaixo de 150 µm, sendo que mais de 50% de todos os principais elementos e compostos destes finos de manganês encontraram-se distribuídos entre 105 e 53 µm (150 a 270 mesh).
- A caracterização mineralógica da amostra de finos de minério de manganês sílico-carbonatado proveniente da Unidade Morro da Mina, mostrou que a mesma é constituída essencialmente pelos minerais de manganês rodocrosita e espessartina, e os minerais de ganga quartzo, flogopita, clinocloro, huntita, flogopita, anita e rutilo.

**Tabela 4.** Distribuição do Mn nos produtos flutuado e afundado das diferentes faixas granulométricas dos finos de minério de manganês Sílico-carbonatado da unidade Morro da Mina/RDM.

F. G. (µm)	Produto	Peso (%)	Teor (%)			Distribuição (%)		
			Mn	Fe	SiO <sub>2</sub>	Mn	Fe	SiO <sub>2</sub>
+149	Flutuado	22,25	7,51	3,86	59,02	7,87	23,43	42,77
	Afundado	74,75	29,71	4,26	26,68	92,13	76,57	57,23
	Total	100,00	24,10	4,15	34,84	100,00	100,00	100,00
+105	Flutuado	19,90	6,59	3,21	59,98	5,11	18,26	36,12
	Afundado	80,10	30,38	3,71	26,35	94,89	81,74	63,88
	Total	100,00	25,65	3,61	33,04	100,00	100,00	100,00
+74	Flutuado	17,35	22,46	3,51	33,73	13,18	18,39	29,59
	Afundado	82,65	31,07	3,27	27,31	86,82	81,61	79,84
	Total	100,00	29,58	3,31	3,31	100,00	100,00	100,00
+53	Flutuado	1,59	27,09	3,31	26,45	1,41	1,52	1,62
	Afundado	98,41	30,55	3,46	26,03	98,59	98,48	98,38
	Total	100,00	30,49	3,46	26,04	100,00	100,00	100,00
+44	Flutuado	1,39	25,73	3,31	25,03	1,17	1,27	1,32
	Afundado	98,61	30,34	3,61	26,25	98,83	98,73	98,68
	Total	100,00	30,27	3,61	26,23	100,00	100,00	100,00
+37	Flutuado	1,13	28,65	3,67	19,39	1,07	1,10	0,93
	Afundado	98,87	30,23	3,78	23,68	98,93	98,90	99,07
	Total	100,00	30,21	3,78	23,63	100,00	100,00	100,00
-37	Flutuado	0,92	26,14	4,53	27,27	0,81	0,98	1,04
	Afundado	99,08	29,75	4,25	24,40	99,19	99,02	98,9
	Total	100,00	29,72	4,25	24,43	100,00	100,00	100,00

- Os teores dos principais elementos analisados, Mn, Fe e SiO<sub>2</sub>, na amostra foram 28,3; 3,67 e 28,10%, respectivamente, que já se encontravam dentro dos limites indicados nas especificações químicas (Mn<sub>mín.</sub>- 23%, Fe<sub>máx.</sub>- 6% e SiO<sub>2máx</sub> – 35%) dos produtos da Unidade Morro da Mina/ RDM.
- Observou-se que mais de 80% do manganês encontrava-se no produto afundado dos ensaios de separação em líquido denso, indicando que para todas as frações granulométricas os minerais de manganês provavelmente já encontravam-se satisfatoriamente liberados dos minerais de ganga.

## Agradecimentos

As autoras agradecem a Capes pela concessão de bolsa de estudos, e à Unidade Morro da Mina/RDM pela concessão da amostra e financiamento do projeto.

## REFERÊNCIAS

- 1 COSTA, M.R.M.; FIGUEIREDO, R.C. **Sumário Mineral 2003**. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral/DNPM, 2004. p. 82-83.
- 2 GONÇALVES, E.; SERFATY, A. **Perfil Analítico do Manganês**. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral/DNPM, 1976. Boletim n° 37, 149 p.
- 3 SILVEIRA, R.C; LUCIO, A; MINES, C. R. C; FIGUEIRA, R. M; SAMPAIO, R. S; CASTRO, L.F.A. **Metalurgia dos ferro-ligas**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Metalúrgica, 1980. vol. II, p. 331-509.,
- 4 REIS, E. L. **Caracterização de Resíduos Provenientes da Planta de Beneficiamento do Minério de Manganês Sílico-Carbonatado da RDM- Unidade Morro da Mina/RDM**. 124p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas-Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- 5 REIS, E. L., LIMA, R. M. F. **Concentração de finos da planta de beneficiamento do minério de manganês da mineração Morro da Mina – RDM por mesa oscilatória**. REM- vol.58/3. 2005. p.