UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

"CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS PROVENIENTES DA PLANTA DE BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE MANGANÊS SÍLICO-CARBONATADO DA RDM – UNIDADE MORRO DA MINA"

Autora: Érica Linhares Reis Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rosa Malena Fernandes Lima

Abril/2005

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - ESCOLA DE MINAS DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

"CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS PROVENIENTES DA PLANTA DE BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE MANGANÊS SÍLICO-CARBONATADO DA RDM – UNIDADE MORRO DA MINA"

Autora: Érica Linhares Reis

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rosa Malena Fernandes Lima

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mineral, área de concentração: Tratamento de Minérios.

Ouro Preto, abril de 2005.

4.1 R375c Reis, Érica Linhares.

Caracterização de resíduos provenientes da planta de beneficiamento do minério de manganês sílico-carbonatado da RDM-Unidade Morro da Mina. [manuscrito]. / Érica Linhares Reis. – 2005. xvii, 124f. : il. color., graf., tabs.

Área de concentração: Tratamento de Minérios. Orientadora: Prof^a. Dr^a: Rosa Malena Fernandes Lima. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Programa de pós-graduação em Engenharia Mineral.

1.Beneficiamento de minério - Teses. 2. Manganês. - Teses. 4. Determinação mineralógica – Teses. 5. Minas e mineração - Teses. 6. Tecnologia mineral. - Teses I. Universidade Federal de Ouro Preto. Programa de pós-graduação em Engenharia Mineral. II. Título.

Catalogação: sisbin@sisbin.ufop.br

A meus pais, Onofre e Nausi, pelo carinho e incentivo.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece a todos que colaboraram de alguma forma na elaboração deste trabalho, mas em especial:

A Prof.^a Dr^a. Rosa Malena Fernandes Lima pela valiosa orientação e as agradáveis conversas.

Ao Prof. Dr. Hernani Mota de Lima pela colaboração inicial dispensada.

A Unidade Morro da Mina-RDM, pela concessão da amostra e financiamento do projeto. Em especial ao Eng.º Tágides Ferreira Júnior e o Eng.º Alessandro Gomes Resende.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mineral (DEMIN/EM/UFOP), pelo apoio e ensinamentos.

Aos técnicos do Laboratório de Tratamento de Minérios(DEMIN/EM/UFOP), pela convivência amigável e colaboração na parte experimental.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos amigos de sempre e aos conquistados durante o mestrado.

Ao Anderson, pelo carinho, apoio e paciência.

Aos meus pais, minha irmã Lara, enfim toda minha família, pelo incentivo que tanto colaborou durante a elaboração deste trabalho.

A Deus, por me dar forças para realizar tudo em minha vida.

SUMÁRIO

1.	. INTRODUÇÃO	1
2.	. OBJETIVO	2
3.	. RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA	3
4.	. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
	4.1. Minérios de Manganês - Aspectos Gerais	4
	4.2. Mineralogia e Classificação dos Depósitos no Brasil	5
	4.3. Unidade Morro da Mina/RDM	6
	4.4. Usos dos Minérios de Manganês	7
	4.5. Tipos de Minérios de Manganês	10
	4.6. Reservas Mundiais, Produção, Exportação e Importação Brasileira de Minério de Manganês e Produtos Manufaturados	o 16
	4.7. Caracterização Tecnológica de Minérios	. 18
	4.8. Beneficiamento do Minério de Manganês	21
	4.9. Processos de Aglomeração de Finos de Manganês	29
	4.10. Questão Ambiental - Os rejeitos dos minérios de manganês e potenciais aplicações	31
5.	. MATERIAIS E METODOLOGIA	33
	5.1.1. Amostra	33
	5.1.2. Caracterização granulométrica	35
	5.1.3. Análise química	35
	5.1.4. Fracionamento da amostra de finos de minério de manganês	36
	5.1.4.1. Separação em líquido denso	36
	5.1.4.2 Separação magnética de alta intensidade	37

5.1.5. Caracterização mineralógica	38
5.1.6. Determinação de propriedades físicas da amostra global	38
5.1.6.1. Densidade da amostra global	38
5.1.6.2. Determinação da área superficial e porosidade da amostra global - BET	39
5.2. Ensaios Tecnológicos	39
5.2.1. Mesa oscilatória	39
5.2.2. Espiral de Humphreys	41
5.2.3. Hidrociclone	42
6. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	44
6.1.1. Caracterização granulométrica	44
6.1.2. Caracterização química	45
6.1.3. Fracionamento da amostra de finos de minério de manganês	51
6.1.3.1. Separação em líquido denso	51
6.1.3.2. Separação magnética de alta intensidade	56
6.1.4. Caracterização mineralógica	57
6.1.5. Determinação de propriedades físicas da amostra global	67
6.1.5.1. Densidade da amostra	67
6.1.5.2. Determinação da área superficial da amostra global - Técnica BET	68
6.2. Ensaios Tecnológicos	69
6.2.1. Concentração em mesa oscilatória	69
6.2.2. Espiral de Humphreys	79
6.2.3. Hidrociclone	85
6.2.4. Comparação entre os resultados dos ensaios tecnológicos	87
7. CONCLUSÕES	94

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
APÊNDICE	
ANEXO	124

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 -	Foto da cava da mina Morro da Mina - RDM. Fonte: Unidade Morro da Mina - RDM7
Figura 4.2 -	Distribuição mundial de minério de manganês em milhões de toneladas. Fonte: Costa e Figueiredo, 200417
Figura 4.3 -	Distribuição do consumo de minérios de manganês no Brasil. Fonte: Costa e Figueiredo, 200418
Figura 4.4 -	Fluxograma do processo de beneficiamento do minério de manganês da Unidade Mina do Morro - RDM
Figura 4.5 -	Fotos dos dois tanques de decantação da Unidade Morro da Mina -RDM. Fonte: Unidade Morro da Mina - RDM23
Figura 5.1 -	 Fluxograma geral de caracterização e concentração dos finos de minério de manganês da.Unidade Morro da Mina -RDM
Figura 5.2 -	Fluxograma dos estudos de concentração, realizados na mesa oscilatória. 40
Figura 5.3	- Fluxograma dos estudos de concentração realizados na espiral de Humphreys
Figura 6.1	 Distribuição granulométrica dos resíduos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM45
Figura 6.2 -	 Distribuição dos elementos e compostos dos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM em função do tamanho51
Figura 6.3	 Difratograma da amostra global dos finos do minério de manganês da Unidade Morro da Mina -RDM
Figura 6.4 -	Difratograma da parcela flutuada, produto da separação em bromofómio, da amostra global
Figura 6.5	- Difratograma da parcela afundada, produto da separação em bromofómio, da amostra global
Figura 6.6 -	 Difratograma da fração magnética do ensaio em separador magnético, com intensidade de corrente igual a 4 A, realizado com a amostra global dos finos do minério de manganês

- Figura 6.7 Difratograma da fração não-magnética do ensaio em separador magnético, com intensidade de corrente igual a 4 A, realizado com a amostra global dos finos do minério de manganês da Unidade Morro da Mina-RDM. 62
- Figura 6.9 Difratograma da fração não-magnética do ensaio em separador magnético, com intensidade de corrente igual a 7 A, realizado com a amostra global dos finos do minério de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM...64
- Figura 6.11 Influência da porcentagem de sólidos na polpa sobre a recuperação metalúrgica e teor de manganês para fração granulométrica + 0,074 mm, para ângulo de inclinação igual a 5°70
- Figura 6.12 Influência da porcentagem de sólidos na polpa sobre a recuperação metalúrgica e teor de manganês para fração granulométrica 0,074 mm, para ângulo de inclinação igual a 5°......71
- Figura 6.13 Teores das principais impurezas nos concentrados em função das diferentes porcentagens de sólidos na polpa nos ensaios realizados com amostra global, com ângulo de inclinação igual a 5°......73
- Figura 6.14 Teores das principais impurezas nos concentrados em função das diferentes porcentagens de sólidos na polpa nos ensaios realizados com a fração +0,074 mm, com ângulo de inclinação igual a 5°......73
- Figura 6.15 Teores das principais impurezas nos concentrados em função das diferentes porcentagens de sólidos na polpa nos ensaios realizados com a fração -0,074 mm, com ângulo de inclinação igual a 5°......74
- Figura 6.17 Teores das impurezas nos concentrados das diferentes frações granulométricas (amostra global, +0,074 e -0,074 mm) com 15% de sólidos na polpa e ângulo de inclinação igual a 3°......77

- Figura 6.28 Comparação entre os resultados obtidos para a fração granulométrica +0,074mm com relação ao de teor de manganês, utilizando os diferentes ensaios tecnológicos e com diferentes porcentagens de sólidos......90

Figura 6.30 - Comparação entre os resultados obtidos para a fração granulométrica -0,074mm com relação ao de teor de manganês, utilizando os diferentes ensaios tecnológicos e com diferentes porcentagens de sólidos......91

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1- Especificações do concentrado de alto teor de manganês (Mendes, et al., 1982).
Tabela 4.2 - Especificações do concentrado de médio teor (Mendes, et al.,1982) 11
Tabela 4.3 - Composição do concentrado de baixo teor de manganês (Mendes, et al., 1982). 12
Tabela 4.4 - Especificações do concentrado de minério eletrolítico adaptadas de Ullmann, (1985) e Gonçalves e Serfaty, (1976).14
Tabela 4.5 - Especificações dos produtos da Unidade Morro da Mina - RDM16
Tabela 6.1 - Distribuição granulométrica, dos resíduos do minério de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM44
Tabela 6.2 - Resultados das análises químicas por faixa granulométrica e da amostra global de finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina- RDM.46
Tabela 6.3 - Resultados das análises químicas de manganês solúvel nas diferentes frações granulométricas e na amostra global dos finos de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM
Tabela 6.4 - Relação entre a distribuição granulométrica, as análises químicas dos principais elementos e os valores obtidos segundo análise química e através de cálculos para amostra global
Tabela 6.5 - Distribuição dos principais elementos e compostos químicos dos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM
Tabela 6.6 - Tabela 6.6 - Distribuição dos produtos, flutuado e afundado, da separação em meio denso (bromofórmio, d = 2,89 g/cm³), por faixa granulométrica, em amostra representativa dos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM
Tabela 6.7 - Distribuição do manganês nos produtos flutuado e afundado da separação, usando bromofórmio, da amostra global dos finos do minério de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM.52
Tabela 6.8 - Distribuição do manganês nos produtos (flutuado e afundado) das diferentes faixas granulométricas dos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM, usando bromofórmio

- Tabela 6.9 Distribuição das principais impurezas identificados por análises químicanos produtos (flutuado e afundado) das diferentes faixas granulométricasdos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina -RDM.... 55

- Tabela 6.13 Principais parâmetros definidos pela técnica BET para a amostra de finos
de manganês da Unidade Morro da Mina RDM.68
- Tabela 6.14 Balanço de massa e metalúrgico do ensaio realizado com a amostra
global, utilizando o hidrociclone com 15 % de sólidos na polpa. 85

RESUMO

Neste trabalho são apresentados criteriosos estudos de caracterização dos finos de minério de manganês (estocados como rejeito) da Unidade Morro da Mina, localizada em Conselheiro Lafaiete - MG. Na caracterização tecnológica estão apresentadas análises granulométricas por peneiramento, análises químicas utilizando técnicas instrumentais como fluorescência de raios X e espectrometria de absorção atômica, e mineralógica por difração de raios - X das amostras, e ainda, as análises de propriedades físicas como determinação da densidade, superfície específica e porosidade. De posse das análises de caracterização foram executados ensaios tecnológicos (concentração e classificação), que se mostraram viáveis. Foram realizados ensaios de concentração gravíticos, utilizando os equipamentos mesa oscilatória, espiral de Humphreys, tendo com variáveis a porcentagem de sólidos na polpa e as frações granulométricas (amostra global, fração maior que 0,074 emenor que 0,074 mm). Foi realizado também um ensaio de classificação, usando hidrociclone, cuja polpa de alimentação continha 15 % de sólidos.

De acordo com a distribuição granulométrica dos finos do minério de manganês 80 % das partículas encontra-se abaixo de 0,150 mm. Através da análise química da amostra global, foi possível observar que os teores dos principais elementos analisados, Mn, Fe e SiO₂ 28,3; 3,67 e 28,10 %, respectivamente, ficando dentro dos limites indicados nas especificações químicas (Mn mín. - 23 %, Femáx. - 6 % e SiO_{2máx} - 35 %) dos produtos da Unidade Morro da Mina – RDM. Os minerais de manganês identificados na amostra global foram a rodocrosita, que é um carbonato de manganês e a espessartina, que é um silicato. Os minerais de ganga identificados foram quartzo, huntita, anita, flogopita, clinocloro e rutilo. Pela análise de distribuição de manganês nos produtos flutuado e afundado da separação em líquido denso (bromofórmio) por faixa granulométrica, verificou-se que os minerais de manganês encontram-se razoavelmente liberados dos minerais de ganga, pois as distribuições do manganês em todos os produtos afundados estavam próximas ou acima de 95%, exceto para as faixas granulométricas entre 0,105 e 0,074 mm (87%) e acima de 0,149 mm (92%). O valor de densidade deste minério de manganês foi igual a 3,0, a superfície específica foi igual a 3,96 m²/g. Em conjunto, os maiores valores da relação enriquecimento e recuperação de manganês, para a amostra

global e as frações granulométricas acima de 0,074 e abaixo de 0,074 mm, foram obtidos nos ensaios com a mesa em condições otimizadas, ângulo de inclinação igual a 3° e 15% de sólidos na polpa, com a recuperação variando 62 a 81%, e o teor de manganês no concentrado em torno de 31,5%. Nos ensaios na espiral de Humpherey's os maiores valores de recuperação foram de 59, 79 e 51%, respectivamente para os ensaios com amostra global, fração acima de 0,074mm e abaixo de 0,074mm, o teor de manganês variou de 30 a 33 %. A recuperação de manganês no ensaio de classificação usando o hidrociclone ficou em torno de 95% e o teor de manganês em torno de 29%. Para todos os ensaios tecnológicos realizados com finos de minério de manganês, não ocorreram significativas variações dos teores das impurezas nos concentrados.Os teores de todas as impurezas, independentemente do equipamento utilizado, foram sempre semelhantes. Desta forma, todos os concentrados obtidos estavam dentro das especificações químicas dos produtos da Unidade Morro da Mina -RDM, uma vez que, os teores de Fe e SiO₂ nos concentrados, ficaram sempre abaixo dos valores máximos admitidos ($Fe_{máx} = 6\%$ e SiO_{2máx} = 35 %).

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, absorption atomic spectrometry and X-ray diffraction techniques. It was determined the sample density was determined by picnometry and specific surface area by BET. The global sample and the fractions above 0,074 and below 0,074 mm were concentrated by gravity methods (oscillatory table and Humphreys spiral). The pulp solids percentage was investigated. It was done a classification test with global sample, too.

It was observed that 80% of sample particles were below of the 0,15mm. The Mn, Fe and SiO₂ contents were 28,3; 3,67 and 28,10%, respectively. That is inside of the Morro da Mina Mining—RDM products chemical specifications (Mn _{mín}. - 23%, Fe_{máx.} - 6% and SiO_{2máx} - 35%). The manganese minerals of identified in the global sample were the rhodochrosite (manganese carbonate) spessartine (silicate). The gangue minerals were quartz, huntite, annite, phlogopite, clinochlore and rutile. The value of density of this fine manganese is 3,0 and the specific surface area is 3,96 m²/g.

The better table concentration conditions was with 15% pulp and 3° inclination table angle that result in manganese the recovery varying fro 62 to 81%, and the content of manganese in the all concentrates were about 31,5. At spiral of the biggest manganese recovery were of 59, 79 and 51%, respectively, for the rehearsals with global sample, fraction above 0,074mm and below 0,074mm. In these cases the manganese content varied from 30 to 33%. About 95% of the global sample that was feed into hydrocyclone reported to underflow product with manganese content of 29%. The impurities contents for all of the technological separation/concentration tests were below the chemical specification Morro da Mina Mining – RDM products that are $Fe_{máx} = 6\%$ and $SiO_{2máx} = 35\%$.

1. INTRODUÇÃO

O manganês é um recurso natural de papel importante no Brasil. As reservas brasileiras apresentam importância no cenário mundial devido à qualidade do minério e escala de produção.

Os minérios de manganês são utilizados principalmente nas indústrias siderúrgicas. São também empregados na produção de pilhas eletrolíticas, cerâmicas, tintas, vidros, produtos químicos, fertilizantes, entre outros.

As maiores preocupações ambientais que podem surgir com as operações de extração e beneficiamento de minérios de manganês estão relacionadas às partículas suspensas no ar nas frentes de lavra, além dos resíduos de lavagem do minério de manganês, que geralmente passam por processo de decantação para extração da água que continha os sólidos em suspensão. Os resíduos particulados após o processamento nos tanques de decantação, são geralmente estocados.

O desenvolvimento sustentável é um compromisso que já está sendo exigido dos setores industriais, sendo certamente necessário para o empreendimento de extração de minérios de manganês. Para o processo ser sustentável algo construtivo deve ser realizado com estes rejeitos. E comumente, os rejeitos têm um grande volume e baixo valor. Portanto, a natureza destes deve ser investigada cuidadosamente para se determinar potenciais aplicações apropriadas aos mesmos.

O beneficiamento do minério de manganês da Unidade Morro da Mina-RDM gera uma quantidade expressiva de finos que são estocados, gerando um grande volume destes ao longo da vida útil da mina, que já ultrapassa um século de atividade. Portanto, será de grande importância um estudo destes resíduos, identificando potenciais aplicações dos mesmos, o que levará à diminuição destes depósitos de finos, que constituem passivos ambientais desta mineradora.

2. OBJETIVO

O presente trabalho teve por objetivos:

- Caracterizar os finos provenientes da lavagem do minério de manganês da Unidade Morro da Mina/RDM.
- Verificar a possibilidade de concentrar estes resíduos de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM para obtenção de concentrados, enquadrando os mesmos dentro de especificações para aplicações na indústria metalúrgica, fabricação de pilhas e outras.

3. RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA

A preocupação com a conservação ambiental tem levado cada vez mais ao aproveitamento de rejeitos de mineração, quer pelo emprego de novas tecnologias de beneficiamento destes "minérios" de teores mais pobres ou pela utilização dos mesmos para outras aplicações. Sem dúvida alguma, para a verificação da possibilidade do aproveitamento destes rejeitos faz-se necessária à caracterização tecnológica dos mesmos (caracterização mineralógica, granulométrica, química e ensaios tecnológicos específicos para um determinado emprego).

É importante ressaltar que o rejeito de um minério advindo de determinada planta de processamento mineral apresenta, em geral, características e peculiaridades próprias e, por isto, freqüentemente, processos tecnológicos para utilização de um dado rejeito, nem sempre poderão ser efetivos para um similar. Daí a necessidade de pesquisas mais específicas e detalhadas para diferentes plantas.

A aplicação de processos de concentração é necessária, pois pode vir a aumentar os potenciais aproveitamentos diretos dos rejeitos. Há ainda a possibilidade de obtenção de produtos dentro de especificações comerciais para as aplicações a que os minérios costumeiramente se destinam. Mas o método de concentração aplicado deve ser economicamente viável, devido ao baixo valor agregado a rejeitos. São importantes, portanto, projetos para a caracterização dos rejeitos, e então a identificação e desenvolvimento de potencias aplicações dos mesmos.

O beneficiamento do minério de manganês da Unidade Morro da Mina gera uma quantidade expressiva de finos. No ano de 2004 estava prevista uma produção de 144.000 t de minério de manganês granulado e 14.400 t de minério fino, o que levaria a geração de 23.760 t de finos, que são estocados, gerando um grande volume de resíduos estocados ao longo da vida útil da mina. Logo, é de extrema importância do ponto de vista ambiental e econômico um estudo de caracterização, visando o aproveitamento destes resíduos.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os aspectos gerais, o uso, o tipo, as especificações comerciais, produção, exportação dos minérios de manganês e o beneficiamento dos minérios de manganês da Unidade Morro da Mina. Os rejeitos gerados com a explotação dos minérios de manganês, potenciais utilizações e a necessidade da caracterização destes, são também abordados.

4.1. Minérios de Manganês - Aspectos Gerais

O manganês é um elemento de transição da família do ferro e em termos de abundância na crosta terrestre, o mesmo perfaz 0,09% em peso dos constituintes da mesma (Wills, 1992). O manganês é um metal de cor prata cinzenta, duro e quebradiço. Seus estados de oxidação mais comuns são +2, +3, +4, +6 e +7, ainda que encontrados desde +1 a +7. Os compostos que apresentam manganês com estado de oxidação +7 são agentes oxidantes muito enérgicos. A temperatura ambiente, o manganês puro não é atacado por oxigênio, nitrogênio ou hidrogênio. A altas temperaturas, este reage violentamente com oxigênio, enxofre e fósforo (Ullmann, 1985).

Depois do ouro e das pedras preciosas, foi o manganês um dos primeiros recursos minerais a despertar interesse no Brasil. As primeiras referências a ocorrências de manganês no país foram as do Barão de Eschwege em 1821 (Abreu, 1973).

Muitos depósitos brasileiros foram descobertos ao acaso, já que a prospecção do manganês é fácil e baseia-se no fato dele ser de reconhecimento visual por leigos, que o define como "pedra preta", que "suja a mão" e é pesada. As minas de manganês de Minas Gerais operam há pelo menos um século, e eram as únicas fontes de manganês do país. Só nos últimos anos, prospecções sistemáticas têm sido realizadas, resultando em descobertas importantes.

4.2. Mineralogia e Classificação dos Depósitos no Brasil

O manganês é um metal raramente encontrado em sua forma elementar. A mineralogia do manganês é variada e complexa. A literatura cita mais de cem minerais de manganês que ocorrem na forma de óxidos, hidróxidos, silicatos, carbonatos e sulfetos.

A classificação dos tipos de depósitos de manganês brasileiros, segundo a maioria dos autores, se divide em sedimentar, metamórficos e enriquecimento supergênico ou residual (Abreu, 1973; Gonçalves e Serfaty, 1976).

Um exemplo de depósito sedimentar é representado pela mina de Urucum, Corumbá – MS, onde o manganês ocorre em camadas de óxidos sem carbonatos. Os depósitos que foram explotados da Serra do Navio, Amapá, são exemplos de depósitos enriquecidos supergênicos, originados por processos de intemperismo.

Os minérios metamórficos são originados a partir dos minérios sedimentares e é neste tipo de depósito que se enquadra à jazida do Morro da Mina, Conselheiro Lafaiete-MG. Nestes depósitos as rochas metamórficas, contendo silicatos e carbonatos de manganês são os chamados protominérios (Abreu, 1973; Gonçalves e Serfaty, 1976).

O protominério definido em 1901 por Derby (apud. Abreu, 1973), em Conselheiro Lafaiete-MG, antiga Queluz, foi denominado "queluzito", característico de ambiente geralmente redutor. Estes minérios geralmente contém os minerais rodocrosita, espessartita, rodonita, quartzo, sem óxidos de manganês podendo ter grafita e alabandita (MnS) entre outros minerais.

Silva (2005) desenvolveu um trabalho de descrição petrográfica microscópica de algumas amostras de minério da Unidade Morro da Mina-RDM. Foram identificados os seguintes minerais transparentes: rodocrosita, quartzo, olivina, rutilo, escapolita, biotita flogopítica, titanita, anfibólio e granada, quanto aos minerais opacos, foram identificados: pirita, pirrotita, grafita, calcopirita, ilmenita e magnetita. Foram destacadas duas paragêneses, a metamórfica e a metassomática. Considerando os aspectos texturais de caráter hornfélsico, observados nas amostras de minério (rochas a granada + carbonato \pm anfibólio), a intensa venulação formada predominantemente por

olivina (tefroíta) + carbonato, além da proximidade com corpos graníticos, pode-se relacionar o conjunto rochoso estudado com depósitos do tipo skarníticos.

Fermor 1906 (apud. Abreu, 1973) definiu, na Índia, o "gondito" que teria as características semelhantes ao queluzito de Derby. Porém o termo gondito foi consagrado internacionalmente.

Os depósitos de alto teor de Mn constituem-se principalmente, de óxidos. No Brasil, quando os depósitos apresentavam alto teor, os estudos mineralógicos não assumiam grande importância. Atualmente, a diminuição de teores e a exaustão das reservas oxidadas, têm levado a um maior destaque as questões de estudos de caracterização mineralógica dos minérios, visando essencialmente o aproveitamento máximo destes depósitos, uma vez que estes estudos fornecem os subsídios necessários, que permitem identificar etapas do processamento, além da correção e melhora no rendimento global das plantas já existentes.

4.3. Unidade Morro da Mina/RDM

A Unidade Morro da Mina está localizada próxima à cidade de Conselheiro Lafaiete-MG. Foi uma das primeiras minas a serem explotadas no Brasil. A explotação de minério de manganês da Unidade Morro da Mina, iniciou-se em 1894, e já em 1907 eram exportadas 157000 toneladas, tornando-se, até 1960, a principal fonte de exportação desse minério pelo país (Abreu, 1973).

No início da década de 70 esgotaram-se as reservas de óxidos de manganês do Morro da Mina, que formavam espessos corpos de minérios, e passou-se a explotar a rocha sílicocarbonatado de manganês (protominério) do Distrito de Lafaiete-MG, que não era considerada economicamente viável, devido à existência de minérios de melhor qualidade em abundância no país.

A utilização do protominério do Morro da Mina criou perspectivas para utilização de minérios deste tipo. Estes têm sido utilizados não só na fabricação de ferro-ligas, mas como minério eletrolítico e outros fins. Na Figura 4.1 está apresentada a cava atual da mina Morro da Mina – RDM. Como pode ser observado, a lavra é feita a céu aberto com bancadas de 11 metros de altura.



Figura 4.1 - Foto da cava da mina Morro da Mina – RDM. Fonte: Unidade Morro da Mina – RDM.

4.4. Usos dos Minérios de Manganês

Em função do uso do manganês é costume distinguir e especificar os tipos de minério. Devido à produção se destinar quase totalmente a siderurgia pode se distinguir o manganês de finalidade metalúrgica das não metalúrgicas (Gonçalves e Serfaty, 1976; Ullmann, 1985).

Na indústria metalúrgica, o manganês é usado para obtenção de gusa, ferro-ligas e aços. As aplicações do mesmo na indústria metalúrgica são devidas às suas características físico-químicas, podendo atuar como (Gonçalves e Serfaty, 1976):

 Agente dessulfurante - Na forma de minério, liga ou sucata. Pode ser empregado tanto no alto forno como na aciaria para diminuir a quantidade de enxofre (sulfetos contidos no gusa ou no aço). A presença de enxofre nos aços promove a formação de FeS, de baixo ponto de fusão (950 -1000°C), dificultando a forjaria e laminação dos produtos. Havendo teores suficientes de Mn, devido a maior afinidade deste elemento com o enxofre, ocorre formação de MnS, de ponto de fusão semelhante ao do aço.

- Agente desoxidante O manganês tem maior afinidade pelo oxigênio do que pelo ferro, quando na forma de ferro-liga, reduz o FeO presente no banho de refino com conseqüente escorificação de MnO. Mas outros agentes desoxidantes mais fortes já vêm sendo usados.
- Agente oxidante Na forma de minério, pode ser usado para manter uma escória de elevado potencial de oxidação, que facilitará a eliminação do P e C, dissolvidos no aço, que assim são escorificados. Esse papel é de pouca importância, dado, o baixo rendimento, custos e processos mais eficientes de oxigenação.
- Aços especiais Variadas quantias de manganês introduzidas nas etapas metalúrgicas dão características especiais ao aço, tais como a maleabilidade, tenacidade e dureza. O minério deve possuir teores elevados de Mn e baixos teores de Fe, resultando uma relação de Mn/Fe de 6 a 7.

Na indústria não metalúrgica, o manganês é utilizado para fabricação de fertilizantes, pilhas eletrolíticas, cerâmicas, tintas, vernizes, reagentes químicos, entre outros.

O manganês tem sido utilizado como nutriente de solos, que apresentam baixo teor deste elemento. Na forma de sulfato de manganês, é utilizado principalmente como elemento nutriente. Geralmente, o sulfato de manganês é introduzido por pulverização nas plantas. O manganês está envolvido em várias reações enzimáticas e na fotossíntese. Atua na assimilação do nitrogênio amoniacal que deve ser aproveitado imediatamente, do contrário se perderá. Toma parte na resistência dos vegetais à seca, promove o melhor desenvolvimento das raízes e também tem relação íntima com o zinco e o boro. Por outro lado, teores altos de manganês na planta podem determinar o aparecimento de sintomas de deficiência de ferro.O carbonato de manganês talvez possa vir a ser empregado diretamente no solo, pois serviria também como corretivo do pH (Abreu, 1973).

Na fabricação de baterias primárias e secundárias o dióxido de manganês é um dos principais componentes. A cada ano cresce o interesse no uso deste material como

cátodo em baterias recarregáveis, objetivando a produção de dispositivos mais baratos e de maior densidade de energia (Garcia e Gorgulho, 1999).

Na fabricação de baterias primárias (não recarregáveis) o dióxido de manganês, MnO₂, é usado como despolarizador em pilhas secas, também chamadas de pilhas tipo Leclanché ou de zinco/carbono (Zn/C). Também é utilizado em pilhas alcalinas ou de zinco/dióxido de manganês (Zn/MnO₂). São raros os minerais de manganês que têm as propriedades requeridas para a manufatura tanto das baterias primárias quanto das secundárias, ou seja, alto teor de manganês, pureza e alta atividade eletroquímica.

O MnO₂ utilizado em pilhas é proveniente do minério de manganês que pode ser utilizado diretamente ou como matéria-prima na síntese via método químico ("chemical manganese dioxide", CMD) ou eletroquímico ("eletrolytic manganese dioxide", EMD) deste, dependendo de sua qualidade (Gorgulho e Garcia, 1999; Ullmann, 1985).

Diferentes tipos de dióxido de manganês são sintetizados para usos específicos. Há trabalhos visando a conversão de minerais de manganês como a rodocrosita a dióxido de manganês para utilização na fabricação de pilhas.

Segundo Gorgulho e Garcia (1999), o principal método usado na produção do CMD é o da obtenção de Mn_2O_3 a partir de minério de manganês seguido pela reação em meio ácido.

Greece (apud. Ullmann, 1985) descreve o complexo processo de fabricação de dióxido de manganês eletrolítico. O método consiste basicamente de três etapas, primeiramente, a preparação do eletrólito (geralmente o MnSO₄ a partir de um minério de manganês) e então, a solução de sulfato de manganês é submetida à eletrólise e finalmente o EMD recuperado passa por processos de preparação do produto (moagem, lavagem, secagem, entre outros).

A rodocrosita, um dos minerais de manganês explotados na Unidade Morro da Mina, também, é importante na preparação de ferritas manganês-zinco de alta qualidade para indústrias fabricantes de computadores e televisões (Ulmann, 1985). Na indústria do vidro, o manganês pode ter duas funções: descorante e colorante. A função de descorante é eliminar a cor esverdeada do vidro devido à presença de íons de ferro existentes nos seus insumos. A função de corante é dar ao vidro tonalidades variando do roxo ao negro.

Na fabricação de tintas e vernizes é usado como secante, devido, as características oxidantes do minério de manganês na forma de óxidos, sulfatos, que aceleram a formação da película da tinta e do verniz.

O minério de manganês, finamente moído, é adicionado aos esmaltes cerâmicos resultando nas cores castanho e preto. Quando adicionado ás argilas vermelhas obtém-se tijolos pretos de efeito decorativo. Geralmente, o minério de manganês utilizado é na forma de óxido.

Devido às suas propriedades altamente oxidantes, o manganês é usado na forma de sais complexos (permanganato) nas reações de oxi-redução. Um novo uso em desenvolvimento é em organometálicos, que são produtos químicos orgânicos que têm metais pesados na sua estrutura molecular. É também muito aplicado na produção de produtos farmacêuticos (cloreto, óxido e sulfato de manganês).

O manganês pode ainda, substituir o chumbo, na adição à gasolina, para evitar a poluição ambiental e sem produzir efeitos adversos aos motores. O composto ciclopentadienila-tricarbonila de manganês é bem solúvel na gasolina, óleo e álcool etílico, sendo geralmente utilizado como anti-detonante em substituição ao chumbo.

4.5. Tipos de Minérios de Manganês

A classificação comercial dos minérios de manganês se dá devido a critérios mais ou menos empíricos baseados no conteúdo metálico, componentes acessórios, granulometria e aplicações.

Costa e Figueiredo (2001), classificaram os minérios de manganês, segundo o teor de Mn contido, da seguinte forma:

1. Minério de manganês: Mn > 35%

- 2. Minério ferruginoso: 10% < Mn < 35%
- 3. Minério de ferro manganesífero: 5% < Mn < 10%

Gonçalves e Serfaty (1976), fazem uma classificação mais geral que distingue os minérios em do tipo metalúrgico, químico e eletrolítico.

Segundo Gonçalves e Serfaty (1976), para fins metalúrgicos, os concentrados de minérios de manganês se classificam, em, de alto, médio, baixo teor, ferro-manganês e manganês- ferro.

Mendes e Oliveira (1982) apresentam as especificações químicas dos concentrados de minérios de manganês para fins metalúrgicos de alto, médio e de baixo teor que são apresentados nas Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3.

Tabela 4.1- Especificações do concentrado de alto teor de manganês (Mendes e Oliveira, 1982).

Componentes	Teor (%)
Mn	46-48 (min)
Fe	8 (max)
SiO ₂ +Al ₂ O ₃	12 (max)
Р	0,18 (max)
Cu+Pb+Zn	0,1 (max)

Tabela 4.2- Especificações do concentrado de médio teor (Mendes e Oliveira, 1982).

Componentes	Teor (%)
Mn	40 (min)
Fe	6 (max)
SiO ₂ +Al ₂ O ₃	15 (max)
Р	0,30 (max)
Cu+Pb+Zn	0,25 (max)

Tabela 4.3 – Composição do concentrado de baixo teor de manganês (Mendes e Oliveira, 1982).

Componentes	Teor (%)
Mn	35 (min)
Fe	10 (max)
SiO ₂ +Al ₂ O ₃	20 (max)

Os concentrados de minérios de manganês de alto teor de manganês são empregados para fabricação de ferro-ligas, cujas relações de Mn/Fe variam entre 6,0 a 7,0. Sua adição é feita diretamente no alto forno.

Os concentrados de minérios de manganês de médio teor são utilizados para fabricação de ferro-ligas ou adição direta em alto forno, com relação Mn/Fe variando também de 6 a 7.

Os concentrados de minérios de manganês de baixo teor são próprios para mistura ("blending") com os minérios de manganês de alto teor para a fabricação de ferro-liga ou em adição direta no alto forno.

Os concentrados dos minérios que se classificam como ferro-manganês são adicionados diretamente no alto forno, geralmente possuem teor de manganês igual ao de ferro, que está em torno de 30%. Já os concentrados de minérios manganês-ferro apresentam teor geral de Mn variando entre 5 a 10%. São empregados para adição direta em alto forno onde qualquer teor de manganês é interessante. No Brasil, este tipo é pouco comum, pois nossos minérios de ferro, provenientes de Itabiritos, apresentam baixo teor de manganês (Mendes e Oliveira, 1982).

Como pode ser visto, os concentrados dos minérios de manganês do tipo metalúrgico, são principalmente utilizados para fabricação de ligas de manganês. Para uma satisfatória operação e eficiente produção das ligas de manganês, os concentrados de minérios de manganês devem ser de alta qualidade tanto sob o ponto de vista químico quanto físico.

A composição química dos concentrados de minério de manganês ou mistura de minério, irá, em larga extensão, determinar a qualidade da liga de manganês, o volume de escória, a composição da escória e a subseqüente utilização (Silveira e et. al, 1980).

Segundo Silveira e et. al. (1980), para fabricação da ferro-liga Ferro-Manganês Alto Carbono (FeMnAC), os minérios ou misturas de minérios devem conter, adequada relação manganês/ferro (6 a7), suficiente sílica para formar a escória com óxido de manganês e outras bases e também suficiente alumina para assegurar uma eficiente produção de sílico manganês a partir da escória. Fósforo, arsênio e outras impurezas, devem ser baixas o suficiente para que os limites especificados da liga não sejam excedidos.

Quanto à produção de outra importante ferro-liga a base de manganês a Ferro-Silício (FeSiMn), o minério de manganês pode ser silicoso porque o conteúdo de sílica reduz o consumo de quartzito necessário para introdução de silício na liga. Entretanto a sílica deve estar presente na forma de partículas livres e não combinada com manganês. Já para produção de Ferro-Manganês Médio/Baixo Carbono-(FeMnMC/BC), é necessário um minério de alto teor de manganês, com alta relação manganês/ferro e baixo conteúdo de sílica quando se quer evitar excessiva formação de escória e alto consumo de fundentes (Silveira e et. al., 1980).

Na produção de qualquer uma das ligas de manganês citadas acima, em um forno elétrico de redução, os álcalis devido à inexistência de nitrogênio são eliminados sem maiores problemas. Quando eliminados via escória, os óxidos alcalinos desempenham um papel de base forte na escória, podendo inclusive contribuir para torná-la mais fluida.

A especificação mais importante do minério de manganês para uso na indústria química é o teor de Mn, que deve ser o maior possível e nunca menor que 51% (Sampaio e et. al., 2001).

Segundo Ulmann (1985), os teores dos outros elementos principalmente CaO, SiO₂, Al_2O_3 , MgO devem ser os menores possíveis, pois, estes compostos geram uma lama

altamente contaminante quando o minério for atacado por ácido sulfúrico ou clorídrico nos processos de lixiviação, além de se perder Mn na torta. Os teores de K_2O e Na_2O e Fe devem ser baixos pelo fato dos mesmos serem solubilizados junto com Mn, devendo ser extraídos da solução, gerando mais operações unitárias no processo e, portanto mais custos de operação.

Os minérios de manganês adequados para agente oxidante em processos químicos devem, possuir um mínimo de 80% de MnO_2 e Fe máximo igual a 3%.

A especificação mais geral para concentrados de minérios de manganês eletrolítico é que ele deve ter alto teor em MnO₂ e Mn (especificações na Tabela 4.4) sendo o dióxido de manganês um dos principais componentes usados na fabricação de pilhas.

Tabela 4.4 – Especificações do concentrado de minério eletrolítico adaptadas de Ullmann, (1985) e Gonçalves e Serfaty, (1976).

Componentes	Teor (%)		
MnO ₂	75 (min)		
Mn total	48 (max)		
Fe solúvel em HCl	3 (max)		
SiO ₂	5 (max)		

O uso do dióxido de manganês em pilhas depende de inúmeros fatores incluindo a estrutura cristalina, área superficial, distribuição do tamanho dos poros, tamanho e forma das partículas, condutibilidade elétrica e defeitos na estrutura. Deve apresentar certo grau de porosidade e praticamente isento de elementos como ferro, cobre, níquel, cobalto, arsênio, chumbo e antimônio, contendo no máximo 0,05% destes (Ullmann, 1985). Se estes componentes forem solúveis, sob condições de uso da célula, suas soluções tendem a se difundir no recipiente de zinco, onde os metais são depositados, causando corrosão do zinco e posterior deformação da célula (Gonçalves e Serfaty, 1976).

As pilhas secas têm em sua composição Zn, grafita, e MnO_2 . Além desses elementos também é importante mencionar a adição de mercúrio (0,01% em peso) para revestir o

eletrodo de zinco e assim reduzir sua corrosão e aumentar a sua performance. A grafita nas pilhas secas, melhora a condutibilidade do dióxido de manganês.

O tamanho típico das partículas de MnO₂ obtidos por método químico para fabricação das pilhas está em torno de 80 a 85% menor que 44 μ m. Já o MnO₂ obtido por método eletroquímico geralmente, segundo análises pela técnica BET, tem área superficial variando entre 40-50 m²/g com as partículas de tamanho menor que 74 μ m (<200 mesh) (Ullmann, 1985).

Para uso em fertilizantes as especificações não são muito exigentes porque as quantidades adicionadas são baixas e são diluídas no solo. No caso de pigmentos o teor de Fe deve ser baixo porque este elemento dá cor avermelhada ao pigmento preto de Mn. Outros elementos que possam alterar este pigmento também devem ser monitorados.

Na Tabela 4.5 abaixo estão apresentadas as especificações químicas e granulométricas dos produtos da Unidade Morro da Mina -RDM.

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

Tabela 4.5- Especificações dos produtos da Unidade Morro da Mina - RDM.

Fonte: Unidade Morro da Mina - RDM.

4.6. Reservas Mundiais, Produção, Exportação e Importação Brasileira de Minério de Manganês e Produtos Manufaturados

Conforme o U.S. Geological Survey as reservas mundiais de minério de manganês (medidas+indicadas), no ano de 2003, são da ordem de 5,0 bilhões de toneladas, cuja distribuição obedece à proporção apresentada pela Figura 4.2. A África do Sul possui as maiores reservas, seguida pela Ucrânia, Gabão e China. E o Brasil possui aproximadamente 126 milhões de t (2,5 %) das reservas mundiais.

Em 2003, segundo o Sumário Mineral de 2004, fornecido pelo DNPM, o Brasil foi responsável por 16,0 % da produção mundial desse minério. Em termos mundiais passou a ocupar a segunda colocação no quadro da produção mundial. Apenas a África do Sul produziu maior quantidade, liderando a produção mundial com 1,6 milhão de toneladas (20,4%). As principais minas de minérios de manganês em atividade no Brasil encontram-se nos seguintes estados: Pará, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Bahia.



Figura 4.2 - Distribuição mundial de minério de manganês em milhões de toneladas. Fonte: Costa e Figueiredo, 2004.

Segundo o Balanço Mineral Brasileiro de 2001, fornecido pelo DNPM, as exportações brasileiras de minério de manganês em meados da década de 90 eram concentradas em nove países: França, Romênia, Inglaterra, Espanha e Itália, na Europa; Venezuela e Argentina, na América do Sul; Coréia e China, na Ásia. Elas passaram a se pulverizar ao final da década, distinguindo-se ainda a França, seguida, em menor escala, pela China, Japão, Venezuela e Espanha. Segundo a SECEX (Secretária de Comércio Exterior), as exportações brasileiras de minério de manganês, em 2003 atingiram 1058 mil toneladas, superando em 17,2 % em relação ao ano anterior, quando exportou 903 mil toneladas.

Em 2003, a produção nacional de ferro-ligas à base de manganês alcançou 438 mil toneladas, 28,3 % de Ferro-Manganês Alto Carbono (FeMnAC); 59,8 % de Ferro-Silício (FeSiMn) e 11,9 % de Ferro-Manganês Médio/Baixo Carbono (FeMnMC/BC), significando um aumento de 29,2 % em relação ao ano anterior. As exportações de ferro-ligas à base de manganês, em 2003, atingiram 176 mil t contra 147 mil t, em 2002, denotando um acréscimo de 19,7 %, resultado do aumento da demanda por aço no mercado externo.

Segundo Costa e Figueiredo (2004), o consumo de minério de manganês no Brasil em 2003 registrou uma redução de 9,5 % em relação ao ano anterior, passou de 1,6 mil t para 1,4 mil t, refletindo o aumento significativo de 17,2% na exportação. A Figura 4.3 mostra a distribuição do consumo de minérios de manganês no Brasil em 2003.



Figura 4.3 – Distribuição do consumo de minérios de manganês no Brasil. Fonte: Costa e Figueiredo, 2004.

As importações brasileiras de minério de manganês foram da ordem de 3078 t em 2003, o que representou um expressivo decréscimo de 83,8 %.

4.7. Caracterização Tecnológica de Minérios

A caracterização tecnológica de minérios é uma etapa fundamental para o máximo aproveitamento de um recurso mineral. É um ramo especializado aplicado ao beneficiamento de minério que estuda aspectos específicos da mineralogia dos minérios e as informações obtidas são utilizadas para o desenvolvimento e otimização de processos.

A avaliação inicial da explotabilidade comercial de um minério, o planejamento da planta de processamento, a montagem da planta piloto e a primeira operação eficiente em escala industrial de beneficiamento, é uma atribuição vital desempenhada pela caracterização tecnológica de minérios.
Embora a natureza do minério e o tipo particular de produto gerado variem, os principais dados exigidos para uma boa caracterização de minérios são geralmente os mesmos. Estes são mostrados a seguir (Henley, 1983):

- identificação mineral;
- proporção mineral;
- composição mineral;
- liberação de minerais valiosos e de ganga;
- distribuição de elementos entre vários sítios mineralógicos ao longo de toda a partícula considerada.

Além dos itens citados anteriormente é de fundamental importância a determinação dos constituintes químicos do minério (elementos químicos de interesse e deletérios) e a distribuição granulométrica.

Geralmente a identificação dos minerais valiosos e de ganga é o primeiro passo dado em uma investigação mineralógica. Os métodos de identificação mineral são muitos e variados e não é propósito discutí-los em detalhes. Uma das técnicas mais comumente utilizadas é a difratometria de raios X.

Segundo Gomes (1984) a difração de raios X é um fenômeno alcançado através de um processo no qual os raios, que incidem sobre a amostra, são dispersos pelos elétrons dos átomos, sem mudança do comprimento de onda (dispersão de Bragg). A difração resultante de um cristal, compreendendo posições e intensidades das linhas de difração, é uma propriedade física fundamental que serve para sua identificação, semiquantificação e estudos de sua estrutura. Entretanto devem ser considerados os fatores complicadores, inerentes à composição mineralógica das amostras em estudo. A superposição de raias e a pequena distinção entre raias características dos minerais presentes em baixos teores do "background" do espectro são exemplos dessas dificuldades.

Conhecer a composição química de um minério é indispensável, saber, então, quais os elementos a serem analisados em uma caracterização mineralógica, depende da

complexidade mineral e química do minério analisado e dos propósitos de sua utilização. Além das técnicas clássicas de análise química como gravimetria, volumetria e colorimetria, as técnicas instrumentais mais difundidas são a fluorescência de raios X, espectrometria de absorção atômica, espectrografia óptica de emissão e espectrometria de plasma.

A espectrometria de absorção atômica é baseada na absorção, por átomos, da energia de uma radiação do característico, cujo princípio pode ser resumido assim: um elemento pode absorver radiação emitida por ele próprio, no caso do equipamento de absorção atômica, a fonte de radiação é uma lâmpada de cátodo oco, feito do mesmo elemento a ser dosado, esta fonte irradia os átomos no estado fundamental, dispersos em uma chama. Os átomos no estado fundamental quando irradiados passam ao primeiro estado excitado, de dado comprimento de onda característico (radiação de ressonância) que identifica um determinado elemento (Gomes, 1984).

Já o princípio da técnica de fluorescência de raios X consiste da irradiação da amostra por um feixe primário emanado de um tubo de raios X, vindo então a produzir a radiação secundária. Ou seja, a excitação do átomo resulta da absorção de um fóton de raios X responsável pela ejeção de um elétron da camada K, L, e outras, dependendo do número atômico do elemento, levando à emissão do característico (radiação fluorescente), que é equivalente aos elementos presentes na amostra (Gomes, 1984).

Uma preocupação que se deve ter para uma eficiente determinação da composição química de um minério é quanto a correta escolha dos métodos para análise química dos elementos constituintes da amostra. Segundo Gomes (1984) a absorção atômica é melhor aplicada no estudo dos elementos traços (elementos em menor proporção, na ordem de ppm e ppb) e a fluorescência de raios X é de maior utilidade na análise dos constituintes maiores.

Geralmente antes da obtenção das informações de caracterização citadas logo acima, a amostra é fracionada para facilitar a identificação dos minerais, melhorar a quantificação e identificar certas propriedades físicas do minério. Estas informações valiosas, geralmente são obtidas por análise granulométrica, separação em meio denso e separação magnética.

Um dos últimos estágios da execução de uma caracterização tecnológica é a verificação do grau de liberação dos minerais de interesse em relação aos de ganga. Esta verificação é importante, principalmente, porque para que os minerais de interesse respondam com eficiência aos processos de beneficiamento, seus grãos devem estar inteiramente liberados. A porcentagem de liberação de um mineral pode ser determinada utilizando-se ensaios físicos com líquidos densos, dosagens químicas do elemento principal, ou estudos em lupa binocular e/ou microscopia óptica.

A liberação das espécies mineralógicas através de observação visual é facilmente detectada um mineral quando efetivamente liberado na coluna do líquido denso utiliza o lugar correspondente a sua densidade. A porcentagem de liberação do mineral valioso pode desta forma ser determinada pela dosagem do teor do principal elemento químico do mineral, através dos produtos, obtidos numa separação em líquido denso. Uma das limitações deste método é a impossibilidade de preparar gradientes com densidade superiores a 4,3, densidade da solução de Clerici (Luz e et. al., 1995).

4.8. Beneficiamento do Minério de Manganês

Depósitos de minérios de manganês de alto teor como o caso dos minérios da Austrália, Brasil, Gabão e África do Sul podem ser processados por técnicas simples de lavagem e/ou técnicas gravíticas (Aplan, 1985).

Na Figura 4.4 abaixo está apresentado o fluxograma de beneficiamento de manganês da Unidade Morro da Mina/RDM.



Figura 4.4 - Fluxograma do processo de beneficiamento do minério de manganês da Unidade Mina do Morro – RDM. Fonte: Unidade Morro da Mina – RDM.



Figura 4.5 – Fotos dos dois tanques de decantação da Unidade Morro da Mina-RDM Fonte: Unidade Morro da Mina - RDM.

Normalmente 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 0,106 mm) do minério, que normalmente vai para um tanque onde é feita a decantação destes resíduos sólidos, que após a separação sólido/líquido são estocados (Figura 4.5).

Nas últimas décadas, houve uma crescente conscientização ambiental, e a necessidade das indústrias trabalharem dentro das legislações impostas pelos órgãos competentes, devido a uma verdadeira aderência ao desenvolvimento sustentável, isto ressaltou a utilização de técnicas como a antiga concentração gravítica. Geralmente, nenhum reagente é requerido na concentração gravítica, o que reduz os custos diretos e também os ambientais, como disposição de rejeitos e limpeza de efluentes gerados (Burt, 1999).

Como princípio básico da concentração gravítica o que deve ser assumido é uma suficiente liberação dos componentes minerais um dos outros. Nos últimos anos houve consideráveis avanços no modelamento matemático dos processos de concentração gravítica e foram geradas várias publicações sobre o assunto (Burt, 1999). Isto conduziu a um melhor entendimento e freqüente melhoria dos equipamentos existentes, e para o desenvolvimento de novas linhas de equipamentos, permanecendo como vital, a escolha da unidade certa para o trabalho.

Taggart (1956) comenta a viabilidade de utilização do método de separação em meio denso para a concentração de minérios de manganês, em vista da alta densidade que os minerais de manganês, em geral, possuem, contrastando com a densidade mais baixa daqueles de ganga, na maioria das vezes, silicosa ou carbonática.

Especificamente para carbonatos de manganês, na década de 60, a Union Carbide operou uma usina de meio denso em Newport News, o concentrado de manganês era produzido em Ghana por mineração seletiva. Usando ferro-silício atomizado, foi obtida uma alta densidade de separação. O afundado era pelotizado e usado na produção de ferro-manganês (Aplan, 1985).

Tishchenko, et.al. (1980) realizou estudos para escolha do processo de beneficiamento do minério carbonato de manganês do depósito 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. Foram realizados inicialmente estudos de separação em meio denso. Este estudo inicial ajudou na escolha de um método centrífugo para o beneficiamento. Na verdade a utilização em conjunto de hidrociclone e separação em meio denso foi recomendada para as frações granulométricas entre 3 a 15 mm e 3 a 0 mm. Os testes do minério separado em suspensão de ferro silício, magnetita ou a combinação de ambos e depois em ciclone de meio denso apresentou bons resultados.

Uma prática em concentração gravítica de minérios de manganês, foi ilustrada pela ICOMI, na 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 Humphreys, 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%) (Aplan, 1985).

Caneschi (1994) realizou estudos de concentração do minério de manganês da Mina de Peruaçu, MG, onde um dos equipamentos de concentração utilizados foi a mesa concentradora. O minério foi utilizado em duas frações granulométricas: -0,84 +0,21mm e - 0,21 +0,074 mm. Na faixa granulométrica -0,84 +0,21mm (-20+65 mesh), a alimentação tinha cerca de 35% em Mn, obtendo após o ensaio um concentrado com uma média de 40% em Mn, já para faixa -0,21 +0,074mm (-65 +200 mesh) obteve-se um concentrado em média de 42% em Mn, enquanto na alimentação o teor de manganês estava em torno de 32 %.

Para minérios de manganês pobres a concentração dos mesmos pode ser efetuada por flotação. Há vários exemplos de aplicação industrial da flotação a minérios de manganês. A primeira grande usina foi a Cuban-American Manganese Co., que tratava um minério associado a cinzas vulcânicas. Havia uma etapa de jigagem, mas a maior parte do minério, incluindo o misto da jigagem, era britado, moído, classificado e flotado. Os reagentes usados foram óleo combustível, um espumante e quebracho para depressão de ganga calcária. A alimentação tinha 18 % de manganês e após o processo de concentração obtinha-se concentrado com até 51% de manganês e a recuperação ficava em torno de 87 % (Taggart, 1956; Aplan, 1985).

Um outro exemplo citado na literatura é o da Three Kids Mine, Nevada, EUA, que operava na década de 50. O minério era composto de óxidos de manganês, sílica, gipsita, calcita, barita, celestita, caolinita e argila bentonítica. Condicionava-se com Na₂CO₃, pH aproximadamente 8,0 e os reagentes utilizados na flotação eram SO₂, uma emulsão de "tall-oil" e óleo diesel e um sulfonato de petróleo (aril-alquil-sulfonato). Acredita-se que o SO₂ libere íons Mn que, adsorvendo na superfície dos minerais de manganês, ativam a ação do tall-oil. De uma alimentação média de 24% em Mn, obtinha-se um concentrado na flotação de 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% (Pryor, 1965; Aplan, 1985).

A Anaconda Co. operou, na década de 40, em Anaconda, Mont., uma usina de flotação para tratar rodocrosita (um carbonato de manganês) com alguns sulfetos na ganga silicosa. O minério era moído e classificado em 0,21 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 retirar a esfalerita. O rejeito da flotação de sulfeto era condicionado, estagiadamente, com silicato de sódio e óleo de semente de algodão saponificado e flotado. O concentrado era espessado, pelotizado e convertido em ferro-manganês em um forno elétrico. De uma alimentação contendo 21% em Mn, era obtido um concentrado da flotação com 38–40% de manganês que era elevado para aproximadamente 60% na etapa metalúrgica, com uma recuperação de 86% (Aplan, 1985).

No Brasil, há alguns trabalhos sobre flotação de manganês. Dentre eles podem ser citados:

i. Araújo e Bruno (1976) estudaram a obtenção de um concentrado de manganês a partir dos minérios ferro-manganesíferos na zona costeira de Santa Catarina, precisamente da Mina de Bupeva, Joinville, onde o minério apresentava teores da ordem de 19% de manganês. Na flotação em pH 4, regulado por ácido sulfúrico, os seguintes reagentes foram utilizados: óleo de pinho como espumante, quebracho utilizado como depressor preferencial dos óxidos de manganês e o coletor da ganga usado foi o Aero 801, da Cyanamid (aniônico oxidrílico do tipo sulfonato ligado em cadeia hidrocarbônica alifática). Os resultados destes estudos não foram satisfatórios, pois o teor máximo do concentrado obtido foi igual a 25% de manganês. Os autores atribuíram o baixo desempenho da flotação ao depressor do mineral de manganês (quebracho) por apresentar em sua composição ácido tânico que deprimiu boa parte do ferro.

ii. Andrade (1978), tratando um minério da região de São João Del Rei, conhecido como gondito, contendo aproximadamente 35% em manganês, obtendo concentrados com até 46% em Mn. As condições dos ensaios de flotação foram: pH na faixa 3-4, usando HF, como modulador de pH, coletor Adogen 172 98 A +83, 600g/t (oleil-amina primária, produzida pela Ashland), recuperação de manganês de aproximadamente 80%.

iii. Ciminelli (1980), estudou a concentração do gondito da região de São Domingos do Prata, MG, e também obteve melhores resultados com flotação na faixa ácida de pH 3-4, utilizando HF como agente regulador, estudou principalmente a influência de coletores de cadeia curta e de cadeia longa (ambos aminas) no grau de hidrofobicidade dos constituintes do gondito. Notou que com a utilização de coletores catiônicos de cadeia longa é possível se obter uma melhor flotabilidade de todos os minerais estudados. Na faixa de pH ácida favorável já citada, os silicatos apresentam carga superficial negativa e os óxidos de manganês, carga positiva, favorecendo a flotação catiônica inversa dos silicatos do gondito. A hidrometalurgia também é um campo de pesquisas para o tratamento de minérios de manganês, principalmente os de baixo teor. Foram desenvolvidos vários processos, alguns realizados com sucesso.

Abbruzzese et.al. (1990) mostra a possibilidade de tratar por lixiviação o minério de Mn, usando SO₂ em solução aquosa, em pH menor que 1,7, e ainda, por biolixiviação, usando diferentes microorganismos, tais como a bactéria *Thiobacillus Ferrooxidans* e o fungo *Aspergillus Nigger*. Foi averiguado o tempo de dissolução do MnO₂ nestes dois diferentes processos. No processo de lixiviação foram necessários de 15 a 20 dias para obtenção da máxima dissolução do dióxido de manganês e para a biolixiviação 20 dias. Segundo os autores, o processo de biolixiviação, na maioria dos casos, apresenta a vantagem, em relação aos processos químicos, de ser menos agressivo ao meio ambiente.

Momade (1996) realizou estudo da lixiviação utilizando ácido sulfúrico em carbonato de manganês de Nsuta (Gana). Foi investigada a lixiviação em diferentes temperaturas, frações granulométricas e concentrações ácidas. Os resultados mostraram que a taxa inicial e extrações globais eram afetadas pela concentração ácida, fração granulométrica e a temperatura de lixiviação. A dissolução do carbonato de manganês em ácido era mais favorecida a temperaturas elevadas.

Fellows e Silva (1984), desenvolveram um processo tecnológico para aproveitamento do minério de manganês da Mina de Urucum, que possibilitava a elevação da relação Mn/Fe, com obtenção de concentrados com relação Mn/Fe > 7,0 e também a diminuição do teor de álcalis do referido minério. Para redução do teor de álcalis desse minério foram realizados ensaios de lixiviação aquosa e sulfúrica, já para os estudos da relação Mn/Fe foram realizados testes em equipamentos de separação magnética.

4.9. Processos de Aglomeração de Finos de Manganês

Uma das principais utilizações do minério de manganês como matéria-prima é para produção de ligas de manganês.

Os finos de manganês, geralmente não podem ser introduzidos diretamente nos fornos de fabricação das ligas. Isto porque a natureza física dos materiais da carga com relação a granulometria e conteúdo de finos tem significante efeito sobre as condições de operação e rendimento destes fornos. Os finos na maioria das vezes baixam a porosidade ou permeabilidade da carga, causando uma inadequada distribuição dos gases, perdas elevadas nos gases e poeiras, bem como formação de crostas ou pontes na carga, as quais podem resultar em sérias erupções e explosões durante a produção (Silveira e et. al. 1980). Sendo assim, o desenvolvimento de processos de aglomeração é de grande importância para possibilidade de aproveitamento deste tipo de fino na industria siderúrgica.

Lins e Bruno (1976), desenvolveram um estudo sobre a confecção de pelotas de concentrado minério de manganês para utilização em alto-forno. Os minerais presentes no concentrado para pelotização eram: pirolusita, criptomelana, hematita, limonita e sílica. O material foi moído em um moinho de bolas, com obtenção de fração granulométrica abaixo de 0,053 mm (≤ 270 mesh) e com superfície específica de 1688 cm²/g. A umidade ótima do material para confecção das pelotas estava em torno de 8,5%. O aglomerante utilizado no caso foi a bentonita, que se dispersa na água contida no sistema, preenchendo os vazios entre as finas partículas do material. Este aglomerante desempenha a função de dar resistência mecânica a pelota crua necessária ao seu transporte e imprimir propriedades de boa resistência ao choque térmico, choque este que se produz na entrada das câmaras de secagem e queima. As pelotas obtidas nestes testes estavam dentro de uma faixa de 5/8"a 3/8" de diâmetro, que foram secadas em estufa a uma temperatura de 200C° e passaram também por um processo de queima, para obtenção da resistência necessária para utilização em alto-forno.

Outra maneira de se obter matéria prima, de boas propriedades físicas, para fornos para utilização na siderurgia a partir de finos, seria a sinterização dos finos de manganês.

A sinterização desempenha importantíssimos papéis de permitir uma preparação completa das matérias primas pela britagem e peneiramento de minérios, fundentes e redutores, além de aproveitar a maioria dos finos na fabricação de produto de reconhecida qualidade para carga do forno elétrico. Na prática uma proporção de "sinter" de boa qualidade, resulta em um mais baixo consumo específico de energia, devido ao aumento da porosidade da carga e seus efeitos benéficos sobre a distribuição de gás (Silveira e et. al., 1980).

Segundo Silveira e et. .al (1980), para sinterização do minério de manganês a distribuição granulométrica deve estar dentro da seguinte faixa: 2 % >100 mm, 45-60 % de 1-10 mm e cerca de 15 % abaixo de 0,074 mm (< 200 mesh). O minério deverá possuir ainda alto poder de aglomeração a frio, ou seja, capacidade de sofrer uma nodulização sob o efeito da umidade e mistura. Outro aspecto interessante entre as características dos minérios é o da forma do grão, que influencia na obtenção de um "sinter" com mais ou menos resistência. Como regra geral, matérias primas com grãos arredondados conferem uma menor resistência ao "sinter", quando comparado ao daquelas com formato de grãos irregulares.

Um exemplo de sinterização eficiente de finos de manganês é o da Japan Metals and Chemicals Co. (JMC), na usina Takaona Works, conforme original de Tomioka (apud. Silveira e et. al., 1980). Os bolos de pó seco e lama úmida coletados na usina eram sinterizados junto com o minério de granulometria menor que 3 mm, na proporção de 30% de pó seco, 20% de lama e 50% de minério menor que 3 mm. O teor de manganês do pó seco e o bolo de lama estava entre 30 e 22 %. O "sinter" obtido era então utilizado como matéria prima para produção de sílico - manganês. A escória (9% Mn, 39% SiO₂, 27% CaO e 12% Al₂O₃) produzida no processo de produção do sílico-manganês era enviada para uma usina de fertilizante, embarcava como um portador de manganês ou fertilizante silicato cálcico regular após ter sido adequadamente tratada. Isto mostra, que na indústria de produção de ligas de manganês o emprego de técnicas de aglomeração permitem a melhor preparação da carga, sem que perdas sob a forma de finos ocorra. Permite ainda a recuperação de matérias de valor industrial, arrastados pelos gases gerados nos fornos e recolhidos sob forma de pó seco ou lama.

4.10. Questão Ambiental - Os rejeitos dos minérios de manganês e potenciais aplicações

O maior prejuízo que pode advir com as operações de extração e beneficiamento de minérios de manganês estão relacionadas às partículas suspensas no ar nas frentes de lavra e usinas de britagem, além dos resíduos de lavagem do minério de manganês, que normalmente passam por processo de decantação para extração da água que continha os sólidos em suspensão. A água recuperada, geralmente é reutilizada no processo sendo fundamental à realidade das indústrias, na medida em que este procedimento possibilita diminuição de custos gerais e conformação com a legislação ambiental vigente. Os resíduos particulados após o processamento nos tanques de decantação, são geralmente estocados (Gonçalves e Serfaty, 1976).

No caso dos rejeitos de manganês alguns estudos já foram realizados como os da Universidade do Havaí, onde durante 10 anos foi executada uma gama de investigações sobre o uso benéfico de várias espécies de rejeitos de manganês de mineradoras oceânicas (que retiram o minério de manganês do fundo dos oceanos). Todos os rejeitos do processamento de minérios de manganês tinham similaridades em termos de sua fina granulometria e conteúdos de manganês residuais.

Wiltshire (2002), realizou uma importante revisão destes anos de estudos dos rejeitos da mina de manganês Groote Eylandt, no norte da Austrália. Foram investigadas utilizações potenciais para os rejeitos. Primeiramente, em destaque, o uso dos rejeitos para aplicações agrícolas.O segundo grau de aplicação incluiu, cerâmicas, concreto e asfaltos. O terceiro grau foram para aplicações tais como vidros, vernizes, plásticos e aditivos em borrachas devido às características do rejeito.

Na agricultura, o rejeito na sua forma bruta, não se mostrou eficiente, sendo assim, há a necessidade de se criar misturas, ou seja, outros aditivos que seriam necessários para neutralizar algumas das tendências negativas do rejeito de manganês. A criação destas misturas é de certa forma complexa e devem levar em conta diversos fatores relacionados ao solo como microestrutura, incluindo porosidade, drenagem de água como também níveis de nutrientes disponíveis a vários níveis de pH.

A adição de manganês no solo parece prevenir putrefação de raiz como é notável em uma experiência, que usou cortes de raízes de orquídea, nos quais as raízes desta planta tratada com manganês estavam relativamente livres de doença. Na ausência de manganês ocorreu severa putrefação das raízes das orquídeas. Um efeito similar foi notado com relação a plantas cultivadas em solos contendo manganês, que exibiram uma resistência mais alta a depredação causada pelo ataque de insetos.

As aplicações de misturas contendo rejeitos de manganês são mais efetivas em solos pobres ou gravemente danificados. Os rejeitos de manganês mostraram utilidade para estabilizar solos para plantio de árvores altas e de raízes profundas.

Foram obtidos também resultados que dão aos rejeitos de manganês aplicação na construção civil. Claramente, há considerações adicionais para esta pesquisa como as diferentes constituições dos rejeitos de minérios de manganês, que devem então ser particularmente estudadas. Por exemplo, para rejeitos de minérios de constituição ferromanganês, indicações iniciais, mostraram aumento de compressibilidade, superior moldabilidade, densidade mais alta e mais baixa porosidade do concreto, dando razão para acreditar que, para concretos de especialidade, a adição de rejeitos de ferromanganês oferecem características economicamente desejáveis. Há ainda trabalhos contínuos visando estudar características do concreto de manganês com relação à ação que previne ataque de microrganismos, como fungos causadores de mofo.

A possibilidade de aplicação dos rejeitos na indústria de cerâmicas também foi estudada, com elaboração de uma cobertura de manganês muito dura que varia da cor marrom a preto, dependendo da mistura. As misturas variavam de 50-70% de rejeito, produzindo uma cerâmica superior com grande potencial estrutural (combinação de cor e dureza).

5. MATERIAIS E METODOLOGIA

A metodologia utilizada na preparação das amostras, nos estudos de caracterização e nos ensaios de concentração, juntamente com a descrição dos equipamentos e materiais é relatada neste capítulo. Os procedimentos gerais de trabalho adotados podem ser vistos no fluxograma da Figura 5.1.

5.1.1. Amostra

A amostra do rejeito do minério de manganês da Unidade Morro da Mina foi recebida no laboratório de Tratamento de Minérios da Escola de Minas - UFOP, num total de 1263 kg. Devida à alta umidade da amostra, foi necessário espalhá-la em uma lona de 24 m², onde permaneceu exposta a temperatura ambiente por cerca de três semanas para redução do elevado teor de umidade. Então a mesma foi desagregada, homogeneizada e quarteada pelo método de pilhas longitudinais, o mais indicado para grandes quantidades de amostra, e armazenada em menores porções para facilitar o manuseio.

Cerca da metade da amostra recebida foi arquivada. A outra metade foi sucessivamente homogeneizada e quarteada até a obtenção de duas alíquotas de 5 Kg. Com a alíquota denominada amostra global (ou de cabeça) foi efetuada a determinação da mineralogia. Para facilitar a identificação dos minerais presentes no minério foi efetuado o fracionamento da amostra utilizando separação em meio denso, usando o bromofórmio $(d = 2,89 \text{ g/cm}^3)$ e separação magnética de alta intensidade. Nesta alíquota foram ainda identificados os constituintes químicos, determinada a área superficial, a porosidade, e a densidade do minério.

Com a outra alíquota de 5 kg foram determinados a distribuição granulométrica, a composição química por faixa granulométrica e realizados os ensaios de separação em líquido denso para as faixas granulométricas +0,149 a -0,037 mm (+100 a -400 mesh), 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 encontram-se liberados dos minerais de ganga.



Nota: AQQT- Análise química quantitativa

Figura 5.1- Fluxograma geral de caracterização e concentração dos finos de minério de manganês (estocados como rejeito) da Unidade Morro da Mina –RDM.

Outras alíquotas foram utilizadas para realização dos ensaios tecnológicos (separação gravítica e classificação) que tiveram por objetivo verificar a possibilidade de obtenção de concentrados dentro das especificações químicas dos produtos da Unidade Morro da Mina – RDM. Os equipamentos utilizados foram a mesa oscilatória (Wiffley), espiral de Humphreys e hidrociclone do laboratório de Tratamento de Minérios do DEMIN/UFOP.

5.1.2. Caracterização granulométrica

A distribuição granulométrica do material foi determinada através de peneiramento a úmido, a massa de amostra utilizada foi de 150g, esta massa foi selecionada após a realização dos cálculos das massas mínimas (massa mínima que deve ser utilizada para representar todo o lote inicial) e o cálculo da massa máxima (massa máxima que pode ficar retida em cada peneira cessado o peneiramento). Foi utilizada a série Tyler de peneiras - 0,42 a + 0,037 mm (35 a 400 mesh).

5.1.3. Análise química

Foram realizadas análises químicas quantitativas tanto para amostra global quanto por faixa granulométrica no laboratório Lakefield Geosol Ltda e desta forma determinados a distribuição de manganês e de impurezas nas diversas frações granulométricas.

Foram realizadas determinações de teores de Mn, Fe, K₂O, CaO, MgO, Na₂O, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, P, S, Co, NiO, Zn, Cu, Pb ,As, BaO e PPC (perda por calcinação).

Os teores de Mn, Fe, SiO₂, CaO, Al₂O₃ e P dos produtos dos ensaios tecnológicos e dos produtos da separação em líquido denso, e também a determinação de Mn solúvel por faixa granulométrica foram realizadas no laboratório da RDM .

Os métodos utilizados nas análises foram:

- As: determinação por geração de hidretos/absorção atômica (fusão com pirossulfato de potássio);
- Cu, Zn, Pb, Co: determinação por digestão multiácida/ absorção atômica;

- S: determinação por LECO (determinação por combustão, detector por infravermelho);
- Mn, Fe, K₂O, CaO, MgO, Na₂O, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, P, NiO, BaO: determinação por fluorescência de raios X (fusão com tetraborato de lítio);
- Mn solúvel: titulação de óxido redução com permanganato de potássio (permanganemetria);
- PPC: perda ao fogo por calcinação a 1000°C, até peso constante.

5.1.4. Fracionamento da amostra de finos de minério de manganês

5.1.4.1. Separação em líquido denso

Primeiramente a separação em líquido denso foi utilizada para o fracionamento da amostra global, utilizando-se o líquido denso bromofórmio (CHBr₃) de densidade igual a 2,89 g/cm³, que teve como principal objetivo facilitar a identificação dos minerais presentes no minério.

Foram efetuados também, estudos de liberação dos minerais de manganês para as frações granulométricas obtidas pelo estudo de análise granulométrica. As faixas granulométricas em que a porcentagem retida apresentava uma pequena massa, foram restringidas, sendo agrupadas. Isto aconteceu com as frações 0,42, 0,297 e 0,21 mm (35, 48 e 65 mesh) que foram agrupadas a fração maior que 0,149 mm (+100 mesh).

Para cada ensaio de separação em líquido denso foi utilizado 50 mL do bromofórmio que era adicionado ao recipiente de separação (um funil de vidro adaptado a uma mangueira siliconada, estrangulada por um prendedor apropriado). Adicionava-se a massa de amostra selecionada que era homogeneizada com um bastão de vidro.

Observa-se a separação das espécies minerais e após a estabilidade das duas fases (flutuado e afundado) retirava-se o afundado abrindo o prendedor. Em seguida, filtravase o afundado em um funil de vidro com papel de filtro de tarja preta. A massa obtida no afundado foi lavada com álcool etílico para remoção de resíduos de bromofórmio. A massa era secada preferencialmente em temperatura ambiente, devido à alta volatilidade dos reagentes, para evitar alta concentração de vapores. O flutuado, contendo as partículas, cujas densidades eram menores que 2,89, era retirado, realizando-se os mesmos procedimentos descritos para o afundado.

Pesava-se as massas de flutuado e afundado obtidas em cada ensaio de separação da amostra global e das faixas granulométricas.

As amostras de flutuado e afundado obtidas com o fracionamento da amostra global, foram enviadas para análises químicas e mineralógicas. Já as amostras obtidas pela separação das diferentes faixas granulométricas foram encaminhadas para análises químicas.

Há de se salientar que os ensaios de separação em bromofórmio foram efetuados dentro da capela do laboratório de Tratamento de Minérios da UFOP, tendo sido usados luvas, óculos e máscara, uma vez que o mesmo é bastante tóxico.

As parcelas de densidade menor que a do bromofórmio (flutuado) e as de densidade maior (afundado) foram devidamente pulverizadas, em um pulverizador de anéis, e enviadas para análise química no laboratório de análises químicas da RDM. Foram determinados os teores de Mn, Fe, SiO₂, CaO, Al₂O₃ e P.

5.1.4.2. Separação magnética de alta intensidade

A separação magnética da amostra global dos finos de minério de manganês foi realizada em separador magnético a úmido de alta intensidade, variando-se a intensidade da corrente aplicada. Utilizou-se intensidade de corrente igual a 4 e 7 A.

Inicialmente foram colocadas pequenas esferas de aço dentro da caixa por onde passava a amostra e o campo magnético era ligado e regulado pelas correntes fixadas em 4 ou 7A. Para ambos os ensaios foram utilizados 500 g da amostra global.

Os não-magnéticos atravessaram a região e foram coletados em uma bandeja e após secagem e pulverização foram enviados para análise química e difratometria de raios X

Já as partículas captadas na matriz, após o desligamento do campo magnético, foram lavadas, permitindo assim a coleta do concentrado magnético que também após

secagem e pulverização foi enviado para análise química e para difratometria de raios X.

Foram determinados os teores de Mn, Fe e SiO₂, tanto da fração magnética quanto nãomagnéticas.

5.1.5. Caracterização mineralógica

Foram determinados qualitativamente os constituintes minerais presentes na amostra global, nas parcelas flutuado e afundado, obtidas na separação em líquido denso, e também os minerais dos produtos (magnético e não-magnético) da separação magnética desta amostra global por difratometria de raios X, pelo método do pó total. Para preparação de amostra de pó fez-se a pulverização e homogenização de cada amostra. O equipamento de difração de raios X utilizado foi um difratrômetro modelo Rigaku, série D/Max-B. A interpretação dos difratogramas foi feita através do software JADE 3.1 do fabricante MDI (Laboratório de Difração de Raios X do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto).

5.1.6. Determinação de propriedades físicas da amostra global

5.1.6.1. Densidade da amostra global

A densidade da amostra global de finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina – RDM foi determinada pelo método do picnômetro apresentado no Apêndice I. Para confirmação dos resultados obtidos por este método foi realizada análise de densidade, utilizando o equipamento Multipicnômetro a hélio da marca Quantachrome no laboratório do Núcleo de Valorização de Materiais Minerais na Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.

No picnômetro a hélio, o volume da amostra é calculado através da mudança de pressão aplicada no gás quando ele se expande em uma célula contendo a amostra e quando se expande na célula sem a amostra. O gás hélio é normalmente utilizado nestas medidas por, geralmente, comportar-se essencialmente como ideal. A densidade é então facilmente calculada uma vez que se tem o valor da massa da amostra utilizada.

5.1.6.2. Determinação da área superficial e porosidade da amostra global - BET

As análises de área superficial específica e de porosidade foram realizadas pelo método de adsorção de nitrogênio pelo equipamento NOVA 1000 Quantachrome, no laboratório do Núcleo de Valorização de Materiais Minerais na Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Este equipamento utiliza o princípio da adsorção de um gás na superfície do sólido.

O fenômeno de adsorção de nitrogênio é fortemente dependente das propriedades físicas do sólido, em particular de sua estrutura de poros. Desta forma, foram obtidos como resultados do ensaio deste equipamento, a área superficial específica, volume total de poros (porosidade), tamanho máximo dos poros, diâmetro médio dos poros, volume dos microporos (microporosidade) e a área dos microporos.

5.2. Ensaios Tecnológicos

De posse dos estudos anteriores foi verificada a possibilidade de concentração destes resíduos em equipamentos gravíticos (mesa oscilatória, espiral de Humphreys e classificação em hidrociclone), visando a obtenção de produtos dentro das especificações para as aplicações tais como indústria siderúrgica, eletroquímica entre outras.

5.2.1. Mesa oscilatória

Para os estudos de concentração gravítica em mesa oscilatória, foi utilizada uma mesa tipo Wilfley com as seguintes características:

- Tamanho 13 A, Comprimento 40", Largura 18";
- Motor ¹/₄ HP, Capacidade (24h) 0,5 a 1,8 toneladas;
- Freqüência: 5,03 hertz

As variáveis estudadas foram:

- i. faixa granulométrica: +0,074 mm, 0,074 mm e amostra global
- ii. ângulo de inclinação da mesa: $5^{\circ} e 3^{\circ}$
- iii. porcentagem de sólido: 15, 20, 25, 30, 35%

A Figura 5.2 apresenta o fluxograma dos ensaios de concentração em mesa e as variáveis operacionais que foram estudas.



Figura 5.2 - Fluxograma dos estudos de concentração realizados na mesa oscilatória.

Foram preparadas as amostras nas faixas granulométricas estipuladas para os ensaios. A massa de amostra utilizada para cada ensaio sempre foi de 2 kg. Foi metida a taxa de alimentação da amostra na mesa e desta forma ajustada a água de polpa (ou seja, a água que seria necessária para se obter à porcentagem de sólidos na polpa desejada). A água de lavagem foi ajustada de modo a se obter o mesmo valor da vazão da água de formação da polpa. Este parâmetro foi estipulado de acordo com a citação de Wills (1992) que afirma que a água de lavagem deve variar de poucos litros a quase 100 L/min de acordo com o material alimentado sobre a mesa.

Como pode ser visto na Figura 5.2, para o ângulo de inclinação de 3° foi usada apenas a porcentagem de sólidos de 15%, uma vez que foi o resultado mais satisfatório dos ensaios anteriores, realizados com ângulo de inclinação de 5°.

Os produtos da separação obtidos foram filtrados, secados, pesados, homogeneizados e quarteados, para a retirada de amostras representativas que eram enviadas para análises químicas, onde se determinavam os teores de Mn, Fe_. SiO₂, CaO, Al₂O₃ e P. Com os resultados obtidos nas análises químicas dos produtos (concentrado, misto e rejeito) foram efetuados os balanços de massas e metalúrgico.

5.2.2. Espiral de Humphreys

Para estes ensaios de concentração foi utilizado a espiral de Humphreys de 5 voltas do laboratório de Tratamento de Minérios da Universidade Federal de Ouro Preto.

As variáveis estudadas foram:

- i. faixa granulométrica: +0,074 mm, 0,074 mm e amostra global
- ii. porcentagem de sólido: 15, 20, 25 e 30 %

A massa de amostra utilizada para cada ensaio variou de 10 a 22,5 kg, de acordo com a porcentagem de sólidos desejada na polpa. A água necessária para preparação da polpa era calculada e adicionada no tanque.

As aberturas existentes na espiral foram reguladas de forma a coletar a maior fração possível de concentrado. Quando o processo de concentração entrou em regime foi realizada a amostragem cronometrada dos produtos (concentrado e rejeito). Os produtos obtidos foram filtrados, secados, pesados, homogeneizados e quarteados, para a retirada de amostras representativas que foram enviadas para análises químicas. Foram identificados os teores de Mn, Fe, SiO₂, CaO, Al₂O₃ e P. Com os resultados obtidos nas análises químicas dos produtos (concentrado e rejeito) foram efetuados os balanços de massa e metalúrgico dos ensaios.

Na Figura 5.3 abaixo está apresentando o fluxograma com os estudos de concentração realizados na espiral de Humphreys.



Figura 5.3 - Fluxograma dos estudos de concentração realizados na espiral de Humphreys.

5.2.3. Hidrociclone

Para os estudos de separação em hidrociclone, foi utilizando um hidrociclone com as seguintes dimensões: diâmetro do injetor: 7,6 mm; diâmetro do vortex finder: 12,5 mm; diâmetro da seção cilíndrica: 38,5 mm; diâmetro do apex: 5,5 mm e a altura: 515 mm.

Para o ensaio foi preparada uma amostra a partir de uma granulometria inferior a 0,589 mm (28 mesh), faixa granulométrica adequada para utilização em ensaios no hidrociclone em questão. A massa da amostra para realização do ensaio foi de 5 kg.

A água de diluição para formação da polpa foi calculada de forma a se obter 15% de sólidos em peso. Quando o processo entrou em regime foi realizada a amostragem cronometrada, com o tempo suficiente para se obter um balde com grande volume de amostra dos produtos ("underflow" e "overflow").

Os produtos obtidos foram filtrados, secados, pesados, homogeneizados e quarteados, para a retirada de amostras representativas que foram enviadas para análises químicas.

Foram determinados os teores de Mn, Fe₂ SiO₂, CaO, Al₂O₃ e P. Com os resultados obtidos nas análises químicas do "underflow" e "overflow" foram efetuados o balanço de massa e metalúrgico do ensaio.

Dos produtos ("underflow" e "overflow") também foram retiradas alíquotas para análise granulométrica. A distribuição granulométrica da amostra foi determinada através de peneiramento a úmido, utilizando-se a série Tyler de peneiras -0,42 a +0,037mm (35 a 400 mesh). Os resultados das análises granulométricas foram utilizados para construção da curva de partição do equipamento.

4.1 6. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1.1. Caracterização granulométrica

A distribuição granulométrica da amostra de finos do minério de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM, realizada por peneiramento a úmido, está representada na Tabela 6.1 e Figura 6.1. Observa se que 51,16% das partículas estão abaixo de 0,074mm (-200 mesh), graficamente obtém-se $d_{50} = 0,07$ mm e o $d_{80} = 0,15$ mm, isto é, 80% da amostra, encontra-se abaixo de 0,150 mm.

Através da determinação da massa máxima retida em cada peneira (Apêndice II) foi possível verificar a validade do peneiramento. Através destes cálculos constatou-se que a amostra retida em cada peneira foi inferior ao máximo calculado pela fórmula de Gaudin (ver Apêndice II).

Faixas Gra	nulométricas	Distribuição Granulométrica						
Abertura (mesh)	mm	% retida simples	% retida acumulada	% passante				
+ 35	+ 0,42	1,75	1,75	98,25				
+ 48	+ 0,297	1,94	3,69	96,31				
+ 65	+ 0,21	3,41	7,10	92,90				
+ 100	+ 0,149	7,05	14,15	85,85				
+ 150	+ 0,105	14,12	28,27	71,73				
+ 200	+ 0,074	20,57	48,84	51,16				
+ 270	+ 0,053	19,79	68,62	31,38				
+ 325	+ 0,044	8,66	77,28	22,72				
+ 400	+ 0,037	9,45	86,62	13,26				
- 400	- 0,037	13,26	100,00	0,00				
-	-	100,00	-	-				

Tabela 6.1- Distribuição granulométrica, dos resíduos do minério de manganês da Unidade Morro da Mina – RDM.



Figura 6.1 – Distribuição granulométrica dos resíduos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina – RDM.

6.1.2 Caracterização química

Os resultados das determinações dos teores de Mn, Fe, K₂O, CaO, MgO, Na₂O, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, P, S, Co, NiO, Zn, Cu, Pb ,As, BaO e PPC (perda por calcinação) para a amostra global e por faixas granulométricas dos finos de minério de manganês estão apresentados na Tabela 6.2.

A Tabela 6.3 apresenta a porcentagem de manganês solúvel na amostra global e nas diferentes frações granulométricas dos finos de minério de manganês.

Fra Granulo	ção ométrica		Elementos e ou compostos analisados																	
		As	Cu	Zn	Pb	Co	S	BaO	CaO	Fe	K ₂ O	Mn	NiO	Р	TiO ₂	Al_2O_3	MgO	Na ₂ O	SiO ₂	P.P.C
Mesh	mm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
+ 35	+ 0,42	165	208	131	13	372	0,37	0,110	2,55	3,65	0,50	22,30	0,110	0,085	0,52	9,37	3,60	0,24	32,20	16,29
+ 48	+0,297	151	245	126	19	382	0,39	0,130	2,57	3,61	0,54	20,90	0,100	0,068	0,40	9,83	3,50	0,39	34,90	12,79
+ 65	+ 0,210	152	200	125	17	302	0,44	0,120	2,55	3,70	0,58	20,00	0,090	0,062	0,36	9,63	3,10	0,38	34,90	10,86
+ 100	+ 0,149	135	191	116	14	249	0,39	0,140	2,49	3,53	0,53	22,50	0,080	0,071	0,37	9,37	3,50	0,46	37,90	9,68
+ 150	+0,105	114	151	113	13	201	0,32	0,120	2,32	3,45	0,39	26,00	0,060	0,055	0,35	9,97	3,80	0,29	33,30	11,87
+200	+0,074	119	147	90	13	139	0,26	0,090	2,64	3,38	0,26	27,70	0,060	0,068	0,33	9,61	3,80	0,31	28,50	12,03
+ 270	+0,053	145	122	82	9	150	0,25	0,080	2,68	3,36	0,23	29,10	0,060	0,071	0,34	9,14	3,80	0,18	26,50	13,84
+ 325	+0,044	166	176	103	10	187	0,26	0,090	2,79	3,62	0,22	28,70	0,060	0,089	0,38	8,88	3,80	< 0,10	24,90	13,00
+400	+ 0,037	225	182	111	16	263	0,29	0,090	2,84	3,80	0,22	29,70	0,080	0,100	0,49	8,62	3,90	< 0,10	24,00	15,68
- 400	- 0,037	369	467	222	50	396	0,36	0,090	2,70	3,55	0,32	26,80	0,130	0,097	0,61	9,21	4,20	0,16	24,60	15,27
Global		228	163	93	14	195	0,36	0,100	2,63	3,67	0,35	28,30	0,080	0,080	0,39	9,30	3,80	0,22	28,10	13,84

Tabela 6.2 – Resultados das análises químicas por faixa granulométrica e da amostra global de finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina – RDM.

Nota: Os resultados de MnO, Fe₂O₃ e P₂O₅ foram reportados na forma de Mn, Fe e P, respectivamente.

Tabela 6.3 – Resultados das análises químicas de manganês solúvel em ácido sulfúrico nas diferentes frações granulométricas e na amostra global dos finos de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM.

Frações gran	nulométrica	Mn solúvel (%)
mesh	mm	
+ 35	+ 0,42	16,5
+ 48	+0,297	18,7
+ 65	+ 0,210	15,1
+ 100	+ 0,149	18,6
+ 150	+0,105	15,8
+200	+0,074	19,2
+ 270	+ 0,053	20,8
+ 325	+0,044	20,2
+ 400	+0,037	20,9
- 400	- 0,037	20,4
Global	-	18,6

Conforme pode ser visto na Tabela 6.2, abaixo da fração 0,149 mm (100 mesh) há um pequeno enriquecimento em manganês, porém até esta faixa granulométrica o teor de sílica é bastante alto. Abaixo da fração 0,105 mm (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.

As outras principais impurezas foram Al₂O₃, Fe, MgO e CaO. O teor destas impurezas para todas as faixas granulométricas variou pouco, apresentando valores muito próximos, indicando pouca variação na composição química e conseqüentemente mineralógica destes finos estudados.

A análise química da amostra global mostrou resultados surpreendentes, uma vez que o teor dos principais elementos analisados, Mn, Fe e SiO₂, foram 28,3; 3,67 e 28,10 % ficando dentro dos limites indicados nas especificações químicas ($Mn_{mínimo}$ - 23 %, Fe_{máximo} – 6 % e SiO_{2máximo} – 35 %), dos produtos da Unidade Morro da Mina – RDM.

A análise de PPC (perda por calcinação), não apresentou grandes variações para as diferentes faixas granulométricas, mais apresentou valores bastante altos. Esta análise

indica inicialmente a perda de água não-essencial, cuja presença no sólido é por forças físicas, e com a grande elevação da temperatura esta análise determina também a perda de água essencial que faz parte da estrutura cristalina ou molecular de algum componente da amostra, este comportamento pode ter ocorrido também em função do CO_2 da rodocrosita, geralmente outros componentes como cloro, oxigênio, nitrogênio, hidrogênio e gases nobres também podem fazer parte destas perdas.

A identificação da porcentagem de manganês solúvel em ácido sulfúrico apresentada na Tabela 6.3 é importante, principalmente, quando o minério de manganês é matériaprima para síntese de dióxido de manganês por método químico. No caso dos finos de minério de manganês analisados, a porcentagem de manganês solúvel em ácido sulfúrico ficou em torno de 19%, valor este um pouco abaixo dos 22% indicado pela especificação química dos produtos da Unidade Morro da Mina - RDM.

A Tabela 6.4 mostra a coerência entre o resultado de teores, dos principais elementos, por análise química e valores calculados para a amostra global.

Tabela 6.4 - Relação entre a distribuição granulométrica, as análises químicas dos principais elementos e os valores obtidos segundo análise química e através de cálculos para amostra global.

Fra	ação			Teor (%)					
Granulométrica		Dist. Gran	ulométrica						
Mesh	mm	% ret. s.	% ret. ac.	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
+ 35	+0,420	1,75	1,75	22,30	3,65	32,20	9,37	2,55	0,085
+ 48	+0,297	1,94	3,69	20,90	3,61	34,90	9,83	2,57	0,068
+ 65	+ 0,210	3,41	7,10	20,00	3,70	34,90	9,63	2,55	0,062
+ 100	+ 0,149	7,05	14,15	22,50	3,53	37,90	9,37	2,49	0,071
+ 150	+0,105	14,12	28,27	26,00	3,45	33,30	9,97	2,32	0,055
+200	+ 0,074	20,57	48,84	27,70	3,38	28,50	9,61	2,64	0,068
+ 270	+ 0,053	19,79	68,62	29,10	3,36	26,50	9,14	2,68	0,071
+ 325	+ 0,044	8,66	77,28	28,70	3,62	24,90	8,88	2,79	0,089
+400	+ 0,037	9,45	86,74	29,70	3,80	24,00	8,62	2,84	0,100
- 400	- 0,037	13,26	100,00	26,80	3,55	24,60	9,21	2,70	0,097
Am	ostra globa	al (análise q	uímica)	28,30 3,67 28,10 9,3			9,30	2,63	0,080
Α	mostra gl	obal recalcu	ılada	27,04	3,50	28,60	9,34	2,63	0,076

Nota: % ret. s. - porcentagem retida simples % ret. ac.- porcentagem retida acumulada

A Tabela 6.4 mostra a concordância entre os resultados dos teores dos principais elementos segundo análise química com os resultados obtidos através de cálculos.

A relação Mn/Fe, importante dado para os minérios de manganês utilizados na indústria metalúrgica, está dentro das especificações para esta aplicação (relação ideal Mn/Fe \geq 7, mas o valor 6 é aceitável). Melhores relações, ou seja, maiores ou igual a 7, são obtidas nas frações abaixo de 0,210 mm (65 mesh).

Na Tabela 6.5 estão apresentadas as distribuições por faixas granulométricas dos principais elementos e compostos químicos dos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina – RDM.

Tabela 6.5 - Distribuição dos principais elementos e compostos químicos dos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina – RDM.

Fra	ção	Distr	ibuição	Distribuição (%)					
Granulométrica		Granul							
mesh	mm	% ret. s	% pass	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
+ 35	+0,420	1,75	98,25	1,44	1,83	1,97	1,76	1,70	1,96
+ 48	+0,297	1,94	96,31	1,50	2,00	2,37	2,04	1,90	1,74
+ 65	+ 0,210	3,41	92,90	2,52	3,60	4,16	3,52	3,31	2,79
+ 100	+ 0,149	7,05	85,85	5,87	7,11	9,34	7,07	6,68	6,61
+ 150	+0,105	14,12	71,73	13,58	13,92	16,44	15,07	12,47	10,25
+ 200	+0,074	20,57	51,16	21,07	19,86	20,50	21,16	20,68	18,47
+ 270	+ 0,053	19,79	31,38	21,30	19,00	18,34	19,37	20,20	18,55
+ 325	+0,044	8,66	22,72	9,19	8,96	7,54	8,23	9,20	10,17
+400	+ 0,037	9,45	13,26	10,38	10,26	7,93	8,71	10,22	12,48
- 400	- 0,037	13,26	_	13,14	13,45	11,41	13,07	13,63	16,98
	Total			100	100	100	100	100	100

Nota : % ret. s – porcentagem retida simples

% pass. – porcentagem passante

Pela Tabela 6.5 observa-se que 51,16 % da massa encontra-se abaixo de 0,074 mm (-200 mesh). Em termos da distribuição de manganês, nota-se que 55,95% do manganês presente na amostra encontra-se entre 0,105 e 0,053 mm (150 e 270 mesh). A

distribuição do Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO e P para esta mesma faixa granulométrica foi de 52,78; 55,28; 55,60; 53,35 e 47,27 %, respectivamente. Ou seja, mais de 50% de todos os principais elementos e compostos da amostra de finos do minério de manganês da Unidade Morro da Mina – RDM analisados encontram-se distribuídos entre 0,105 e 0,053 mm (150 e 270 mesh).

Para a fração acima de 0,105 mm observa-se menores distribuições dos elementos e compostos maiores analisados, especialmente para a fração granulométrica acima de 0,21mm em que a distribuição de Mn, Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO e P foram de 5,46; 7,43; 8,50; 7,32; 6,91 e 6,49 %, respectivamente (Tabela 6.5). Pela Tabela 6.5, observa-se que 7,10 % da amostra, encontra-se acima de granulométria de 0,210 mm. Isto significa que ao se fazer um corte granulométrico em 0,210 mm descarta-se 7,10 % da massa do "minério" com perdas em termos de manganês de 5,46%.

As distribuições de todos os elementos e compostos analisados para a granulometria abaixo de 0,053 mm (270 mesh) são menores que aquelas das frações entre 0,105 e 0,053 mm e bem maiores que aquelas da faixa granulometrica maior que 0,149 mm (100 mesh), especialmente para a faixa granulométrica acima de 0,210 mm (65 mesh). Ou seja, a distribuição do Mn para a fração menor que 0,053 mm, que corresponde a 31,37 % da massa da amostra, é de 32,71 % (veja Tabela 6.5).

Para melhor entendimento e visualização dos resultados obtidos na Tabela 6.5 foi plotado o gráfico da distribuição dos elementos e compostos em função da granulometria, a Figura 6.2.



Figura 6.2 – Distribuição dos elementos e compostos dos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina – RDM em função do tamanho.

6.1.3. Fracionamento da amostra de finos de minério de manganês

6.1.3.1. Separação em líquido denso

A Tabela 6.6 apresenta a porcentagem em massa presente nos produtos, flutuado e afundado, da separação em bromofórmio, para as diferentes faixas granulométricas. Esta distribuição mostra que 89,22% do material possui densidade maior que 2,89 g/cm³ e o restante, 10,78 %, compõe o produto flutuado, cuja densidade é menor que 2,89 g/cm³.

Tabela 6.6 - Distribuição dos produtos, flutuado e afundado, da separação em meio denso (bromofórmio, d = 2,89 g/cm³), por faixa granulométrica, em amostra representativa dos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM.

Faixa Granulométrica		Pe	so	Flut	uado	Afundado		
mesh	mm	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	
+ 100	+ 0,149	20,69	14,79	5,22	3,73	15,46	11,05	
+ 150	+0,105	19,83	14,17	3,95	2,82	15,88	11,35	
+200	+ 0,074	28,75	20,55	4,99	3,57	23,76	16,98	
+ 270	+ 0,053	27,68	19,78	0,44	0,31	27,24	19,47	
+ 325	+0,044	12,32	8,81	0,17	0,12	12,15	8,68	
+400	+ 0,037	13,39	9,57	0,15	0,11	13,24	9,46	
- 400	- 0,037	17,26	12,34	0,16	0,11	17,10	12,22	
Tot	tal	139,92	100,00	_	10,78	_	89,22	

As Tabelas 6.7, 6.8 e 6.9 apresentam o teor de manganês e dos principais elementos e compostos identificados por análise química e a distribuição de manganês e das impurezas nos produtos (flutuado e afundado) da separação em meio denso da amostra global e por faixa granulométrica dos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM.

Tabela 6.7 - Distribuição do manganês nos produtos flutuado e afundado da separação, usando bromofórmio, da amostra global dos finos do minério de manganês da Unidade Morro da Mina – RDM.

Prod.	%		Teor (%)						Distribuição (%)				
	massa	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Flut.	6,71	11,02	3,41	61,31	10,80	1,46	0,104	2,57	6,35	14,44	7,57	3,85	6,83
Afund	93,29	29,99	3,62	26,13	9,52	2,62	0,102	97,43	93,65	85,56	92,46	96,15	93,1
Total	100	28,72	3,61	28,49	9,61	2,54	0,102	100	100	100	100	100	100

Nota: Flut. – Flutuado; Afund - Afundado

Observa-se pela Tabela 6.7 que o teor de manganês (11,02%) no produto flutuado que corresponde a uma distribuição de 2,57% deste elemento (densidade menor que 2,89 g/cm³) é muito inferior ao teor de 29,99 % no produto afundado, que corresponde a uma distribuição de 97,43% do referido elemento químico. Estes valores indicam que os minerais portadores de manganês encontram-se preferencialmente no produto de densidade maior que 2,89 g/cm³, o afundado.

A Tabela 6.8 fornece uma idéia da liberação dos minerais de manganês, em relação aos minerais de ganga, analisando a distribuição do elemento manganês nos produtos flutuado e afundado nas diferentes faixas granulométricas. Pode ser observado que há uma correlação entre o teor de manganês, a distribuição granulométrica, os 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 aparecem apresentar considerável grau de liberação. Pela análise da Tabela 6.8, a seguir, fica claro que a liberação dos minerais de manganês cresce com a diminuição da granulometria. Para a faixa granulométrica entre 0,149 e 0,074 mm (100 e 200 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. De qualquer forma, pode-se afirmar que os minerais de manganês já estão satisfatoriamente liberados.

Tabela 6.8 – Distribuição do manganês nos produtos (flutuado e afundado) das diferentes faixas granulométricas dos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina – RDM, usando bromofórmio (densidade 2,89 g/cm³).

Faiz Granuloi	xa métrica													
		Produto	Peso (%)	Teor de	Distribuição de									
mesh	mm			Mn (%)	Mn (%)									
		Flutuado	25,25	7,51	7,87									
+ 100	+ 0,149	Afundado	74,75	29,71	92,13									
		Total	100,00	24,10	100,00									
		Flutuado	19,90	6,59	5,11									
+ 150	+ 0,105	Afundado	80,10	30,38	94,89									
		Total	100,00	25,65	100,00									
		Flutuado	17,35	22,46	13,18									
+ 200	+ 0,074	Afundado	82,65	31,07	86,82									
		Total	100,00	29,58	100,00									
		Flutuado	1,59	27,09	1,41									
+ 270	+ 0,053	Afundado	98,41	30,55	98,59									
		Total	100,00	30,49	100,00									
		Flutuado	1,39	25,73	1,17									
+ 325	+ 0,044	Afundado	98,61	30,34	98,83									
		Total	100,00	30,27	100,00									
		Flutuado	1,13	28,65	1,07									
+ 400	+ 0,037	Afundado	98,87	30,23	98,93									
		Total	100,00	30,21	100,00									
		Flutuado	0,92	26,14	0,81									
- 400	- 0,037	Afundado	99,08	29,75	99,19									
		Total	100,00	29,72	100,00									
Faixa Granulométrica		Produto	Peso			Teor (%)			Distribuição (%)					
-------------------------	---------	----------	--------	------------------	------	-----------	------	-------	------------------	--------	--------------------------------	--------	--------	--
mesh	mm	Tioduto	(%)	SiO ₂	Fe	Al_2O_3	CaO	Р	SiO ₂	Fe	Al ₂ O ₃	CaO	Р	
mesn	IIIII	Flutuado	25.25	59.02	3 86	11.80	1 24	0.099	42.77	23.43	30.02	13.92	31.13	
+ 100	+0,149	Afundado	74 75	26.68	4 26	0.20	2 50	0.074	57.23	76.57	60.08	86.08	68.87	
		Total	100.00	34.84	4,20	9.92	2,37	0.080	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
		Flutuado	19,90	59,98	3,21	10,11	1,33	0,089	36,12	18,26	20,38	11,72	35,60	
+ 150	+ 0,105	Afundado	80,10	26,35	3,71	9,71	2,49	0,040	63,88	81,74	79,62	88,28	64,40	
		Total	100,00	33,04	3,61	9,79	2,26	0,050	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
		Total	100,00	26,23	3,60	9,06	2,86	0,103	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
. 200	+ 0,074	Flutuado	17,35	33,73	3,51	9,41	2,28	0,102	20,59	18,39	16,18	15,97	23,95	
+ 200		Afundado	82,65	27,31	3,27	10,23	2,53	0,068	79,41	81,61	83,82	84,03	76,05	
		Total	100,00	28,42	3,31	10,09	2,49	0,074	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
+ 270	+ 0.053	Flutuado	1,59	26,45	3,31	8,44	2,79	0,111	1,62	1,52	1,40	1,64	2,57	
+ 270	+ 0,055	Afundado	98,41	26,03	3,46	9,57	2,71	0,047	98,38	98,48	98,60	98,36	97,43	
		Total	100,00	26,04	3,46	9,55	2,71	0,048	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
. 225	. 0.044	Flutuado	1,39	25,03	3,31	7,94	2,73	0,118	1,32	1,27	1,21	1,32	1,58	
+ 325	+ 0,044	Afundado	98,61	26,25	3,61	9,08	2,86	0,103	98,68	98,73	98,79	98,68	98,42	
+ 400	+0.037	Flutuado	1,13	19,39	3,67	8,73	2,76	0,158	0,93	1,10	1,16	1,11	1,62	
1 400	1 0,037	Afundado	98,87	23,68	3,78	8,48	2,81	0,110	99,07	98,90	98,84	98,89	98,38	
		Total	100,00	23,63	3,78	8,48	2,81	0,110	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
- 400	- 0.037	Flutuado	0,92	27,27	4,53	9,37	2,81	0,116	1,04	0,98	0,94	0,98	0,80	
	0,007	Afundado	99,08	24,40	4,25	9,17	2,63	0,134	98,96	99,02	99,06	99,02	99,20	
		Total	100,00	24,43	4,25	9,17	2,63	0,133	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

Tabela 6.9 - Distribuição das principais impurezas identificadas por análises química nos produtos (flutuado e afundado) das diferentes faixas granulométricas dos finos de minério .de manganês da Unidade Morro da Mina –RDM.

A Tabela 6.9 mostra, os resultados das análises químicas dos teores e distribuição dos demais elementos químicos presentes nos produtos da separação em bromofórmio das diversas faixas granulométricas. Para todos os elementos analisados, observou-se que as frações granulométricas entre 0,149 e 0,074 mm (100 e 200 mesh) apresentavam porcentagens significativamente maiores, em termos de distribuição dos mesmos, no produto flutuado, que os de manganês encontrados nestas mesmas frações. Mas assim como o manganês para as frações menores que 0,074 mm (200 mesh) uma porcentagem muito pequena, em termos de distribuição, destes elementos encontrava-se no flutuado.

6.1.3.2. Separação magnética de alta intensidade

Os resultados obtidos através dos ensaios de separação magnética de alta intensidade, realizados com a amostra global estão apresentados nas Tabelas 6.10 e 6.11.

Tabela 6.10 - Teores e distribuições de constituintes da amostra global dos finos de minério de manganês nas diferentes frações obtidas com o separador magnético, operando com intensidade de corrente igual a 4A.

	Р	eso	Т	'eor (%))	Distribuição(%)			
Produto	(g)	(%)	Mn	Fe	SiO ₂	Mn	Fe	SiO ₂	
Magnético	75	15,63	31,55	4,10	21,95	17,36	17,42	11,71	
Não - Magnético	405	84,37	27,81	3,60	30,65	82,63	82,58	88,29	
Alimentação									
recalculada	480	100,00	28,39	3,68	29,29	100,00	100,00	100,00	

Tabela 6.11- Teores e distribuições de constituintes da amostra global dos finos de minério de manganês nas diferentes frações obtidas com o separador magnético, operando com intensidade de corrente igual a 7A.

	Pe	eso	Т	eor (%)	Distribuição (%)			
Produto	(g)	(%)	Mn	Fe	SiO ₂	Mn	Fe	SiO ₂	
Magnético	115	23,47	32,20	4,17	25,38	26,43	27,39	22,02	
Não - Magnético	375	76,53	27,49	3,39	27,57	73,57	72,61	77,98	
Alimentação									
recalculada	490	100,00	28,60	3,57	27,06	100,00	100,00	100,00	

Os resultados obtidos confirmam a baixa susceptibilidade magnética dos minerais de manganês presentes na amostra global, uma vez que apenas 17,36 % do manganês presente na amostra ficou retido na fração magnética, quando utilizou-se intensidade de corrente igual a 4 A, e um pouco mais, 26,43 %, quando foi usado maior intensidade de corrente, igual a 7 A. Em ambos os ensaios não houve variação significativa ou desfavorável em nenhuma das frações (magnético ou não magnético) para relação Mn/Fe.

Mesmo nesta separação de alta intensidade, não foi possível separar os minerais portadores de manganês, fracamente magnéticos, da ganga silicosa. Como pode ser visto nas Tabelas 6.10 e 6.11, grande parte da sílica encontra-se na fração não - magnética assim como o manganês. É importante salientar que um dos minerais de manganês, a espessartina, trata-se de um silicato.

6.1.4. Caracterização mineralógica

Nas Figuras 6.3, 6.4 e 6.5, são apresentados os difratogramas da amostra global, e dos produtos da separação em bromofórmio, flutuado e afundado, respectivamente, desta amostra.

As Figuras 6.6, 6.7, 6.8 e 6.9, apresentam os difratogramas dos produtos, frações magnéticas e não – magnéticas dos finos de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM, da separação magnética utilizando corrente igual a 4 e 7 A.

De uma maneira resumida os minerais identificados na amostra global dos finos do minério de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM, nos produtos dos ensaios de separação em líquido denso (bromofórmio), flutuado e afundado, e nos produtos magnéticos e não-magnéticos da separação magnética em diferentes intensidades de corrente (4A e 7A), estão apresentados na Tabela 6.12.



Figura 6.3 – Difratograma da amostra global dos finos do minério de manganês da Unidade Morro da Mina -RDM.



Figura 6.4 – Difratograma da parcela flutuada, produto da separação em bromofómio, da amostra global.



Figura 6.5 – Difratograma da parcela afundada, produto da separação em bromofómio, da amostra global.



Figura 6.6 - Difratograma da fração magnética do ensaio em separador magnético, com intensidade de corrente igual a 4 A, realizado com a amostra global dos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina.



Figura 6.7 - Difratograma da fração não-magnética do ensaio em separador magnético, com intensidade de corrente igual a 4 A, realizado com a amostra global dos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina-RDM.



Figura 6.8 - Difratograma da fração magnética do ensaio em separador magnético, com intensidade de corrente igual a 7 A, realizado com a amostra global dos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM.



Figura 6.9 - Difratograma da fração não-magnética do ensaio em separador magnético, com intensidade de corrente igual a 7 A, realizado com a amostra global dos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM.

Tabela 6.12 – Composição mineralógica da amostra global, dos produtos flutuado e afundado da separação em líquido denso e dos produtos magnéticos e não magnéticos da separação magnética, em diferentes intensidades de corrente (4A e 7A), dos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM.

							Não		Não
Mineral	Fórmula Química	Densid.	Global	Flutuado	Afundado	Magnético	Magnético	Magnético	Magnético
						4 A	4A	7A	7A
Rodocrosita	MnCO ₃	3,5-3,7	X	X	Х	Х	X	X	X
Espessartina	$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$	4,19	X		Х	Х	X	X	X
Quartzo	SiO ₂	2,65	X	X			X		X
Huntita	Mg ₃ Ca(CO ₃) ₄	2,69	X		Х	Х	X	X	
Anita	$K_2(Fe,Mn,Mg)_5Si_8O_{20}(OH,F)_4$	3,17	X		Х		X		X
Flogopita	$KMg_3(AlSi_3O_{10})F_2$	2,86	X	X	Х	Х	X	X	X
Clinocloro	(Mg ₅ Al)(Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	2,5-2,7	X	Х	Х	X	X	X	X
Rutilo	TiO ₂	4,15	X	X					

Nota:Densid.–Densidade

De acordo com a Tabela 6.12 a amostra global de finos de minério de manganês proveniente da Unidade Morro da Mina é constituída, essencialmente, pelos minerais de manganês rodocrosita e espessartina. A rodocrosita um carbonato de manganês e a espessartina um silicato de manganês. Há ainda 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.

Os minerais espessartina (d=4,19 g/cm³) e anita (d=3,17 g/cm³) não foram identificados no flutuado, isto pode ser justificado devido a sua maior densidade quando comparado com a bromofórmio (d=2,89 g/cm³) utilizado para o fracionamento da amostra. Já no afundado estes minerais foram identificados.

A huntita (2,69 g/cm³) apesar de ter menor densidade que a do líquido denso utilizado na separação, não foi identificada no flutuado, o que talvez indique a associação deste com outras espécies minerais que compõem o afundado. Há também a possibilidade de que outros minerais em maior proporção ou granulometria estivessem arrastando, para o afundado, este mineral.

O principal mineral portador de CaO identificado na amostra global foi a huntita e como pode ser visto anteriormente a huntita só foi identificada no afundado. Isto justifica o teor quase duas vezes maior do óxido de cálcio e a grande porcentagem do mesmo segundo a distribuição da Tabela 6.9 na fração afundada.

O rutilo foi identificado no flutuado, mas não era esperada sua identificação neste produto, uma vez que este mineral tem densidade igual a 4,15 g/cm³, valor muito maior que a densidade do bromofórmio, provavelmente o mesmo esteja associado a outros minerais (partículas mistas) como foi o caso da huntita ou ainda, tenha sido arrastado por outros minerais de maior granulometria ou proporção para este produto.

O quartzo não foi detectado na parcela da amostra que afundou em bromofórmio, o que já era esperado, uma vez que a densidade do quartzo $(d=2,65 \text{ g/cm}^3)$ é menor que a densidade do líquido denso, sendo portanto, identificado apenas no flutuado.

Os resultados da Tabela 6.9, foram desta forma confirmados, esta tabela mostra que o teor de sílica no flutuado é pelo menos duas vezes maior que no afundado, isto porque o principal mineral portador de sílica, o quartzo se encontra nesta fração.

A flogopita (d=2,86 g/cm³) e o clinocloro (d=2,55-2,75 g/cm³) foram identificados no flutuado e afundado, talvez a separação destes minerais em apenas uma das fases não tenha sido possível devido à proximidade de sua densidade com a do líquido denso utilizado.

O carbonato de manganês, rodocrosita ($d=3,5-3,7g/cm^3$), foi identificado nos dois produtos (flutuado e afundado), talvez por estar associada a outros minerais ou arrastada para estes produtos por outros minerais em maior proporção ou granulometria.

Um dos resultados da Tabela 6.8 que pode ser justificado é o maior teor de manganês no afundado, o maior teor deste elemento nesta fração se deve a presença dos dois minerais de manganês identificados na amostra global nesta fração.

Pode ser observado, através dos difratogramas apresentados nas Figuras 6.6, 6.7, 6.8 e 6.9, e na Tabela 6.12, que para ambos os ensaios, com intensidade de corrente igual a 4 e 7 A, os minerais identificados nos produtos magnéticos foram os mesmos. Mas para a fração não-magnética, estes produtos são diferentes, quando o ensaio foi realizado utilizando intensidade de corrente igual a 4 A, além de todos os minerais identificados em comum com o ensaio onde se utilizou corrente igual a 7 A, havia a presença do mineral huntita. No ensaio com corrente 7 A, a huntita parece ter ficado toda retida na fração magnética, devido a maior intensidade do campo quando comparado ao outro ensaio com corrente igual a 4 A.

6.1.5. Determinação de propriedades físicas da amostra global

6.1.5.1. Densidade da amostra

Através dos ensaios realizados em triplicata, utilizando o método do picnômetro, descrito no Apêndice I, foi encontrado um valor médio de densidade igual a 2,9. A confirmação do resultado foi obtida pelo método de análise de densidade utilizando o Multi picnômetro a hélio, após realização de dez leituras de densidade obteve-se por

este equipamento um valor médio de densidade igual a 3,0. Desta forma a densidade destes resíduos de minério de manganês proveniente da Unidade Morro da Mina pode ser considerada igual a 3,0.

6.1.5.2. Determinação da área superficial da amostra global - Técnica BET

A Tabela 6.13 apresenta os principais resultados relacionados a área superficial e porosidade obtidos pela técnica BET.

Tabela 6.13 – Principais parâmetros definidos pela técnica BET para a amostra de finos de manganês da Unidade Morro da Mina – RDM.

Amostra	Superfície Específica (m²/g)	Volume total dos poros (cm ³ /g)	Tamanho Máximo dos Poros (Å)	Diâmetro Médio de Poros (Å)	Volume dos microporos (cm ³ /g)	Área dos Microporos (m²/g)
Amostra Global	3,960	7,807	1374,1	7,886	1,669	4,725

Os dados obtidos pela técnica BET, superfície específica e porosidade são parâmetros importantes para vários processos industriais, tais como para fabricação de pilha, na indústria siderúrgica e em processos de aglomeração.

A determinação da superfície específica é considerada importante na utilização de minérios de manganês na fabricação de pilhas, como já foi dito anteriormente. Por exemplo, no caso do MnO_2 para fins eletrolíticos, este deve ter segundo especificações área superficial variando entre $40 - 50 \text{ m}^2/\text{g}$.

Como pode ser visto na Tabela 6.13, a área superficial dos finos de minério de manganês foi de 3,96 m²/g, bem inferior ao valor da especificação do MnO_2 . É importante ter em mãos dados como superfície específica e porosidade, deste minério de manganês, no caso da utilização do mesmo como matéria-prima em processos de sintetização do dióxido de manganês ou em outros processos onde estes parâmetros são importantes, porém há de se salientar que os minerais de manganês (rodocrosita e espessartina) identificados na amostra de finos de manganês da Unidade Morro da

Mina – RDM, estão associados a diversos outros minerais identificados na difração de raios X, o que pode significar uma variação na área específica de cada mineral individualmente.

6.2. Ensaios Tecnológicos

Para uma melhor vizualização dos resultados dos ensaios tecnológicos (concentração e classificação), os mesmos serão apresentados preferencialmente na forma de gráficos. No Apêndice III estão os balanços de massas e metalúrgicos que deram origem aos gráficos.

6.2.1. Concentração em mesa oscilatória

Os grãos minerais devem estar inteiramente individualizados para responderem com eficiência aos processos de concentração gravíticos. E de acordo com os resultados dos estudos de liberação do item 6.1.3.1 a liberação dos minerais de manganês parece satisfatória para utilização dos equipamentos gravíticos previstos.

As Figuras 6.10, 6.11 e 6.12, apresentam os gráficos de variação das porcentagens de sólidos na polpa em função da recuperação metalúrgica e do teor de manganês no concentrado para as diferentes frações granulométricas (global, + 0,074 mm e - 0,074 mm), com ângulo de inclinação da mesa igual a 5°.



Figura 6.10 – Influência da porcentagem de sólidos na polpa sobre a recuperação metalúrgica e teor de manganês da amostra global, para o ângulo de .inclinação igual a 5°. Teor de Mn na alimentação: 28,3%



Figura 6.11 – Influência da porcentagem de sólidos na polpa sobre a recuperação metalúrgica e teor de manganês para fração granulométrica + 0,074 mm, para ângulo de inclinação igual a 5°. Teor de Mn na alimentação: 26,8%



Figura 6.12 – Influência da porcentagem de sólidos na polpa sobre a recuperação metalúrgica e teor de manganês para fração granulométrica - 0,074 mm, para ângulo de inclinação igual a 5°. Teor de Mn na alimentação: 31,3%

Pela Figura 6.10, observa-se claramente a diminuição da recuperação de manganês com o aumento da porcentagem de sólidos na polpa para a amostra global nos ensaios com a mesa com ângulo de inclinação igual a 5°. A recuperação de manganês caiu de aproximadamente 59% para aproximadamente 36 % para porcentagem de sólidos igual a 35%, ou seja, houve uma queda de 23%. Em termos de teor de manganês nos concentrados, observa-se que não houve variação significativa, o mesmo variou de 32 a 33%.

O comportamento da recuperação de manganês em função da porcentagem de sólidos para os ensaios com a fração granulométrica acima de 0,074 mm (+ 200 mesh) teve a mesma tendência do que foi observado para a amostra global, ou seja, houve decréscimo da mesma com o aumento da porcentagem de sólidos. Porém, este decréscimo não foi tão acentuado como o que ocorreu com a amostra global. Nestes ensaios a recuperação de manganês caiu de aproximadamente 47 % (15% de sólidos na polpa) para 35% (35 % de sólidos na polpa) representando uma queda de 12%. Neste

caso os teores dos concentrados obtidos para todos os ensaios ficaram em torno de 32 % de manganês, veja Figura 6.13.

As recuperações de manganês para a fração abaixo de 0,074 mm (- 200 mesh) foi bem menor que os valores obtidos para a amostra global e para a fração granulométrica maior que 0,074 mm (+ 200 mesh) para todos os testes com mesa com ângulo igual a 5°. O que já era de se esperar uma vez que a faixa granulométrica de aplicabilidade de maior eficiência do equipamento (mesa oscilatória) varia de 1,18 a 0,074 mm (14 a 200 mesh). Mas, como nos casos anteriores (global e + 0,074 mm) permaneceu a tendência de queda na recuperação de manganês com aumento da porcentagem de sólidos na polpa, a recuperação de 38 % quando se tinha 15 % de sólidos passou a 12 % nos ensaios com 35 % de sólidos na polpa. Houve pouca influência nos teores de manganês nos concentrados, em torno de 32,5 %, veja Figura 6.15.

De uma maneira geral pode-se dizer que não ocorreu grande enriquecimento do minério através destes ensaios, pois o teor de manganês no concentrado ficou em torno de 32 % para todas as faixas granulométricas. O teor de manganês da alimentação (amostra global, + 0,074 e -0,074 mm) era de 28,3; 26,8 e 31,3 %, respectivamente.

Nas Figuras 6.13, 6.14 e 6.15 estão apresentados os gráficos dos teores das principais impurezas nos concentrados em função da variação da porcentagem de sólidos, para a amostra global e as faixas granulométricas + 0,074 mm e – 0,074 mm, respectivamente, para os ensaios com a inclinação da mesa igual a 5°.



Figura 6.13 – Teores das principais impurezas nos concentrados em função das diferentes porcentagens de sólidos na polpa nos ensaios realizados com amostra global, com ângulo de inclinação igual a 5°.



Figura 6.14 – Teores das principais impurezas nos concentrados em função das diferentes porcentagens de sólidos na polpa nos ensaios realizados com a fração +0,074 mm, com ângulo de inclinação igual a 5°.



Figura 6.15 – Teores das principais impurezas nos concentrados em função das diferentes porcentagens de sólidos na polpa nos ensaios realizados com a fração -0,074 mm, com ângulo de inclinação igual a 5°.

Como pode ser visto na Figura 6.13, para a amostra global o teor de todas as impurezas analisadas, Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO e P, se mantiveram praticamente constantes, não havendo variações significativas, com a variação de porcentagens de sólidos na polpa.O teor médio das impurezas Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO e P nos concentrados, ficaram em torno de 3,6; 25,9; 11,4; 2,1; 0,07%, respectivamente. Outra importante observação é a diminuição do teor de SiO₂ e P, após os ensaios de concentração, que foi de 26 e 0,07 % respectivamente, quando comparado aos teores destas mesmas impurezas na alimentação que foi de 28 % e 0,1 % , apresentando um pequeno, mas significativo decréscimo do teor destas impurezas.

O mesmo comportamento foi observado nos ensaios utilizando as faixas granulométricas + 0,074 e - 0,074mm. Ou seja, não ocorreram grandes variações dos teores das impurezas nos concentrados em função da variação da porcentagem de sólidos na polpa.

Conforme pode ser visto na Figura 6.14, para os ensaios em mesa oscilatória com inclinação igual a 5°, usando a faixa granulométrica + 0,074 mm, o teor das impurezas

Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO e P nos concentrados, ficaram em torno de 3,5; 28; 12,9; 2,1; 0,09 %, respectivamente. Para estes ensaios não foi observado decréscimo significativo dos teores das impurezas nos concentrados quando comparados aos teores iniciais apresentados na alimentação, 3,5; 29; 2,3; 10; 0,09 %, respectivamente. Nestes ensaios foi observado, maior teor de Al₂O₃ no concentrado dos ensaios do que o na alimentação que ficou em torno de 10 %.

Para os ensaios com a faixa granulométrica – 0,074 mm o teor das impurezas Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO e P no concentrado, ficou em torno de 3,6; 27,0; 13,0; 2,2; 0,08 %, respectivamente (veja Figura 6.15). Nestes ensaios, ao contrário do que ocorreu para os ensaios anteriores (amostra global e + 0,074 mm), ocorreu um aumento significativo do teor de SiO₂ no concentrado, quando comparado ao valor inicial desta impureza na alimentação que ficou em torno de 23%. Foi observado também, maior teor de Al₂O₃ no concentrado dos ensaios em mesa com inclinação de 5° do que na alimentação com teor deste composto em torno de 9,0 %. Este maior teor de Al₂O₃ no concentrado pode ser devido a presença de um concentrado enriquecido em espessartina.

Finalmente, pode-se afirmar que para todos os ensaios realizados na mesa oscilatória com ângulo de 5°, os valores das especificações químicas dos produtos da RDM, apresentados na Tabela 4.5 ($Mn_{min.}$ -23 %, Fe_{máx.}- 6 % e SiO_{2 máx.} – 35 %), foram alcançados. Ou seja, os teores de Fe e SiO₂ no concentrado, ficaram sempre abaixo dos valores máximos admitidos e os teores de manganês sempre maiores que os valores mínimos mencionados nesta mesma tabela.

Quanto a variável porcentagem de sólidos, os melhores resultados para todas as faixas granulométricas foram obtidos com 15 % de sólidos na polpa para os ensaios com ângulo inclinação da mesa igual a 5°. A recuperação de Mn para a amostra global, +0,074 e - 0,074 mm, foi de 59, 47 e 38 %, respectivamente e os teores de Mn ficaram em torno de 32 % e os teores das principais impurezas dentro das especificações dos produtos da Unidade Morro da Mina – RDM. Por este motivo os ensaios posteriores com ângulo de inclinação igual a 3° foram realizados apenas com 15% de sólidos na polpa.

A Figura 6.16 apresenta o gráfico de recuperação metalúrgica e teor de manganês em função das diferentes frações granulométricas com 15% de sólidos na polpa, e com ângulo de inclinação da mesa igual a 3°.



Figura 6.16 - Recuperação metalúrgica e teor de manganês nos concentrados para as diferentes frações granulométricas com 15% de sólidos na polpa e ângulo de inclinação igual a 3°.

Com a mudança do ângulo de inclinação da mesa de 5° para 3°, nota-se a grande diferença na concentração que esta variação pode acarretar. Com ângulo de inclinação igual a 3° a recuperação de manganês, para todas as faixas granulométricas testadas, mostrou – se sempre maior que a recuperação nos ensaios com a mesa com ângulo de inclinação de 5°, chegando a 77, 81 e 62 %, para as amostras global, + 0,074 mm e -0,074mm, respectivamente. Ou seja, acréscimos de 20, 33 e 24 %, respectivamente para as amostras ensaiadas (global, + 0,074 mm e - 0,074 mm). Os resultados da Figura 6.16 podem ser comparados com os das Figuras 6.10; 6.11 e 6.12.

A recuperação metalúrgica para os ensaios com a fração +0,074 mm foi um pouco maior quando comparada à recuperação da amostra global, mas a diferença aqui também foi muito pequena ficando em torno de 4,68 %.

Nestes ensaios, com a mesa com ângulo de 3° , o teor de manganês ficou em torno de 31,50 %, o que mostra que também não houve grande enriquecimento. Já que segundo análise química, antes de passar por este processo de concentração o teor de manganês na fração global, +0,074 mm e -0,074 mm, era respectivamente, 28,30 %, 26,84 e 31,31%. Porém, há de se ressaltar que o teor de manganês em todas as faixas granulométricas estudadas encontra-se bem acima das especificações dos produtos de minério de manganês sílico carbonatado fino - Tipo2 e o minério de manganês sílico carbonatado fino - Tipo 3.

A Figura 6.17 apresenta o gráfico dos teores das principais impurezas presentes no concentrado em função das diferentes frações granulométricas com 15% de sólidos na polpa, e com ângulo de inclinação da mesa igual a 3°.



Figura 6.17 – Teores das impurezas nos concentrados das diferentes frações granulométricas (amostra global, +0,074 e –0,074 mm) com 15% de sólidos na polpa e ângulo de inclinação igual a 3°.

Conforme pode ser visto na Figura 6.17, não houve grandes variações nos teores das impurezas analisadas, Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO e P, nos ensaios com as diferentes frações granulométricas devido a mudança do ângulo de inclinação da mesa de 5° para 3°. Para a amostra global o teor das impurezas Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO e P no concentrado, foi de 3,5; 27,0; 10,3; 2,4; 0,07%, respectivamente. Nos ensaios na mesa oscilatória com

ângulo de inclinação 3°, assim como os ensaios realizados com ângulo de inclinação 5°, pode ser observado um pequeno decréscimo do teor de SiO₂, após os ensaios de concentração, quando comparado aos teores destas mesmas impurezas na alimentação que foi de 28 %. O inverso ocorreu para a impureza Al_2O_3 , com maior teor no concentrado, cerca de 10,3 %, do que o valor observado na alimentação que ficou em torno de 9,0 %.

Para os ensaios em mesa oscilatória com inclinação igual a 3° , usando a faixa granulométrica + 0,074 mm, o teor das impurezas Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO e P no concentrado, ficaram em torno de 3,5; 29; 10,6; 2,3; 0,04 %, respectivamente. Para estes ensaios não foi observado decréscimo significativo dos teores das impurezas no concentrado quando comparado aos teores iniciais apresentados na alimentação, em torno de 3,6; 28,8; 10,2; 2,3; 0,05 %, respectivamente, assim como para os ensaios utilizando esta mesma faixa granulométrica, mas com o ângulo de inclinação da mesa igual a 5°. Nestes ensaios não foi observado, maior teor de Al₂O₃ no concentrado do que o na alimentação que ficou também em torno de 10 %.

Para os ensaios com a faixa granulométrica -0,074 mm o teor das impurezas Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO e P no concentrado, ficou em torno de 3,6; 25,3; 11,3; 2,3; 0,05 %, respectivamente (veja Figura 6.17). Assim como nos ensaios anteriores (amostra global e +0,074 mm), não ocorreu variação significativa do teor de SiO₂ no concentrado, quando comparado ao valor inicial desta impureza na alimentação que também ficou em torno de 25%. Foi observado também, assim como para os ensaios com a amostra global, maior teor de Al₂O₃ no concentrado do que na alimentação, com teor deste composto em torno de 9,0 % .

Pelo exposto anteriormente, é possível afirmar que para todos os ensaios realizados na mesa oscilatória com ângulo de inclinação de 3° , os valores das especificações químicas dos produtos da RDM, apresentados na Tabela 4.5, foram alcançados. Ou seja, os teores de Fe e SiO₂ no concentrado, ficaram sempre abaixo dos valores máximos admitidos e os teores de manganês sempre maiores que os valores mínimos mencionados naquela mesma tabela.

Para todos os ensaios realizados na mesa oscilatória, com ângulo de inclinação da mesa igual a 5° e 3°, foram obtidos concentrados com relação Mn/Fe na faixa de 8 a 10, como pode ser visto nas tabelas do Apêndice III. As relações obtidas são, portanto, adequadas para o uso do minério de manganês para fins metalúrgicos, que exige relação Mn/Fe maior ou igual a 7.

6.2.2. Espiral de Humphreys

Na espiral de Humphreys a separação ocorreu relativamente rápida, logo nas duas primeiras voltas já foi possível observar a separação, isto é, o concentrado sendo retirado nas aberturas destas duas primeiras voltas. Perdeu–se uma grande parcela de massa da amostra que iria para o concentrado, isto porque uma das aberturas da última volta do equipamento estava coberta por uma chapa metálica. As Figuras 6.18, 6.19 e 6.20, apresentam os gráficos da influência das porcentagens de sólidos na polpa sobre a recuperação metalúrgica e teor de manganês para as diferentes frações granulométricas, na espiral de Humphreys.



Figura 6.18 - Influência da variação da porcentagem de sólidos na polpa sobre a recuperação metalúrgica e teor de manganês para amostra global, usando a espiral de Humphreys. Teor de Mn na alimentação: 28,3%



Figura 6.19 –Influência da variação da porcentagem de sólidos na polpa sobre a recuperação metalúrgica e teor de manganês para fração granulométrica +0,074 mm, usando a espiral de Humphreys. Teor de Mn na alimentação: 26,8%



Figura 6.20– Influência da variação da porcentagem de sólidos na polpa sobre a recuperação metalúrgica e teor de manganês para fração granulométrica -0,074 mm, usando a espiral de Humphreys. Teor de Mn na alimentação: 31,3%

Para os ensaios com amostra global, veja Figura 6.18, a recuperação de manganês caiu de aproximadamente 57 % nos ensaios com 15% de sólido na polpa para 46 % para porcentagem de sólidos na polpa igual a 30 %, representando decréscimo de 11 %. Em termos de teor de manganês nos concentrados, observa-se que não houve variação significativa, o mesmo variou de aproximadamente 30 a 33 %.

Pela Figura 6.19, observa-se o aumento da recuperação de manganês com o aumento da porcentagem de sólidos na polpa para a fração + 0,074 mm no ensaio na espiral. A recuperação de manganês aumentou de aproximadamente 70 % para aproximadamente 79 % para porcentagem de sólidos igual a 30 %, ou seja, houve um significativo acréscimo de 9 % na recuperação. Em termos de teor de manganês nos concentrados, observa-se que não houve variação significativa, o mesmo variou de 30 a 32 %, acima das especificações dos produtos sílico carbonatado fino Tipo 1 e 2 da Unidade Morro da Mina – RDM, veja Tabela 4.5.

Os ensaios de concentração para a fração granulométrica - 0,074mm apresentaram decréscimo da eficiência do equipamento quando comparado com as outras frações (+ 0,074 mm e global) testadas, o que pode ser explicado, devido ao fato de a faixa

granulométrica de aplicabilidade de maior eficiência da espiral de Humphreys variar de 3 a 0,074 mm (8 a 200 mesh). Como pode ser visto na Figura 6.20, assim como para os ensaios com a amostra global, ocorreu uma tendência de queda na recuperação com aumento da porcentagem de sólidos na polpa, queda de 25 % de recuperação de manganês da porcentagem de sólidos de 15 % (recuperação de manganês de 51 %) para a porcentagem de sólidos de 30% (recuperação de manganês de 26 %), um decréscimo bastante acentuado, quando comparado ao da amostra global. Neste caso, os teores de manganês dos concentrados obtidos para os ensaios variaram entre 31 e 33% .

Os melhores resultados de concentração foram obtidos para a fração + 0,074mm (+200 mesh) e ao contrário das outras duas faixas granulométricas ensaiadas, quanto maior a porcentagem de sólidos na polpa maior a recuperação de manganês no concentrado da fração + 0,074 mm.

As Figuras 6.21, 6.22 e 6.23 apresentam os gráficos dos teores das principais impurezas presentes nos concentrados em função da variação de porcentagem de sólidos, para a amostra global e as faixas granulométricas +0,074 mm e –0,074 mm, respectivamente, para os ensaios na espiral de Humphreys.



Figura 6.21 – Teores das principais impurezas nos concentrados em função das diferentes porcentagens de sólidos na polpa nos ensaios com a amostra global, na espiral de Humphreys.



Figura 6.22 – Teores das principais impurezas nos concentrados em função das diferentes porcentagens de sólidos na polpa nos ensaios com fração granulométrica +0,074 mm, na espiral de Humphreys.



Figura 6.23 – Teores das principais impurezas nos concentrados em função das diferentes porcentagens de sólidos na polpa nos ensaios com fração granulométrica -0,074 mm, na espiral de Humphreys.

Como pode ser visto na Figura 6.21, para a amostra global o teor das impurezas no concentrado, Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO e P, se mantiveram praticamente constantes, não havendo variações significativas, com a variação de porcentagens de sólidos na polpa.O teor médio das impurezas Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO e P no concentrado, ficou em torno de 3,5; 24,4; 10,6; 2,3; 0,08 %, respectivamente. Outra importante observação é a diminuição do teor de SiO₂ e P, após os ensaios de concentração, quando comparado aos teores destas mesmas impurezas na alimentação que foi de cerca de 28 % e 0,1 %, apresentando um pequeno, mas significativo decréscimo do teor das mesmas. O inverso ocorre para a impureza Al₂O₃, com maior teor no concentrado do que o valor observado na alimentação, que ficou em torno de 9,4 %. O mesmo comportamento foi observado nos ensaios utilizando as faixas granulométricas +0,074 e -0,074 mm. Ou seja, não ocorreram grandes variações nos teores das impurezas nos concentrados em função da variação da porcentagem de sólidos na polpa.

De acordo com Figura 6.22, para os ensaios realizados com a faixa granulométrica +0,074 mm na espiral de Humphreys, o teor das impurezas Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO e P no concentrado, ficou em torno de 3,4; 26,5; 10,3; 2,4; 0,09 %, respectivamente. Para estes ensaios foi observado um pequeno decréscimo, mas significativo, nos teores de SiO₂ no concentrado quando comparado aos teores iniciais, que era de cerca de 28 %, apresentados na alimentação. O inverso ocorre para a impureza Al₂O₃, com maior teor no concentrado do que o valor observado na alimentação, em torno de 9,5 %, um aumento de cerca de 1 % (veja tabelas, Apêndice III).

Conforme pode ser visto na Figura 6.23, os teores das impurezas nos concentrados, Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO e P, obtidos nos ensaios realizados na espiral Humphreys utilizando amostras contendo a faixa granulométrica - 0,074 mm, ficaram em torno de 3,3; 24,0; 10,8; 2,3; 0,1%, respectivamente. Nestes ensaios, ou contrário do que foi observado para os ensaios na espiral utilizando a amostra global e a fração +0,074 mm, pode ser observado um pequeno aumento do teor de SiO₂ no concentrado, quando comparado ao valor inicial desta impureza na alimentação, um aumento de cerca de 1%. Foi observado um aumento de cerca de Al_2O_3 no concentrado do que na alimentação, representando um aumento de cerca de 2%.

Como pode ser visto, para todos os ensaios realizados na espiral de Humphreys, os valores das especificações químicas dos produtos da Unidade Morro da Mina - RDM, apresentados na Tabela 4.5 ($Mn_{min.}$ -23 %, $Fe_{máx.}$ - 6 % e SiO_{2 máx.} – 35 %), foram alcançados.

6.2.3. Hidrociclone

Pelo fato de 13,26 % da amostra dos resíduos estudados estar abaixo de 0,037mm (-400mesh) como foi visto na caracterização granulométrica (Tabela 6.1) foi efetuado um ensaio preliminar de classificação, usando o hidrociclone sendo alimentado com uma polpa contendo 15 % de sólidos.

Na Tabela 6.14, estão apresentados o balanço de massa e metalúrgico do ensaio utilizando o hidrociclone. Pelo ensaio verificou-se que 79,74 % do peso total da alimentação constituiu o "underflow" e o "overflow" é 20,26 % da alimentação. De acordo com o balanço metalúrgico o valor de recuperação de manganês no "underflow" foi de 95,71 %, um valor bastante expressivo, mas o enriquecimento foi baixo, a alimentação tinha cerca de 28,6 % de manganês após a ciclonagem o teor de manganês do "underflow" foi de 29 %. Já no "overflow" a recuperação de manganês foi de apenas 4,29 % e o teor de manganês ficou em torno de 26%. A vazão do "underflow" foi de 304 L/h.

Tabela 6.14 – Balanço de massa e metalúrgico do ensaio realizado com a amostra global, utilizando o hidrociclone com 15 % de sólidos na polpa.

Produto	Peso		Teor (%)							Recuperação (%)					
	(g)	(%)	Mn	Fe	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	
Under	2755	95,33	28,99	3,41	26,58	9,46	2,51	0,069	95,71	94,08	95,51	95,82	95,03	93,00	
Over	135	4,67	26,54	4,38	25,52	8,43	2,68	0,106	4,29	5,92	4,49	4,18	4,97	7,00	
Alim.															
rec.	2890	100	28,88	3,46	26,53	9,41	2,52	0,071	100	100	100	100	100	100	

Nota: Under - "Underflow"; Over - "Overflow"; Alim. Rec. - Alimentação recalculada.

O teor das impurezas Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO e P no "underflow", foram 3,4; 26,6; 9,5; 2,5; 0,07 %, respectivamente. Não ocorreu, para nenhuma das impurezas variação

significativa de seus respectivos teores, aumento ou diminuição, no "underflow" quando comparado ao valor inicial destas impurezas na alimentação (veja a Tabela 6.13).

O teor das impurezas, SiO_2 e Fe, presentes no "underflow", estão dentro dos limites estipulados pelas especificações químicas de produtos da Unidade Morro da Mina – RDM, ou seja, SiO_2 e Fe abaixo do máximo estabelecido que é de 35% e 6%, respectivamente (Tabela 4.5). O teor de manganês no "underflow", que ficou em torno de 29%, também encontra-se dentro dos valores mínimos, teor de manganês igual a 23%, exigidos pelas especificações químicas.

Logo, pode-se afirmar que o emprego de hidrociclone mostrou-se de grande potencial para a "concentração" dos finos de manganês da Unidade Morro da Mina –RDM, podendo obter facilmente, recuperação de manganês acima de 95% e teores de manganês e demais impurezas dentro dos produtos comercializados atualmente pela mineradora.

Na Figura 6.24 está apresentada a curva de partição do hidrociclone. Os dados para construção da curva de partição do teste no hidrociclone encontram–se no Apêndice IV.



Figura 6.24 - Curva de partição do ensaio realizado no hidrociclone utilizando a amostra global dos finos de minério de manganês.

A partir da curva de partição determinou-se o valor de d_{50} , sendo este igual a 20 μ m (0,020 mm). Sendo este tamanho médio das partículas o ponto de corte, ou tamanho de

separação do hidrociclone, ou seja, o ponto na curva de partição no qual 50 % das partículas daquele tamanho vão para o "underflow". E o valor de d_{80} , sendo igual a 30 μ m (0,030 mm).

A realização de outros ensaios com modificação de parâmetros, como pressão e porcentagem de sólidos na polpa, entre outros, poderia levar a uma mudança no ponto de corte e a obtenção de uma separação, ou classificação, que por si só levaria a um enriquecimento e boa recuperação deste minério de manganês.

6.2.4. Comparação entre os resultados dos ensaios tecnológicos

A comparação entre os resultados obtidos nos diferentes ensaios tecnológicos realizados com a amostra global, visando um maior enriquecimento e recuperação do minério de manganês, pode ser observada nas Figuras 6.25 e 6.26.



Figura 6.25 - Comparação entre os resultados obtidos para a amostra global em termos de recuperação metalúrgica do manganês, utilizando os diferentes ensaios tecnológicos com diferentes porcentagens de sólidos.



Figura 6.26- Comparação entre os resultados obtidos para a amostra global com relação ao de teor de manganês, utilizando os diferentes ensaios tecnológicos e com diferentes porcentagens de sólidos.

A Figura 6.25 mostra que a recuperação metalúrgica, obtida nos ensaios onde foram utilizados a mesa oscilatória com ângulo de inclinação igual a 5° e na espiral de Humphreys para a amostra global, apresentam valores muito próximos, variando de cerca de 40 a 60%, com a recuperação metalúrgica diminuindo com o aumento da porcentagem de sólidos na polpa. Já o ensaio realizado na mesa com ângulo de inclinação igual a 3° e com 15% de sólidos na polpa, mostrou recuperação muito maior que os ensaios com ângulo de inclinação da mesa igual a 5° e na espiral de Humphreys, apresentando recuperação em torno de 77%.

Em termos de recuperação o melhor resultado foi obtido com a separação utilizando o hidrociclone, ficando em torno de 95%, em contrapartida, neste ensaio foi obtido o menor enriquecimento, ou seja o menor teor de manganês, conforme visualizado na Figura 6.26. Porém, há de se salientar que o produto obtido se encontra dentro das especificações dos minérios sílico carbonatado tipo 1 e 2 comercializados pela Unidade Morro da Mina-RDM.

Para todos os equipamentos e considerando os diferentes paramêtros, o teor de manganês no concentrado para a amostra global ficou em torno de 30 a 33%, exceto, como já foi dito para o ensaio no hidrociclone onde o teor ficou em torno de 29 % que é bastante próximo.

Logo, sugere-se a otimização da classificação para obter maiores teores de manganês nos concentrados, ajustando-os de forma mais vantajosa às especificações químicas dos produtos da Unidade Morro da Mina – RDM.

Para todos os ensaios tecnológicos utilizando a amostra global de finos de minério de manganês, não ocorram significativas variações dos teores das impurezas nos concentrados.Os teores de todas as impurezas, independentemente do equipamento utilizado, foram sempre semelhantes. Desta forma, todos os concentrados obtidos estavam dentro das especificações químicas dos produtos da Unidade Morro da Mina – RDM apresentados na Tabela 4.5, uma vez que, os teores de Fe e SiO₂ nestes concentrados mantiveram-se sempre abaixo dos valores máximos admitidos e os teores de manganês sempre maiores que os valores mínimos mencionados nesta mesma tabela $(Mn_{min}.23 \%, Fe_{máx}- 6 \% e SiO_{2 máx} - 35 \%).$

Nas Figuras 6.27, 6.28, 6.29 e 6.30 estão apresentadas as comparações entre os resultados obtidos nos diferentes ensaios tecnológicos realizados com as faixas granulométricas +0,074 e –0,074 mm, visando um maior enriquecimento e recuperação do minério de manganês.



Figura 6.27 - Comparação entre os resultados obtidos para a fração granulométrica +0,074 mm em termos de recuperação metalúrgica do manganês, utilizando os diferentes ensaios tecnológicos com diferentes porcentagens de sólidos.



Figura 6.28 - Comparação entre os resultados obtidos para a fração granulométrica +0,074mm com relação ao de teor de manganês, utilizando os diferentes ensaios tecnológicos e com diferentes porcentagens de sólidos.


Figura 6.29 - Comparação entre os resultados obtidos para a fração granulométrica -0,074mm em termos de recuperação metalúrgica do manganês, utilizando os diferentes ensaios tecnológicos com diferentes porcentagens de sólidos.



Figura 6.30 - Comparação entre os resultados obtidos para a fração granulométrica -0,074mm com relação ao de teor de manganês, utilizando os diferentes ensaios tecnológicos e com diferentes porcentagens de sólidos. Para os ensaios tecnológicos realizados com a fração granulométrica acima de 0,074mm e também para os ensaios com a fração abaixo de 0,074mm, foi possível observar que em termos de recuperação os melhores resultados foram obtidos na separação utilizando a mesa oscilatória com ângulo de inclinação igual a 3° e com 15% de sólidos na polpa.

Em termos de teor de manganês nos concentrados, para a fração granulométrica acima de 0,074mm, os maiores valores, foram obtidos nos ensaios utilizando o mesa com ângulo de inclinação igual a 5°, ficando em torno de 32%.

Tanto para os ensaios tecnológicos realizados com a fração granulométrica acima de 0,074 mm quanto para os realizados com a fração abaixo de 0,074mm, os teores de todas as impurezas, independentemente do equipamento utilizado, foram sempre muito próximos, não ocorrendo grandes variações. Todos os valores das impurezas estavam dentro das especificações químicas dos produtos da Unidade Morro da Mina –RDM apresentados na Tabela 4.5, uma vez que, os teores de Fe e SiO₂ nos concentrados, ficaram sempre abaixo dos valores máximos admitidos (Fe_{máx.}= 6 % e SiO_{2máx.} = 35 %).

A literatura geralmente indica, tanto para os ensaios utilizando a espiral Humphreys, quanto os ensaios realizados na mesa oscilatória, o corte granulométrico em torno de +0,074mm (+ 200 mesh), mas para o minério em estudo a utilização da fração +0,074mm para ambos os equipamentos não apresentou grande diferença em termos de enriquecimento e recuperação quando, comparada a amostra global.

Os ensaios realizados em mesa oscilatória e na espiral de Humphreys, utilizando a fração -0,074mm apresentaram grande diferença quando comparados aos ensaios utilizando a amostra global e a fração + 0,074mm, as recuperações desta fração foram muito baixas quando comparadas aos resultados obtidos com a amostra global e a fração + 0,074 mm. Isto já era esperado, conforme mencionado anteriormente, pois para esta fração granulométrica, estes equipamentos não são muito indicados.

De modo geral, pode-se afirmar que para todos os equipamentos e considerando os diferentes parâmetros, o teor de manganês no concentrado ficou em torno de 30 a 33%,

exceto, para o ensaio no hidrociclone, onde o teor ficou em torno de 29% que corresponde a um valor bastante próximo. Sugere-se então a otimização da classificação para chegar a maiores teores manganês nos concentrados, ajustando-os de forma mais vantajosa às especificações químicas dos produtos da Unidade Morro da Mina – RDM. Conforme pode ser visualizado nas Figuras 6.26, 6.28 e 6.30, o teor de manganês obtido no concentrado de todos os ensaios tecnológicos foi pelo menos igual ao mínimo exigido nestas especificações químicas de produtos (Tabela 4.5).

Não ocorreram grandes variações nos teores das impurezas analisadas Fe, SiO₂, Al₂O₃, CaO e P, nos diferentes ensaios tecnológicos realizados utilizando a amostra global e as frações granulométricas +0,074 e -0,074mm, exceto para a impureza Al₂O₃; ao contrário do que foi observado nos ensaios tecnológicos, onde o valor desta impureza aumentou ou permaneceu o mesmo no concentrado, quando se utilizou o hidrociclone o teor de Al₂O₃ no "underflow" apresentou um pequeno decréscimo, variando de cerca de 10% na alimentação para 9,4 %. Desta forma pode se afirmar que, para todos os ensaios tecnológicos realizados, as impurezas Fe e SiO₂, ficaram abaixo dos limites máximos estabelecidos pelas especificações químicas de produtos da Unidade Morro da Mina (Tabela 4.5).

Em conjunto, os maiores valores da relação enriquecimento e recuperação de manganês, para a amostra global e as frações granulométricas + 0,074 e - 0,074 mm, foram obtidos nos ensaios com a mesa com ângulo de inclinação igual a 3°.

7. CONCLUSÕES

- De acordo com a caracterização realizada, a distribuição granulométrica mostrou que 80% dos finos de minério de manganês da Unidade Morro da Mina - RDM, encontra-se abaixo de 0,150 mm, sendo que mais de 50% de todos os principais elementos e compostos destes finos de manganês encontraram-se distribuídos entre 0,105 e 0,053 mm (150 a 270 mesh).
- Os teores dos principais elementos analisados, Mn, Fe e SiO₂, na amostra foram 28,3; 3,67 e 28,10 %, que já se encontram dentro dos limites indicados nas especificações químicas (Mn _{mín.} 23 %, Fe_{máx.} 6 % e SiO_{2máx} 35 %) dos produtos da Unidade Morro da Mina RDM.
- Para todas as frações granulométricas dos finos provenientes da lavagem do minério de manganês da Unidade Morro da Mina – RDM, nas quais foram realizadas as separações em líquido denso, mais de 80% do manganês encontrava-se no afundado, indicando que para todas as frações granulométricas os minerais de manganês provavelmente já encontram-se satisfatoriamente liberados.
- A caracterização mineralógica realizada na amostra global dos finos de minério de manganês proveniente da Unidade Morro da Mina, mostrou que a mesma é constituída essencialmente pelo minerais de manganês rodocrosita e espessartina, e os minerais de ganga quartzo, flogopita, clinocloro, huntita, flogopita, anita e rutilo.
- A densidade dos finos do minério de manganês da Unidade Morro da Mina RDM é igual a 3,0 e área superficial igual a 3,96 m²/g.
- Para os ensaios tecnológicos (mesa oscilatória com ângulo de inclinação igual a 5° e espiral de Humphreys), em que a influência da porcentagem de sólidos na polpa na concentração de manganês foi estudada, permaneceu a tendência de queda da recuperação de manganês com o aumento da porcentagem de sólidos na polpa, exceto para o ensaio realizada na espiral de Humphreys para a fração granulométrica acima de 0,074 mm (200 mesh), no qual quanto maior a porcentagem de sólidos na polpa maior a recuperação de manganês.
- A condições otimizadas da mesa para a concentração dos finos de minério de manganês foi 15 % de sólidos na polpa e ângulo de inclinação igual a 3°. Nestas

condições, as recuperações de manganês para amostra global e as faixas granulométricas +0,074 e -0,074mm, foram 77, 81, e 62%, respectivamente, chegou a valores cerca de 18 a 34 % maiores que os obtidos nos ensaios com ângulo de inclinação da mesa igual a 5°. Os teores de manganês nestes concentrados estavam em torno de 31,5%. Há de se salientar que os teores das demais impurezas encontram-se abaixo dos valores máximos das especificações dos produtos comercializados pela Unidade Morro da Mina-RDM.

- A literatura geralmente indica tanto para os ensaios utilizando a espiral Humphreys, quanto para os ensaios realizados na mesa oscilatória, o corte granulométrico em torno de + 0,074 mm (+ 200 mesh), mas para os finos do minério de manganês estudados a utilização desta fração para ambos os equipamentos não apresentou grande diferença em termos de enriquecimento e recuperação, quando comparada a amostra global.
- A recuperação do manganês contido na amostra global quando utilizado o hidrociclone alimentado com uma polpa com 15% de sólidos foi de 95,7% e o teor de manganês de aproximadamente 29%.
- Para todos os ensaios tecnológicos realizados, não foi obtido grande enriquecimento (aumento do teor de manganês) dos finos de minério de manganês, o teor de manganês nos concentrados, ficou em torno de 29 a 33 %, para todas as faixas granulométricas testadas e tanto as impurezas quanto o teor de manganês ficaram dentro dos limites estabelecidos pelas especificações químicas de produtos da Unidade Morro da Mina – RDM.
- Em conjunto, os maiores valores de recuperação e teor de manganês (enriquecimento), considerando todas as faixas granulométricas testadas, foram obtidos utilizando-se hidrociclone e mesa oscilatória com ângulo de inclinação igual a 3°. Parecendo ser a otimização das variáveis operacionais do hidrociclone a melhor alternativa para obtenção destes finos de minério de manganês mais enriquecidos, com altos valores de recuperação e o teor das impurezas dentro das especificações dos produtos comercializados pela Unidade Morro da Mina RDM.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Desenvolver estudos de processos de aglomeração, onde estes finos de minérios de manganês possam ser utilizados como uma das matérias-primas, visando finalmente o aproveitamento destes resíduos de minério de manganês na indústria siderúrgica.
- Estudar a utilização destes finos de minério de manganês da Mineração Morro da Mina - RDM na síntese de dióxido de manganês para fabricação de pilhas eletrolíticas.
- Realizar novos testes com os finos de minério de manganês em hidrociclone para otimização das variáveis operacionais, visando a obtenção de maior enriquecimento e recuperação de manganês.
- Efetuar estudos de flotação dos finos de minério de manganês, visando a obtenção de concentrados com maiores teores de manganês.
- Estudar as possibilidades de aplicações diretas destes finos de minério de manganês da Mineração Morro da Mina – RDM na construção civil, na indústria de cerâmicas, na agricultura, entre outros fins, ampliando desta forma, seu mercado de comercialização.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1. ABREU, S.F (1973). *Recursos minerais do Brasil*.São Paulo, SP, Editora Edgard Blucher LTDA, vol.2, Cap.14, p.492-550.
- ABRUZZESE, C; DUARTE, M.Y; PAPONETTI, B.; TORO, L. (1990). Biological and Chemical Processing of Low-grade Manganese Ores. Minerals Engineering, vol. 3, n° 3, p 307-318.
- AMARAL J. R. A.; CAPOCCHI J. D. T.; MARCIAL M. A. B (1986). A Produção de Ferro-Ligas de Manganês e Perspectivas para o Uso de Ferro-Ligas. In: Conferência Internacional de Tecnologia Siderúrgica – ABM, vol 1, p.551-582.
- ANDRADE, V. L. L (1978). Estudos de Concentração do Gondito. Belo Horizonte, UFMG, 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.
- APLAN, F. F. (1985). *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.
- ARAÚJO, C.T.; BRUNO, J.B. (1976). Aspectos da Flotação de minérios de ferro-manganês. In: IV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios, São José dos Campos, 4, p. 30-38.
- BASSETT, J (1981). Vogel Análise Inorgânica Qualitativa. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois, Quarta edição, Cap. 5 e 11, p.103-105, p. 223-244.
- 8. BERALDO, L. J; AZEVEDO, E.M. (1984). *Beneficiamento de minérios aluvionar*. Apostila, USP, São Paulo, p. 50-62.
- BURT, R. (1999). The Role of Gravity Concentration Modern Processing Plants. Minerals Engineering, vol. 12, n° 11, p. 1291-1300.

- CANESCHI, G. M. M. (1994). Estudos de concentração do minério de manganês da Mina de Peruaçu – M.G. Belo Horizonte, 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.
- CIMINELLI, V. S. T. (1980). Estudos de Mecanismos de Adsorção de Reagentes de Flotação em Minerais do Gondito. Belo Horizonte, 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.
- COSTA, M.R.M.; FIGUEIREDO, R.C. (2001). Balanço Mineral Brasileiro 2001. Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM, Brasília, 19 p.
- COSTA, M.R.M.; FIGUEIREDO, R.C. (2003). Sumário Mineral 2002.Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM, Brasília, 2 p.
- 14. COSTA, M.R.M.; FIGUEIREDO, R.C. (2004). *Sumário Mineral* 2003.Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM, Brasília, p. 82-83.
- 15. DETLEF, H.G.W. (1986). *Depósitos Minerais do Brasil*. Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM, Brasília, DF, Cap. 5; vol 2, p.123-126.
- DNPM (1999). Perfil da Economia Mineral do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, p.62-63.
- FELLOWS, L.F; SILVA, L.M.C.G. (1984). Beneficiamento do Minério de Urucum. Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, 26 p.
- FILHO, R. C. C. (1977). Concentração de minérios de manganês ICOMI.
 In: I Seminário Brasileiro de Tecnologia Mineral, DNPM, Poços de Caldas, MG, p.161-166.
- GARCIA, J. S., GORGULHO, H. F. (1999). Síntese de MnO₂ a partir de um minério de ferro-manganês – Parte I – Efeito da concentração do ácido sulfúrico. In: XIII Encontro Regional da Sociedade Brasileira de Química – MG, São João Del Rei, M.G., Resumos, p. 123.

- 20. GARCIA, J. S., GORGULHO, H. F (2001). Obtenção e caracterização de óxidos de ferro-manganês a partir de um minério de manganês. In: XV Encontro Regional da Sociedade Brasileira de Química – MG, Belo Horizonte, M.G., p.46.
- GONÇALVES, E.; SERFATY, A (1976). Perfil Analítico do Manganês. Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM, Brasília, DF, Boletim n° 37, 149 p.
- 22. GOMES, C.B. (1984). *Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia.*, Editora Edgard Blucher LTDA, São Paulo, 251 p.
- 23. GORGULHO, H. F, GARCIA, J. S. (2000). Síntese de um óxido a base de manganês e estudo de seu comportamento eletroquímico em eletrólito de ZnSO₄. In: XIV Encontro Regional da Sociedade Brasileira de Química – MG, Uberlândia, M.G., p.31.
- 24. GORGULHO, H. F, VIEIRA, F. T. (2000). Estudo da solubilidade do Mn (II) em meio alcalino. In: XIV Encontro Regional da Sociedade Brasileira de Química – MG, Uberlândia, M.G., p.47.
- 25. GORGULHO, H. F, SILVA, G.A. (2000). Estabilidade do Mn (III) durante a formação do MnO₂ coloidal em meio de H₂SO₄. In: XIV Encontro Regional da Sociedade Brasileira de Química MG, Uberlândia, M.G., p.48.
- 26. GUEDES, P. M. (1977).*Recuperação de Manganês em Minérios de Baixo Teor*. In: I Seminário Brasileiro de Tecnologia Mineral, DNPM, Poços de Caldas, MG, p.167-174.
- 27. HENLEY, K. J. (1983). Ore-dressing mineralogy A review of techniques, applications and recent developments. Mineral Dressing, vol 7, p. 175-200.
- KLEIN, C, HURLBUT, C. S (1999). Dana's manual of mineralogy. 21^a edição, John Wliley & Sons, 683 p.
- 29. LUZ, A. B.; SAMPAIO J. A.; ALMEIDA, S. L.M. (2004). *Tratamento de minérios*. Centro Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, 858 p.

- LUZ, A. B.; COSTA, L.; POSSA, M.; ALMEIDA, S. (1995). Tratamento de minérios. Centro Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, 600 p.
- 31. LINS, F.B.; BRUNO, J.B.(1976). Contribuição ao estudo da pelotização de minério de manganês. In:Encontro Nacional de Tratamento de Minérios. São José dos Campos, São Paulo, p. 23-29.
- MARTINS, R.B.; BRITO, O .E. A (1989). *História da Mineração no Brasil.*, São Paulo, Empresa das Artes, 119 p.
- MENDES, C. M.; OLIVEIRA,L. T. (1982). O Manganês para fins metalúrgicos. In: Siderurgia Brasileira e Matérias Primas, Associação Brasileira de Metais-ABM, São Paulo, p.465-489.
- 34. MOMADE, F.W.Y (1996). Sulphuric acid leaching of the Nsuta manganese carbonate ore. Hydrometallurgy, 40, p.123-134.
- 35. PÉRA, J; AMBROISE J.; CHABANNET, M. (1999). Properties of blastfurnace slags containing high amounts of manganese. Cement and concrete research, Elsevier Science, 29, p. 171-177.
- PRYOR, E. J (1965). *Mineral Processing*. Elsevier Aplied Scince Publishers Limited, London, 3^a edição, 844 p.
- SAMPAIO, J.A.; LUZ, A. B.; LINS, F. F. (2001). Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil. CETEM, Rio de Janeiro, p.98-101.
- 38. SILVA, A. T. (1973). Curso de tratamento de minérios. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Edições COTEC 06/89, vol. II, 187 p.
- SILVA, R. C.F. (2005). Descrições petrográficas microscópicas Morro da Mina. Relatório da Unidade Morro da Mina-RDM, 34 p.
- SILVEIRA, R.C; LUCIO, A; MINES, C. R. C; FIGUEIRA, R. M; SAMPAIO,
 R. S; CASTRO, L.F.A. (1980). *Metalurgia dos ferro-ligas*. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Metalúrgica, Belo Horizonte, Minas Gerais, vol. II, p. 331-509.
- 41. TAGGART, A. F (1956). *Handbook of Mineral Dressing.*, New York, John Wiley & Sons, 6th Priting, Section 17.

- 42. TISHCHENKO, K. I. (1980). 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, p.310-317.
- ULLMANN, F. (1985). Manganese and Manganese Alloys. In: Encyclopedia of Industrial Chemistry.VCH, Weinhein, Germany, 5^a edição, vol. 16 A, p. 77-133.
- 44. VERLAAN, P. A.; WILTSHIRE, J.C. (2002). *Manganese tailings a potential resource?* Mining Environmental Management, Julho, p. 21-22.
- 45. WILLS, B. A (1992). *Mineral processing Technology*. Pergamon Press, 5^a edição, New York, 855 p.
- 46. WILTSHIRE, J .C (2002). Sustainable Development and its Application to Mine Tailings of Deep Sea Minerals. University of Hawaii, Honolulu, U.S.A, 13 p.

APÊNDICE I – Determinação da densidade pelo método do picnômetro.

Determinação da densidade dos finos de manganês - Método picnômetro.

Para determinação da densidade dos finos do minério de manganês da Unidade Morro da Mina foram realizados testes com picnômetro. Estes testes consistem em pesar em balança analítica um picnômetro vazio, com minério,com água e finalmente com água e minério (Klein e Hurlbut, 1999). Esta medida foi executada duas vezes para maior confiabilidade. Então, através da equação apresentada abaixo a densidade do minério pode ser calculada.

/

$$d_{\min \acute{e}rio} = \frac{\left(P_{picnômetro+\min \acute{e}rio} - P_{picnômetro}\right)}{\left(P_{picnômetro+\acute{a}gua} + P_{picnômetro+\min \acute{e}rio} - P_{picnômetro} - P_{picnômetro+\acute{a}gua+\min \acute{e}rio}\right)}$$

Onde P é a massa.

Através dos ensaios realizados em duplicata foram obtidos os resultados da Tabela 6.15.

Tabela 6.15 - Medidas das massas dos picnômetros e determinação da densidade dos finos do minério de manganês da Unidade Morro da Mina –RDM.

Identificação do picnômetro	Picn. vazio (g)	Picn. _{minério} (g)	Picn. _{água} (g)	Picn. _{água+minério} (g)	Densidade
A	39,4	43,2	88,8	91,3	2,9
В	39,5	43,2	88,9	91,4	2,8

Nota: Picn. - Picnômetro

O valor médio da densidade do resíduo do minério de manganês da Unidade Morro da Mina-RDM foi de 2,9.

APÊNDICE II - Determinação da massa máxima para peneiramento.

A determinação da massa máxima retida na peneira se refere ao acúmulo de partículas as quais poderão formar um leito profundo o suficiente para diminuir a probabilidade de passagem das partículas que ocupem as posições superiores nestes leitos. Este é um aspecto resolvido na prática através do cálculo da massa máxima que pode ficar retida em uma peneira cessado o peneiramento, utilizando a seguinte equação desenvolvida por Gaudin:

$$Mi = A^* \rho^* n * (di + ds)/2$$

Onde:

Mi: massa que pode ficar retida em uma peneira de abertura i, cessado o peneiramento;

A: área da peneira:

ρ: densidade do material a ser ensaiado

di: abertura da peneira em análise

ds :abertura da peneira imediatamente acima:

n: número de camadas de partículas admitido (pode variar de 1 a 3)

Para que o peneiramento e portanto, a análise granulométrica fosse eficiente foi feita a determinação da massa máxima retida em cada peneira da série utilizada, considerando os diferentes números de camada de partícula e considerando a densidade dos finos de manganês sendo igual a 3,0 (conforme Apêndice I). Os resultados de massa máxima retida nas peneiras são apresentados no Tabela 6.16.

Faixa	mm	cm	(di+ds)/2	n= 1	n=2	n=3
Granulométrica						
mesh			(cm)			
35	0,42	0,042				
48	0,297	0,0297	0,03585	33,78	67,56	101,34
65	0,21	0,021	0,02535	23,89	48,58	71,67
100	0,149	0,0149	0,01795	16,91	33,82	50,73
150	0,105	0,0105	0,0127	12,17	24,34	36,51
200	0,074	0,0074	0,00895	8,43	16,86	25,29
270	0,053	0,0053	0,00635	5,98	11,96	17,94
325	0,044	0,0044	0,00485	4,57	9,14	13,71
400	0,037	0,0037	0,00405	3,82	7,64	11,46

Tabela 6.16 -Resultados da determinação da massa máxima, retida nas peneiras.

APÊNDICE III - Balanços de massa e metalúrgico dos ensaios de tecnológicos.

Nas tabelas 6.17 a 6.31 estão apresentados os balanços de massas e metalúrgicos dos ensaios de concentração, para as diferentes faixas granulométricas (global, +0,074 e -0,074 mm), em diferentes porcentagens de sólidos na polpa (15, 20, 25, 30 e 35%), realizados com inclinação da mesa oscilatória igual a 5°.

Tabela 6.17 – Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 5°, da amostra global com 15% de sólidos na polpa.

Produto	Pes	SO			Teor	(%)				l	Recupera	nção (%)		
	g	%	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	950,00	50,54	32,87	3,42	24,62	10,48	2,14	0,083	58,59	47,66	42,19	58,62	44,04	37,82
Misto	805,00	42,82	23,76	3,72	35,69	7,43	2,79	0,142	35,89	43,93	51,82	35,22	48,66	54,82
Rejeito	124,80	6,64	23,59	4,59	26,63	8,39	2,70	0,123	5,52	8,40	5,99	6,16	7,30	7,36
Alimentação recalculada	1879,80	100,00	28,35	3,63	29,49	9,04	2,46	0,111	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	28,30	3,67	28,10	9,30	2,63	0,080						

Produto	Pes	50			Teor	(%)					Recupera	ação(%)		
	g	%	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	905,80	47,45	32,85	3,56	24,85	10,75	2,18	0,067	54,30	45,66	43,51	56,42	41,22	36,10
Misto	900,00	47,15	25,24	3,70	29,78	7,31	2,85	0,103	41,45	47,15	51,81	38,12	53,55	55,14
Rejeito	103,00	5,40	22,61	4,93	23,54	9,16	2,43	0,143	4,25	7,19	4,69	5,47	5,23	8,76
Alimentação recalculada	1908,80	100,00	28,71	3,70	27,10	9,04	2,51	0,088	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	28,30	3,67	28,10	9,30	2,63	0,080						

Tabela 6.18 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 5°, da amostra global com 20% de sólidos na polpa.

Tabela 6.19 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 5°, da amostra global com 25% de sólidos na polpa.

Produto	Р	eso			Teor	(%)					Recupe	ração (%))	
	g	%	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Alimentação	2000,00													
Concentrado	695,00	35,83	32,49	3,45	26,17	11,57	2,11	0,073	40,26	34,54	35,17	47,47	30,51	28,73
Misto	1120,00	57,74	27,67	3,52	27,27	7,04	2,74	0,103	55,26	56,79	59,06	46,54	63,85	65,33
Rejeito	124,80	6,43	20,12	4,82	23,93	8,13	2,17	0,084	4,48	8,67	5,77	5,99	5,63	5,94
Alimentação recalculada	1939,80	100,00	28,91	3,58	26,66	8,73	2,48	0,091	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	28,30	3,67	28,10	9,30	2,63	0,080						

Produto	Pes	50			Teor	:(%)				I	Recuper	ação (%))	
	g	%	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Р
Concentrado	620,00	35,21	32,05	4,03	25,90	11,46	2,00	0,051	39,13	37,03	33,13	44,39	28,63	17,51
Misto	1020,00	57,93	27,82	3,56	28,86	7,61	2,77	0,131	55,88	53,82	60,72	48,49	65,23	73,99
Rejeito	120,80	6,86	20,99	5,11	24,68	9,43	2,20	0,127	4,99	9,15	6,15	7,12	6,14	8,50
Alimentação recalculada	1760,80	100,00	28,84	3,83	27,53	9,09	2,46	0,103	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	28,30	3,67	28,10	9,30	2,63	0,080						

Tabela 6.20 – Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 5°, da amostra global com 30 % de sólidos na polpa.

Tabela 6.21 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 5°, da amostra global com 35% de sólidos na polpa.

Produto	Pes	60			Teor	(%)					Recup	eração ((%)	
	g	%	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	631,80	34,37	32,53	3,68	27,74	12,92	2,16	0,09	38,60	33,83	35,38	47,07	29,03	30,85
Misto	1060,00	57,67	27,87	3,60	26,72	7,40	2,82	0,10	55,49	55,53	57,18	45,24	63,59	58,15
Rejeito	146,40	7,96	21,51	5,00	25,18	9,11	2,37	0,14	5,91	10,64	7,44	7,69	7,38	11,00
Alimentação recalculada	1838,20	100,00	28,97	3,74	26,95	9,43	2,56	0,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	28,30	3,67	28,10	9,30	2,63	0,080						

Produto Peso Teor (%) Recuperação (%) % Fe Al_2O_3 CaO Р Fe Mn SiO₂ Mn SiO₂ Al_2O_3 CaO Р g 32,00 3,37 0,095 47,38 40,71 55,11 750,00 42,10 29,72 14,01 2,10 41,07 38,06 41,14 Concentrado Misto 25,91 3,55 31,07 8,26 2,49 0,099 51,92 58,04 58,11 61,08 1015,00 56,97 43,97 58,02 4,65 26,54 10,53 2,13 0,088 0,70 Rejeito 16,60 0,93 21,47 1,24 0,81 0,92 0,85 0,84 1781,60 100,00 0,097 100,00 100,00 100,00 100,00 100,00 100,00 Alimentação recalculada 28,43 3,48 30,46 10,70 2,32 Alimentação segundo análise química 26,84 3,73 29,71 9,59 2,33 0,097

Tabela 6.22 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 5°, da fração granulométrica +0,074 mm, com 15 % de sólidos na polpa.

Tabela 6.23 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 5°, da fração granulométrica +0,074 mm, com 20 % de sólidos na polpa.

Produto	Pes	50			Teo	r (%)				F	Recupera	ação (%))	
	g	%	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	702,70	39,68	31,88	3,52	25,59	13,38	2,03	0,074	44,73	38,58	35,70	51,76	35,23	28,97
Misto	1050,00	59,29	26,02	3,67	30,39	8,18	2,46	0,120	54,55	60,10	63,36	47,29	63,79	70,19
Rejeito	18,40	1,04	19,83	4,60	25,70	9,36	2,17	0,082	0,73	1,32	0,94	0,95	0,99	0,84
Alimentação recalculada	1771,10	100,00	28,28	3,62	28,44	10,26	2,29	0,101	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química			26,84	3,73	29,71	9,59	2,33	0,097						

Tabela 6.24 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 5°, da fração granulométrica +0,074 mm, com 25 % de sólidos na polpa.

Produto	Pes	80			Teo	r (%)				F	Recupera	ação (%))	
	g	%	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	710,00	38,48	32,06	3,59	27,67	13,28	2,19	0,111	44,18	37,74	35,97	50,50	35,30	39,25
Misto	1105,00	59,88	25,47	3,66	30,90	8,05	2,52	0,105	54,63	59,88	62,52	47,65	63,22	57,79
Rejeito	30,30	1,64	20,19	5,31	27,28	11,41	2,16	0,196	1,19	2,38	1,51	1,85	1,49	2,96
Alimentação recalculada	1845,30	100,00	27,92	3,66	29,60	10,12	2,39	0,109	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	26,84	3,73	29,71	9,59	2,33	0,097						

Tabela 6.25 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 5°, da fração granulométrica +0,074 mm, com 30 % de sólidos na polpa.

Produto	Pes	50			Teo	r (%)					Recupe	ração (%)	
	g	%	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	750,00	38,57	31,92	3,60	25,80	11,70	2,19	0,122	44,73	37,63	33,27	45,07	35,68	36,10
Misto	1170,00	60,18	24,90	3,71	32,55	8,90	2,49	0,136	54,44	60,49	65,47	53,48	63,29	62,78
Rejeito	24,30	1,25	18,22	5,54	30,26	11,67	1,96	0,117	0,83	1,88	1,26	1,46	1,03	1,12
Alimentação recalculada	1944,30	100,00	27,52	3,69	29,92	10,01	2,37	0,130	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química			26,84	3,73	29,71	9,59	2,33	0,097						

Tabela 6.26 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 5°, da fração granulométrica +0,074 mm, com 35 % de sólidos na polpa.

Produto	Pes	50			Teo	r (%)]	Recuper	ação (%)	
	g	%	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	574,80	30,76	32,05	3,36	27,13	11,91	2,14	0,056	35,43	28,75	26,99	39,11	27,79	23,67
Misto	1270,00	67,96	25,97	3,70	32,84	8,25	2,47	0,081	63,44	69,96	72,18	59,86	70,87	75,63
Rejeito	23,90	1,28	24,56	3,61	20,16	7,58	2,47	0,040	1,13	1,28	0,83	1,03	1,33	0,70
Alimentação recalculada	1868,70	100,00	27,82	3,59	30,92	9,37	2,37	0,073	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	26,84	3,73	29,71	9,59	2,33	0,097						

Tabela 6.27 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 5°, da fração granulométrica -0,074 mm, com 15 % de sólidos na polpa.

Produto	Pes	50			Teo	r (%)				F	Recuper	ação(%)		
	g	%	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	703,80	37,82	32,44	3,57	28,98	14,70	1,80	0,093	38,46	38,73	43,81	55,07	27,43	35,01
Misto	1078,00	57,93	32,20	3,38	22,11	7,19	2,91	0,102	58,47	56,17	51,20	41,26	67,92	58,82
Rejeito	79,00	4,25	23,06	4,19	29,38	8,73	2,72	0,146	3,07	5,10	4,99	3,67	4,65	6,17
Alimentação recalculada	1860,80	100,00	31,90	3,49	25,02	10,10	2,48	0,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	31,31	3,35	22,77	8,94	2,33	0,098						

Teor (%) Produto Peso Recuperação (%) Mn Fe Al₂O₃ CaO Mn Fe % SiO₂ Ρ SiO₂ Al_2O_3 CaO Ρ g 2,84 0,133 34,02 Concentrado 650,00 34,31 3,83 27,93 13,08 35,64 37,16 46,69 33,06 36,82 33,02 2,92 1155,00 60,97 31,92 3,38 23,92 7,81 0,144 61,15 57,75 56,55 49,54 62,15 63,53 Misto 2,33 0,101 Rejeito 89,30 4,71 21,71 4,11 34,46 7,69 3,22 5,43 6,30 3,77 3,83 3,45 Alimentação recalculada 1894,30 100,00 31,83 3,57 25,79 9,61 2,86 0,138 100,00 100.00 100,00 100,00 100,00 100,00 Alimentação segundo 3,35 22,77 análise química 31,31 8,94 2,33 0,098 -_

Tabela 6.28 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 5°, da fração granulométrica -0,074 mm, com 20 % de sólidos na polpa.

Tabela 6.29 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 5°, da fração granulométrica -0,074 mm, com 25% de sólidos na polpa.

Produto	Pes	80			Teor	r (%)					Recupera	ção (%)		
	g	%	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Alimentação	2000,00													
Concentrado	606,00	32,02	32,62	3,84	25,70	11,43	2,33	0,101	33,57	34,95	32,86	41,15	27,07	29,66
Misto	1208,00	63,82	30,81	3,34	24,40	7,70	2,96	0,110	63,20	60,60	62,19	55,26	68,56	64,39
Rejeito	78,80	4,16	24,16	3,76	29,80	7,66	2,89	0,156	3,23	4,45	4,95	3,59	4,37	5,96
Alimentação recalculada	1892,80	100,00	31,11	3,52	25,04	8,89	2,76	0,109	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	31,31	3,35	22,77	8,94	2,33	0,098						

Tabela 6.30 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 5°, da fração granulométrica -0,074 mm, com 30 % de sólidos na polpa.

Produto	Pes	50			Teor	(%)				-	Recupera	ação (%)		
	50	%	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	475,00	26,99	32,64	3,32	24,08	13,95	1,93	0,055	27,99	27,46	32,26	38,89	20,91	14,31
Misto	1165,00	66,20	31,76	3,19	17,98	8,11	2,69	0,122	66,80	64,72	59,08	55,45	71,47	77,83
Rejeito	119,70	6,80	24,11	3,75	25,63	8,07	2,79	0,120	5,21	7,82	8,65	5,67	7,62	7,87
Alimentação recalculada	1759,70	100,00	31,48	3,26	20,15	9,68	2,49	0,104	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	31,31	3,35	22,77	8,94	2,33	0,098						

Tabela 6.31 - Balanços de massa e metalúrgicos do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 5°, da fração granulométrica -0,074 mm, com 35 % de sólidos na polpa.

Produto	Pes	50			Тео	or (%)					Recupe	eração (9	6)	
	g	%	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Alimentação	2000,00													
Concentrado	231,40	12,12	32,20	3,36	26,17	11,89	2,15	0,042	12,32	12,20	13,78	16,47	9,72	5,81
Misto	1620,00	84,86	32,04	3,31	22,24	8,32	2,76	0,094	85,83	84,12	82,02	80,67	87,39	91,12
Rejeito	57,60	3,02	19,42	4,07	31,96	8,30	2,56	0,089	1,85	3,68	4,19	2,86	2,88	3,07
Alimentação recalculada	1909,00	100,00	31,68	3,34	23,01	8,75	2,68	0,088	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	_	31,31	3,35	22,77	8,94	2,33	0,098						

Nas Tabelas 6.32 a 6.34 estão apresentados os balanços de massa e metalúrgicos dos ensaios de concentração, para as diferentes faixas granulométricas (global, +0,074 e –0,074 mm), com 15% de sólidos, realizados com inclinação da mesa oscilatória igual a 3°.

10/0 40	Solidos lid	. poipai												
Produto	Pes	50			Teor	(%)				F	Recupera	ação (%))	
	g	%	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	1245,00	70,36	31,23	3,54	26,99	10,27	2,39	0,073	76,59	67,60	66,07	76,00	67,56	66,22
Misto	425,00	24,02	22,93	3,81	33,95	7,19	2,78	0,078	19,20	24,84	28,37	18,16	26,82	24,15
Rejeito	99,40	5,62	21,51	4,96	28,45	9,87	2,49	0,133	4,21	7,56	5,56	5,83	5,62	9,63
Alimentação recalculada	1769,40	100,00	28,69	3,68	28,74	9,51	2,49	0,078	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo análise química	_	_	28,30	3,67	28,10	9,30	2,63	0,080						

Tabela 6.32 – Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 3°, da amostra global com 15% de sólidos na polpa.

Produto	Pes	50			Teo	r (%)				F	Recupera	ação (%))	
	g	%	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	1510,00	79,27	30,62	3,52	28,93	10,56	2,34	0,043	81,27	76,29	79,48	82,52	79,70	65,35
Misto	375,00	19,69	27,32	4,05	28,56	8,38	2,28	0,087	18,01	21,80	19,49	16,26	19,28	32,84
Rejeito	20,00	1,05	20,55	6,66	28,29	11,77	2,26	0,090	0,72	1,91	1,03	1,22	1,02	1,81
Alimentação recalculada	1905,00	100,00	29,86	3,66	28,85	10,14	2,33	0,052	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	26,84	3,73	29,71	9,59	2,33	0,097						

Tabela 6.33 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 3°, da fração granulométrica +0,074 mm, com 15% de sólidos na polpa.

Tabela 6.34 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, com inclinação da mesa igual a 3°, da fração granulométrica -0,074 mm, com 15% de sólidos na polpa.

Produto	Pes	50		_	Teor	(%)					Recuper	ação (%))	
	g	%	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	1175,00	60,49	32,80	3,55	25,32	11,30	2,27	0,045	62,04	61,36	61,27	70,86	53,17	41,01
Misto	680,00	35,00	31,94	3,37	23,14	7,04	3,07	0,100	34,96	33,71	32,41	25,55	41,61	52,74
Rejeito	87,60	4,51	21,22	3,82	35,04	7,69	2,99	0,092	2,99	4,92	6,32	3,60	5,22	6,25
Alimentação recalculada	1942,60	100,00	31,98	3,50	25,00	9,65	2,58	0,066	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	31,31	3,35	22,77	8,94	2,33	0,098						

Nas tabelas 6.35 a 6.46 estão apresentados os balanços de massas e metalúrgicos dos ensaios de concentração, para as diferentes faixas granulométricas (global, +0,074 e -0,074 mm), em diferentes porcentagens de sólidos na polpa (15, 20, 25, 30 e 30%), realizados na espiral de Humphreys.

 Tabela 6.35 - Balanços de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, da amostra global na espiral de Humphreys, com 15% de sólidos na polpa.

Produto	Pes	50			Teo	r (%)				Re	cuperaçã	.0 (%)		
	(g)	(%)	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	1015,00	50,12	31,55	3,50	23,59	10,05	2,38	0,079	56,55	47,61	45,43	55,31	48,69	36,69
Rejeito	1010,00	49,88	24,36	3,87	28,47	8,16	2,52	0,137	43,45	52,39	54,57	44,69	51,31	63,32
Alimentação recalculada	2025,00	100,00	27,96	3,68	26,02	9,11	2,45	0,108	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	28,30	3,67	28,10	9,86	2,63	0,108						

Tabela 6.36 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, da amostra global na espiral de Humphreys, com 20 % de sólidos na polpa.

Produto	Pes	50			Teor	· (%)				R	ecupera	ıção (%)	
	(g)	(%)	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	1340,00	47,77	31,60	3,52	23,98	10,79	2,31	0,097	52,21	45,48	44,62	53,49	45,70	39,66
Rejeito	1465,00	52,23	26,45	3,86	27,22	8,58	2,51	0,135	47,79	54,52	55,38	46,51	54,30	60,34
Alimentação recalculada	2805,00	100,00	28,91	3,70	25,67	9,64	2,41	0,117	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	28,30	3,67	28,10	9,86	2,63	0,080						

Tabela 6.37 – Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, da amostra global na espiral de Humphreys, com 25 % de sólidos na polpa.

Produto	Ре	eso			Teor	(%)					Recupe	ração(%)		
	(g)	(%)	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	1415	41,74	31,36	3,47	24,40	10,44	2,30	0,036	45,66	39,49	39,11	46,84	38,88	10,76
Rejeito	1975	58,26	26,74	3,81	27,22	8,49	2,59	0,214	54,34	60,51	60,89	53,16	61,12	89,24
Alimentação recalculada	3399	100,00	28,67	3,67	26,04	9,30	2,47	0,140	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo			28,30	3,67										
análise química	-	-	28,30	3,67	28,10	9,86	2,63	0,080						

Produto	Ре	eso			Teor (%)				Re	ecupera	ção(%)		
	(g)	(%)	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	2670	41,85	30,92	3,46	25,69	10,97	2,33	0,090	46,09	40,82	36,06	48,87	41,54	35,05
Rejeito	3710	58,15	26,03	3,61	32,78	8,26	2,36	0,120	53,91	59,18	63,94	51,13	58,46	64,95
Alimentação recalculada	6380	100,00	28,08	3,55	29,81	9,39	2,35	0,107	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo análise química	_	-	28,30	3,67	28,10	9,86	2,63	0,080						

 Tabela 6.38 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, da amostra global na espiral de Humphreys, com 30 % de sólidos na polpa.

Tabela 6.39 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, da fração + 0,074 mm na espiral de Humphreys, com 15 % de sólidos na polpa.

Produto	Pe	eso			Teor	· (%)]	Recuper	ação (%)	
	(g)	(%)	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	1175	63,86	30,60	3,45	25,63	9,51	2,37	0,106	70,23	60,38	57,96	65,32	63,57	57,05
Rejeito	665	36,14	22,92	4,00	32,85	8,92	2,40	0,141	29,77	39,62	42,04	34,68	36,43	42,95
Alimentação recalculada	1840	100,00	27,82	3,65	28,24	9,30	2,38	0,119	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	26,84	3,73	29,71	9,59	2,33	0,097						

Produto	Ре	eso			Teo	or (%)				F	Recuperaç	ção (%)		
	(g)	(%)	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	2360	64,39	30,54	3,45	28,22	10,16	2,37	0,038	70,84	61,66	60,62	67,82	64,68	35,84
Rejeito	1305	35,61	22,73	3,88	33,15	8,72	2,34	0,123	29,16	38,34	39,38	32,18	35,32	64,16
Alimentação recalculada	3665	100,00	27,76	3,60	29,98	9,65	2,36	0,068	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	26,84	3,73	29,71	9,59	2,33	0,097						

Tabela 6.40 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, da fração + 0,074 mm na espiral de Humphreys, com 20 % de sólidos na polpa.

Tabela 6.41 – Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, da fração + 0,074 mm na espiral de Humphreys, com 25 % de sólidos na polpa.

Produto	Pe	so			Teor	(%)]	Recupera	ıção (%)		
	(g)	(%)	Mn	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	5210	67,88	31,06	3,36	25,41	11,08	2,39	0,133	73,56	67,95	64,47	74,56	65,00	63,58
Rejeito	2465	32,12	23,60	3,35	29,60	7,99	2,72	0,161	26,44	32,05	35,53	25,44	35,00	36,42
Alimentação recalculada	7675	100,00	28,66	3,36	26,76	10,09	2,50	0,142	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	26,84	3,73	29,71	9,59	2,33	0,097						

Produto	Ре	eso		Teor (%)						Teor (%) Recuperação (%)										
	(g)	(%)	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р						
Concentrado	3690	73,07	31,19	3,40	26,60	10,53	2,32	0,076	78,75	71,21	67,77	78,08	72,82	64,60						
Rejeito	1360	26,93	22,83	3,73	34,33	8,02	2,35	0,113	21,25	28,79	32,23	21,92	27,18	35,40						
Alimentação recalculada	5050	100,00	28,94	3,49	28,68	9,85	2,33	0,086	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00						
Alimentação segundo análise química	_	_	26,84	3,73	29,71	9,59	2,33	0,097												

Tabela 6.42 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, da fração + 0,074 mm na espiral de Humphreys, com 30 % de sólidos na polpa.

Tabela 6.43 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, da fração - 0,074 mm na espiral de Humphreys, com 15 % de sólidos na polpa.

Produto	Pe	eso	Teor (%)							Recuperação (%)						
	(g)	(%)	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р		
Concentrado	1010	48,67	32,90	3,32	23,26	9,97	2,42	0,127	51,15	47,36	48,73	53,89	45,31	47,34		
Rejeito	1065	51,33	29,80	3,50	23,21	8,09	2,77	0,134	48,85	52,64	51,27	46,11	54,69	52,66		
Alimentação recalculada	2075	100,00	31,31	3,41	23,23	9,01	2,60	0,131	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		
Alimentação segundo																
análise química	-	-	31,31	3,35	22,77	8,94	2,33	0,098								

Produto	Pe	SO			Teor	· (%)			Recuperação (%)						
	(g)	(%)	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	
Concentrado	2005	43,30	31,83	3,36	25,41	11,08	2,39	0,133	45,47	43,38	45,13	51,44	40,16	38,69	
Rejeito	2625	56,70	29,16	3,35	23,60	7,99	2,72	0,161	54,53	56,62	54,87	48,56	59,84	61,31	
Alimentação recalculada	4630	100,00	30,32	3,35	24,38	9,33	2,58	0,149	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
Alimentação segundo															
análise química	-		31,31	3,35	22,77	8,94	2,33	0,098							

Tabela 6.44 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, da fração - 0,074 mm na espiral de Humphreys, com 20 % de sólidos na polpa.

Tabela 6.45 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, da fração - 0,074 mm na espiral de Humphreys, com 25 % de sólidos na polpa.

Produto	Pe	eso			Teor	(%)		Recuperação (%)						
	(g)	(%)	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	1480	39,26	31,76	3,34	22,87	11,25	2,3	0,077	41,23	37,55	37,43	46,88	35,09	22,34
Rejeito	2290	60,74	29,26	3,59	24,71	8,24	2,75	0,173	58,77	62,45	62,57	53,12	64,91	77,66
Alimentação recalculada	3770	100,00	30,24	3,49	23,99	9,42	2,57	0,135	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	31,31	3,35	22,77	8,94	2,33	0,098						

Produto	Pe	SO	o Teor (%)							Re	cuperaçã	ão (%)		
	(g)	(%)	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р	Mn	Fe	SiO ₂	Al_2O_3	CaO	Р
Concentrado	670	24,86	31,91	3,36	24,71	11,08	2,34	0,112	26,10	23,49	26,33	28,97	21,97	18,62
Rejeito	2025	75,14	29,89	3,62	22,87	8,99	2,75	0,162	73,90	76,51	73,67	71,03	78,03	81,38
Alimentação recalculada	2695	100,00	30,39	3,56	23,33	9,51	2,65	0,150	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentação segundo														
análise química	-	-	31,31	3,35	22,77	8,94	2,33	0,098						

Tabela 6.46 - Balanço de massa e metalúrgico do ensaio de concentração, da fração - 0,074 mm na espiral de Humphreys, com 30 % de sólidos na polpa.

APÊNDICE IV – Dado para construção da curva de partição do teste utilizando o hidrociclone.

Porcentagem de sólidos na alimentação = 15%

Razão de diluição (razão líquido-sólido)

(100-15)/15 = 5,6

Similarmente, as proporções de diluição do "underflow" e "overflow", podem ser calculadas:

"underflow"

Porcentagem de sólidos por peso: 2755/5555 = 0,4959 *100= 49,59%

Razão de diluição (razão líquido-sólido)

(100-49,59)/49,59 = 1,02

"overflow"

Porcentagem de sólidos por peso: 135/3325 = 4,06

Razão de diluição (razão líquido-sólido)

(100-4,06)/4,06 = 23,63

O ciclone é alimentado a uma taxa A de sólidos secos e as taxas do fluxo de massa do under e do over são U e O, respectivamente, então, levando-se em conta que a quantidade de água que entra no ciclone deve ser igual à que sai por unidade de tempo

A = U + O 5,6A =1,02U + 23,63O

5,6A = 1,02U + 23,63(A-U)

 $5,6A-23,63A=1,02U-23,63U \Rightarrow -18,03A=22,61U \Rightarrow U/A = 79,74\%$

O "underflow" é então 79,74 % do peso total da alimentação e o "overflow" é 20,26% da alimentação.

E segundo a balanço de massas, Tabela 6.14, 95,33% do minério de manganês encontrase no "underflow" e apenas 4,67 % no "overflow".

A curva de partição do ciclone pode ser desta forma construída com os dados da Tabela 6.45.

Tabela 6.45 - Dados para construção da curva de partição do ensaio utilizando a amostra global no hidrociclone.

Fı	ação	Peneira	amento					% da
Granu	lométrica	% retida	simples	% da ali	mentação	Alimentação	Tamanho média	alimentação
			O/A			Recalculada	aritmética	U/A
mesh	mm	U/A(%)	(%)	U/A(%)	O/A (%)			
35	0,42	0,07	0,00	0,07	0,00	0,07	0,334	100,00
48	0,297	0,83	0,00	0,79	0,00	0,79	0,359	100,00
65	0,21	2,43	0,08	2,32	0,00	2,32	0,254	99,84
100	0,149	6,18	0,16	5,89	0,01	5,90	0,180	99,87
150	0,105	13,81	0,72	13,17	0,03	13,20	0,127	99,75
200	0,074	26,86	3,61	25,61	0,17	25,77	0,090	99,35
270	0,053	23,04	3,45	21,96	0,16	22,13	0,064	99,27
325	0,044	12,77	8,03	12,17	0,38	12,55	0,049	97,01
400	0,037	8,81	7,46	8,40	0,35	8,75	0,041	96,02
Fundo	< 0,037	5,20	76,48	4,96	3,57	8,53	0,018	58,12
Total		100,00	100,00	95.33	4,67	100,00	-	

Nota: U - "Underflow"; A - Alimentação; O - "Overflow".

Plotando a última coluna da tabela, porcentagem da alimentação no "underflow" a U/A, contra a penúltima coluna, que representa a média aritmética das faixas de tamanho das peneiras utilizadas para a determinação da distribuição granulométrica do "underflow" e "overflow", produz – se a curva de partição, representada na Figura 6.24.

ANEXO I – Composição química dos minerais identificados na amostra global dos finos de minério de mnaganês da Unidade Morro da Mina-RDM (KLEIN e HURLBUT, 1999)

Rodocrosita

61,71% MnO 38,29% CO₂

• Espessartina

42,99% MnO 20,60% Al₂O₃ 36,41 SiO₂

Rutilo

100% TiO₂

Quartzo

 $100\% \ SiO_2$

Huntita

15,88% CaO 34,25% MgO 49,87% CO₂

• Anita

9,18% K₂O 9,94% Al₂O₃ 42,03% FeO 35,15% SiO₂ 2,63% H₂O

• Flogopita

11,23% K₂O 28,84% MgO 12,16% Al₂O₃ 42,99% SiO₂ 2,15% H₂O 2,63% F

Clinocloro

25,39% MgO 17,13% Al₂O₃ 15,09% FeO 30,28% SiO₂ 12,11% H₂O

Livros Grátis

(<u>http://www.livrosgratis.com.br</u>)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração Baixar livros de Agronomia Baixar livros de Arquitetura Baixar livros de Artes Baixar livros de Astronomia Baixar livros de Biologia Geral Baixar livros de Ciência da Computação Baixar livros de Ciência da Informação Baixar livros de Ciência Política Baixar livros de Ciências da Saúde Baixar livros de Comunicação Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE Baixar livros de Defesa civil Baixar livros de Direito Baixar livros de Direitos humanos Baixar livros de Economia Baixar livros de Economia Doméstica Baixar livros de Educação Baixar livros de Educação - Trânsito Baixar livros de Educação Física Baixar livros de Engenharia Aeroespacial Baixar livros de Farmácia Baixar livros de Filosofia Baixar livros de Física Baixar livros de Geociências Baixar livros de Geografia Baixar livros de História Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura Baixar livros de Literatura de Cordel Baixar livros de Literatura Infantil Baixar livros de Matemática Baixar livros de Medicina Baixar livros de Medicina Veterinária Baixar livros de Meio Ambiente Baixar livros de Meteorologia Baixar Monografias e TCC Baixar livros Multidisciplinar Baixar livros de Música Baixar livros de Psicologia Baixar livros de Química Baixar livros de Saúde Coletiva Baixar livros de Servico Social Baixar livros de Sociologia Baixar livros de Teologia Baixar livros de Trabalho Baixar livros de Turismo