

Caracterização química e mineralógica de rejeitos de minério de ferro de diferentes percentagens de finos

Ernesto Tadeu Bossi

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, ernesto.bossi@vale.com

Lúcio Flávio de Souza Villar

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, lucio.villar@etg.ufmg.br

RESUMO: Através do conhecimento da química e da mineralogia dos rejeitos de mineração pode-se estimar a sua densidade em função do peso específico dos elementos identificados. Essa avaliação também auxilia na análise de reações químicas, como processo de cimentação, formação de colóides, alteração de qualidade de água, tempo e volume necessário para decantação do rejeito e liberação de água para recirculação e a viabilidade de reprocessamento futuro do rejeito. Assim foi realizada uma avaliação da composição química e mineralógica de rejeitos de minério de ferro de variadas faixas de percentuais de finos (material passante na peneira de número 200). Para a caracterização química dos rejeitos de minério de ferro foram analisadas amostras com as percentagens de finos de 0, 10, 20, 30, 40 e 100%. Para a caracterização mineralógica do rejeito foram analisadas amostras com as percentagens de finos de 0, 80 e 100%. As análises químicas confirmaram a predominância dos óxidos de ferro e de silício nos rejeitos. Essa maior intensidade do ferro e da sílica em todas as amostras de rejeito foram confirmadas também pelas análises mineralógicas, que identificaram o domínio absoluto dos minerais de ferro (hematita e goethita) e de sílica (quartzo).

PALAVRAS CHAVES: Rejeitos de mineração, caracterização química, mineralogia de rejeitos

1 INTRODUÇÃO

Um conceito resumido e objetivo de Mineralogia define que ela é o ramo da Geologia que estuda a composição, a estrutura, a aparência, a estabilidade, os tipos de ocorrência e as associações de minerais (Press et al., 2006). Ela também aborda as proporções relativas dos constituintes minerais de uma rocha.

A mineralogia primária do minério de ferro depende basicamente do ambiente de formação. Os processos diagenéticos, deformacionais, metamórficos e/ou intempéricos, aos quais os corpos de minérios foram submetidos, são responsáveis pelas gerações das diferentes fases minerais

encontradas nesses corpos de minérios (Takehara, 2004).

Segundo Mendes (2008), a compreensão da natureza dos minerais é muito útil na identificação de alguns comportamentos geomecânicos dos rejeitos descartados numa barragem. O conhecimento da química dos rejeitos complementa essa compreensão junto à mineralogia, pois permitem estimar a sua densidade em função do peso específico dos elementos identificados. Essa avaliação também auxilia na análise de reações químicas, como processo de cimentação, formação de colóides, alteração de qualidade de água, tempo e volume necessário para decantação do rejeito e liberação de água para recirculação e a viabilidade de reprocessamento futuro do rejeito. A mineralogia integra uma visão geral

da cristalografia, da física e da química dos elementos que compõem uma rocha. Dois métodos muito utilizados para determinação da mineralogia são através da microscopia eletrônica de varredura e a microscopia ótica associadas a softwares específicos de análises mineralógicas.

Romeiro (1997) destaca que as rochas e minerais que possuem ferro são muito numerosos, porém, apenas algumas são comercialmente viáveis. Algumas delas estão apresentadas na Tabela 1 como a hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), limonita ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e siderita (FeCO_3).

Tabela 1 – Minerais do Minério de Ferro

Mineral	Fórmula Química	Conteúdo teórico de ferro
Magnetita	Fe_3O_4	72,4
Hematita	Fe_2O_3	69,9
Goethita	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	62,9
Limonita	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	59,8
Ilmenita	FeTiO_3	36,8
Siderita	FeCO_3	48,2
Pirita	FeS_2	46,5
Pirrotita	$\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$	61,0

Uma grande variedade de minerais é extraída no Brasil e no mundo, produzindo quantidades de tipos de rejeitos consideráveis. Seria muito difícil e desnecessário abordar o comportamento geotécnico de todos os tipos de rejeito conhecidos. Portanto o escopo deste trabalho restringiu-se apenas ao estudo de rejeito de minério de ferro.

1.1 Mineralogia do Minério de Ferro

A mineralogia dos rejeitos de minério de ferro é basicamente composta por hematita e quartzo às vezes goethita. O ferro, atrás do alumínio, é o metal mais abundante na crosta terrestre e muito raramente aparece sozinho na natureza, sendo encontrado na forma de óxidos, sulfetos e silicatos. Este é encontrado em quantidades variáveis em muitas rochas, especialmente nas rochas ricas em anfíbolitos, piroxênios, micas e olivinas.

O depósito mineral de ferro mais importante é formado por hematita. Esta possui uma pigmentação natural de marrom avermelhado a preto e tonalidades diversas causadas por impurezas e é muito comum em rochas metamórficas. A Hematita possui 70% de ferro na sua forma pura. A rocha de itabirito, rocha metamórfica, proveniente de depósitos marinhos ricos em ferro e sílica, é uma das principais rochas encontradas no Brasil de onde são extraídas a hematita e magnetita. Os itabiritos são ricos em quartzo (SiO_2), material de maior tamanho e grande rigidez, com classificação 7 na escala de Mohs. A separação do quartzo do ferro é feita pela cominuição dos grãos, produzindo areias finas silto argilosas como rejeitos. Os itabiritos menos silicosos constituem um bom minério de ferro e pela perda total do quartzo passam a hematita pura (Mendes, 2008).

A **magnetita** é definida por Guerra (2011) como um mineral de ferro que aparece, geralmente, em terrenos metamórficos, em pegmatitos e em algumas rochas sedimentares ou eruptivas. A magnetita é um óxido duplo de ferro. A magnetita pode também resultar da alteração da limonita ou da hematita. É um excelente minério de ferro. Forma uma massa compacta e possui magnetismo natural, sendo denominada pedra imã. A magnetita, mineral ferromagnético, detém força magnética muitas vezes maior do que o seu peso, mesmo sob ação de um campo com baixa intensidade. Devida a essa característica, a magnetita dificilmente é descartada em um rejeito oriundo de processo de beneficiamento por separação magnética.

A **goethita** é um dos minerais mais comuns e de grande importância na extração de ferro. Este mineral é tipicamente formado sob condições de oxidação como um produto de intempéries. Segundo Dana & Hurlbut (1984), a goethita, com a limonita, formam o “gossan” ou chapéu de ferro”, sobre os filões ou vieiros metalíferos. Encontram-se grandes quantidades de goethita como mantos lateríticos residuais, resultantes da interemperização de serpentinas. Os pseudomorfos muito comuns do que se vem chamando limonita, formada às expensas da pirita, provavelmente consistem em sua maior parte de goethita. Os depósitos de goethita são

formados por solução, transporte pela ação das águas superficiais, e nova precipitação de minerais de ferro preexistentes. O ferro é transportado como um carbonato até a superfície e depois levado pelas águas correntes para os brejos e depressões com água estagnada. Os depósitos de goethita são também encontrados com calcários portadores de ferro. O conteúdo de ferro do calcário pode ser gradualmente dissolvido por águas circulantes, sob condições favoráveis, pode, como goethita, substituir o carbonato de cálcio da rocha. O intemperismo gradual e a solução do calcário podem deixar como resíduo o conteúdo de ferro sob a forma de massas residuais de hidróxido férrico, localizadas na argila, acima da formação calcária. Possui dureza de 5 a 5,5 e densidade de 4,4 g/cm³ a 3,0 g/cm³ para material impuro.

A **siderita** é um carbonato de ferro, minério bem inferior aos óxidos desse metal como a hematita, limonita ou a magnetita. A siderita pode ser um minério primário ou mesmo secundário, isto é, pode resultar de um produto de alteração, onde existem minerais contendo ferro. Também é conhecido pelo nome de siderose (Guerra, 2011). A siderita tem a composição química de FeCO₃ que corresponde a 48,20 % de Fe, 37,99 % de CO₂ e 13,81 % de oxigênio, densidade específica de 3,83-3,88; sua cor varia de: branco a cinza esverdeado a marrom (Dana & Hurlburt, 1984).

Outros minerais estão associados aos minerais de óxidos de ferro acima mencionados. A seguir são apresentadas as definições desses minerais:

Quartzo: é um dos minerais mais comuns na natureza e o mineral não ferroso que mais se encontra associado no minério de ferro. Constitui as rochas ígneas ácidas (granito, riolito), sedimentares detríticas (arenitos) e metamórficas (quartzitos, gnaisses, xistos). Nas rochas é incolor (hialino), leitoso (branco translúcido), e/ou enfumado (cinza). As variedades coloridas são comuns. Frequentemente preenche fraturas ou veios em rochas de origem variada. O quartzo é muito resistente à alteração, sendo o principal constituinte das areias e solos arenosos e

densidade de 2,65 g/cm³ (Frasca & Sartori, 2011).

Gibbsita: é um mineral de alumina, na forma de gibbsita, que associa-se à hematita secundária mais facilmente do que a caulinita (Takehara, 2004).

Caulinita: constituinte das rochas sedimentares detríticas (grupo dos pelitos) e da argila dos solos. Origina-se da alteração de aluminossilicatos (feldspato e micas, principalmente). É refratária e não expansiva. Tem amplo emprego industrial (Frasca & Sartori, 2011).

Talco: constituinte de rochas metamórficas: esteatito ou pedra sabão, e xistos, junto com clorita, é formado pela alteração hidrotermal de silicatos magnesianos. Tem amplo emprego industrial. (Frasca & Sartori, 2011).

Muscovita: é a mica mais comum e importante das rochas metamórficas (gnaisse, xistos e quartzitos). Também ocorre em rochas ígneas, principalmente em pegmatitos. Na forma de sericita, variedade com hábito laminar, brilho sedoso e granulação mais fina, é um mineral secundário derivado de aluminossilicatos (feldspatos, nefelina e outros). Por intemperismo pode se alterar em caulinita ou gibbsita (Frasca & Sartori, 2011).

Biotita: é encontrada em rochas ígneas ácidas (granitos, riolitos) e intermediárias (sienitos, traquitos, dioritos e andesitos) e em rochas metamórficas (xistos, gnaisses). Altera-se em clorita. Por intemperismo e pela perda de álcalis, passa a ter cor marrom ou amarelo dourado e quando aquecida a 100°, se desfolha e desprega em fragmentos vermiformes (vermiculita) (Frasca & Sartori, 2011)..

Clorita: é encontrada em quase todos os tipos de rochas. É constituinte importante de rochas metamórficas (em especial, as clorita xistos ou xistos verdes). Mineral secundário formado pela alteração da biotita, piroxênios, anfibólios, granadas e olivinas. É flexível, mas não elástico. Às vezes se comporta como argilomineral, em especial quando apresenta granulação muito fina (argila) (Frasca & Sartori, 2011).

Calcita: é o carbonato de cálcio (CaCO₃). Ocorre em rochas sedimentares

(calcários) e metamórficas (mármore). Como mineral secundário encontra-se em veios e fraturas de rochas de naturezas diversas. Preenche, também, amígdalas em rochas basálticas. Mineral facilmente solúvel em meio ácido. Reage com HCl a frio, com forte efervescência pelo desprendimento de gás carbônico. (Frasca & Sartori, 2011).

Dolomita: é o carbonato de cálcio e magnésio. – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Ocorre em rochas sedimentares (calcários dolomíticos) e metamórficas (mármore dolomíticos). Menos solúvel em meio ácido que a calcita, reage fracamente em HCl a frio, com pouca efervescência. (Frasca & Sartori, 2011).

Titanita: São os óxidos de titânio (TiO_2). É um mineral acessório muito comum em rochas ígneas, especialmente as plutônicas, intermediárias e ácidas. Sua alteração produz leucoxênio (termo geral para se referir ao material fino, opaco e esbranquiçado, que consiste nos polimorfos de TiO_2 , rutilo e anatásio (Frasca & Sartori, 2011)).

Pirita: É um sulfeto. É um mineral acessório ou secundário em rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. Altera-se em limonita e sulfatos. (Frasca & Sartori, 2011).

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização Química

Para realização das análises químicas quantitativas e qualitativas foi utilizada a metodologia de fluorescência utilizando o equipamento Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X RIGAKU - SIMULTIX 12 (Figura 1). No laboratório químico as amostras passaram pelo processo de preparação apropriado para amostras fundidas. Foram analisadas amostras de rejeito total (80% de finos), além de amostras com 0, 10, 20, 30, 40 e 100% de finos na sua composição.

Os raios X são gerados utilizando-se um tubo de Raio-X. Os raios são utilizados para excitar a amostra que emite raios X característicos dos elementos constituintes das

amostras. Estes são separados pelos seus comprimentos de onda por meio de cristais. A detecção pode ser feita utilizando-se um detector de fluxo ou detector de cintilação.

Para a verificação da composição química do rejeito de minério de ferro foram realizadas análises em diversas amostras de rejeito variando-se o teor de finos em cada uma delas. Os principais elementos químicos do minério de ferro e consequentemente do rejeito são: ferro (Fe), sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fósforo (P), manganês (Mn), titânio (TiO_2), cálcio (CaO), magnésio (MgO) além das perdas por calcinação (PPC). Após realização das análises químicas foram gerados os dados dos ensaios em planilhas que serão apresentadas no Item 3.

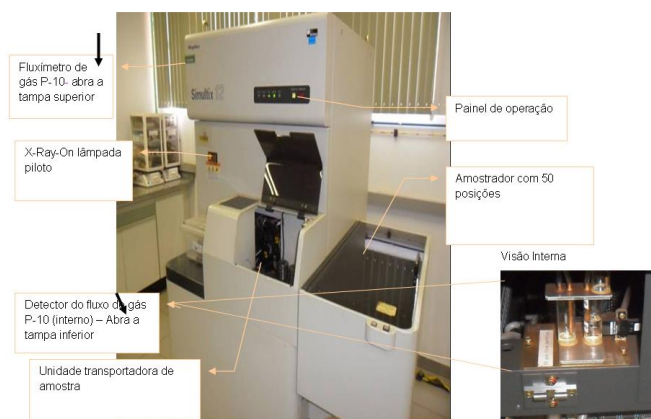


Figura 1. Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X RIGAKU - SIMULTIX 12

2.2 Caracterização Mineralógica

O objetivo da caracterização mineralógica foi determinar qualitativamente e quantitativamente os minerais componentes das amostras de rejeito analisadas. Os microscópios eletrônicos de varredura utilizados foram os do Centro de Microscopia da UFMG (CM-UFMG). Para os ensaios específicos de microscopia eletrônica de varredura as amostras foram preparadas conforme procedimento específico para cada microscópio, no total de amostras com 0, 80 e 100% de finos. A amostra com 80% de finos representou o rejeito total.

Os microscópios utilizados foram o QUANTA 3D FEG (Field Emission Gun) para as algumas análises químicas de microscopia e

o MLA 650 para as análises mineralógicas – Figura 2. A microscopia de varredura para determinação da química das amostras foi realizada somente para as amostras com 0 e 10 % de finos para uma comparação com as análises químicas realizadas por espectrometria. As análises de microscopia para a determinação da mineralogia dos rejeitos foram realizadas para todas as amostras com os variados percentuais de finos.



Figura 2. MEV's QUANTA 3D FEG para as algumas análises químicas de microscopia e as telas do MLA 650 utilizado em análises mineralógicas

No caso da microscopia eletrônica a área ou o microvolume a ser analisado é irradiado por um fino feixe de elétrons ao invés da radiação da luz. Como resultado da interação do feixe de elétrons com a superfície da amostra, uma série de radiações é emitidas, tais como: elétrons secundários, elétrons retroespalhados, raios-X característicos, elétrons Auger, fótons, etc. Estas radiações quando captadas corretamente irão fornecer informações

características sobre a amostra (topografia da superfície, composição, cristalografia, etc.).

Na microscopia eletrônica de varredura os sinais de maior interesse para a formação da imagem são os elétrons secundários e os retroespalhados. À medida que o feixe de elétrons primários vai varrendo a amostra estes sinais vão sofrendo modificações de acordo com as variações da superfície. Os elétrons secundários fornecem imagem de topografia da superfície da amostra e são os responsáveis pela obtenção das imagens de alta resolução. Já os retroespalhados fornecem imagem característica de variação de composição. Para a interpretação e tratamento dos resultados foram utilizados softwares específicos do tipo Mineral Liberation Analyser (MLA) ou Analisador de Liberação Mineral. Após a realização das microscopias, foram geradas planilhas com os dados qualitativos e quantitativos referentes àquela amostra, dos minerais identificados. Como a quantidade de rejeito utilizado é muito pequena, o resultado quantitativo não pode ser assumido como o real presente no campo, servindo apenas como um indicativo.

3 RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Caracterização Química

Os resultados obtidos na caracterização química das amostras de rejeito são apresentados na Tabela 2 que está dividida em 2 partes. Com base nos resultados das análises químicas do rejeito, pode-se concluir que os elementos químicos predominantes em todas as amostras são os óxidos de silício (sílica), com média de 52%, e de ferro, média de 31%. Os outros elementos químicos identificados nas análises representam 5% do total. Rejeitos com maior fração de sílica são mais grosseiros (granulares/arenosos) e, consequentemente, mais permeáveis, enquanto os rejeitos com maiores teores de ferro são mais finos e de baixa permeabilidade. Esse fenômeno ocorre pelo fato de grãos ultrafinos de ferro não serem atraídos pelos campos dos separadores magnéticos das usinas, sendo essa fração de finos, então, descartada nos rejeitos dos

processos de beneficiamento de minério de ferro.

Para um melhor entendimento dessa composição química dos rejeitos de minério de ferro, foram realizadas análises microscópicas de varredura no Centro de Microscopia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Tabela 2 - Composição química do rejeito com a variação do teor de finos

Elemento	REJEITO TOTAL	REJEITO 0 % DE FINO	REJEITO 10 % DE FINO	REJEITO 20 % DE FINO
Fe (%)	33,99	20,98	28,81	29,46
SiO ₂ (%)	46,01	66,89	54,65	52,82
Al ₂ O ₃ (%)	2,19	1,32	1,77	1,79
P (%)	0,062	0,048	0,053	0,048
Mn (%)	0,529	0,293	0,209	0,213
CaO (%)	0,136	0,162	0,106	0,111
MgO (%)	0,049	0,049	0,063	0,057
TiO ₂ (%)	0,078	0,048	0,071	0,071
PPC (%)	2,43	1,80	2,59	2,42

Elemento	REJEITO TOTAL	REJEITO 30 % DE FINO	REJEITO 40 % DE FINO	REJEITO 100 % DE FINO
Fe (%)	33,99	33,65	30,08	37,59
SiO ₂ (%)	46,01	47,12	52,74	40,59
Al ₂ O ₃ (%)	2,19	2,19	1,94	2,41
P (%)	0,062	0,054	0,053	0,066
Mn (%)	0,529	0,258	0,362	0,559
CaO (%)	0,136	0,100	0,130	0,095
MgO (%)	0,049	0,062	0,058	0,061
TiO ₂ (%)	0,078	0,094	0,068	0,086
PPC (%)	2,43	2,61	2,32	2,62

Obs: Fe: Ferro / SiO₂: Sílica / Al₂O₃: Alumina / P: fósforo / Mn: Manganês / CaO: Óxido cálcio / MgO: Magnésio / TiO₂: Titânio / PPC: Perda por calcinação

Nessa análise foram pesquisados os principais elementos químicos em amostras de rejeito com 0% e 10% de finos, onde constatou-se a predominância dos elementos químicos oxigênio, ferro e sílica. Além da composição

química, também foi observada o arranjo dos elementos químicos na amostra, bem como a geometria angular dos grãos. Na Figura 3 é apresentada uma imagem da microscopia eletrônica de varredura, destacando o elemento oxigênio em vermelho, presente em na maioria das partículas da amostra (óxidos de ferro e de silício principalmente).

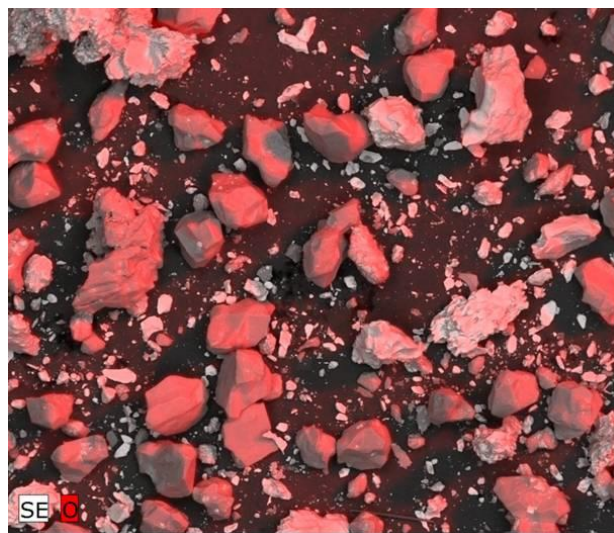


Figura 3. Imagem por microscopia eletrônica da amostra com 10% de fino (Oxigênio – vermelho) ampliada 200 vezes

3.2 Caracterização Mineralógica

A seguir, são apresentados os resultados das análises mineralógicas em 3 amostras de rejeito de minério de ferro: 0% de fino (Figura 4), 100% de fino (Figura 5) e rejeito total com 80% de finos (Figura 6). A Tabela 3 apresenta a mineralogia das 3 amostras. Nas imagens apresentadas nas Figuras 4 a 6, os principais elementos identificados estão assim representados: quartzo (amarelo), hematita (azul escuro), goethita (azul claro) poros (branco), demais minerais (outras cores), ampliados 50 vezes.

Com base nas análises mineralógicas, pode-se concluir que ela confirma indiretamente os resultados das análises químicas apresentadas na Tabela 2. O quartzo foi o mineral mais identificado nas amostras, na proporção média de 51,84%, confirmando os altos teores de sílicas já detectados nas análises químicas das amostras de rejeito. O segundo

mineral de maior ocorrência foi a hematita (23,86%), seguido da goethita (20,69 %). Os demais minerais representaram, em média, um teor de 3,61% do total das 3 amostras.

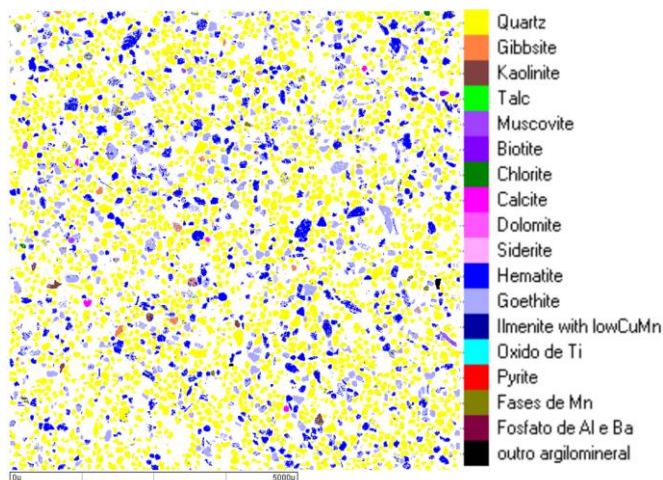


Figura 4. Amostra 0% de fino – Resultados da mineralogia por microscopia de varredura (MLA)

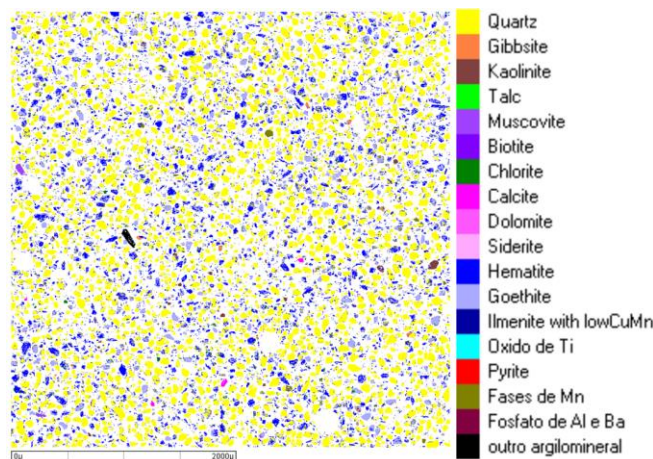


Figura 5. Amostra 100% de fino – Resultados da mineralogia por microscopia de varredura (MLA)

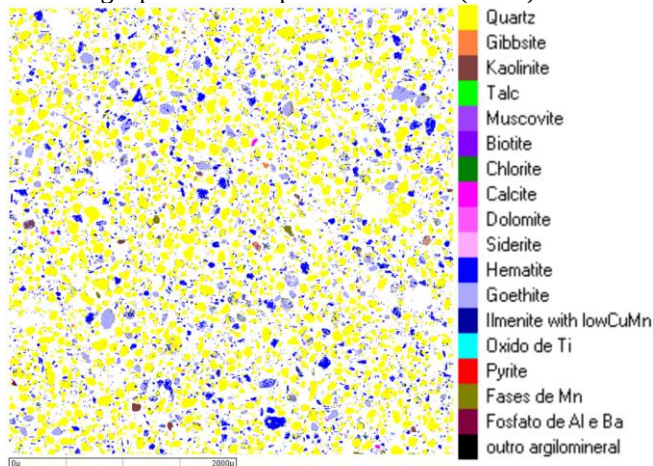


Figura 6. Amostra Rejeito Total – Resultados da mineralogia por microscopia de varredura (MLA)

Tabela 3 – Quadro comparativo da mineralogia das 3 amostras de rejeito

MINERAL	TEOR - % EM PESO			
	REJEITO (0% DE FINO)	REJEITO TOTAL (80% DE FINO)	REJEITO (100% DE FINO)	MÉDIA
Quartzo	53,316	56,895	45,308	51,839
Hematita	25,527	22,388	23,668	23,861
Goethita	18,930	16,793	26,339	20,687
Clorita	0,416	1,103	1,620	1,046
Gibbsita	0,376	0,192	0,241	0,270
Fases de Mn	0,376	1,083	1,162	0,874
Muscovita	0,343	0,658	0,895	0,632
Caulinita	0,283	0,290	0,296	0,290
Calcita	0,145	0,098	0,089	0,111
Siderita	0,137	0,106	0,140	0,128
Biotita	0,074	0,286	0,141	0,167
Caolinita ou Zunita	0,025	0,001	0,041	0,022
Talco	0,020	0,022	0,010	0,018
Limonita	0,019	0,054	0,029	0,034
Dolomita	0,008	0,016	0,015	0,013
Titanita	0,003	0,002	0,004	0,003
Fosfatos de Al e Ba	0,001	0,012	0,002	0,005
Total	100	100	100	100

Outra conclusão relevante é a maior presença, no total de 50%, de óxidos de ferro, compostos pela hematita e goethita, na amostra de rejeito com 100% de fino. Esse percentual igualmente confirma os resultados das análises químicas da Tabela 2, que também identificaram maiores teores de ferro na fração mais fina do rejeito. Outra conclusão é que a goethita é mais presente na amostra com 100% de finos. Isso pode ser explicado pelo fato da goethita, por ser menos resistente, se torna mais vulnerável aos impactos dos processos de beneficiamento (britagem), que a fragmenta em partículas menores.

Outra conclusão relevante é que nas análises mineralógicas não foram identificadas partículas de minerais de magnetita. Essa ausência pode ser explicada pelo fato da magnetita ser ferrimagnética, ou seja, são atraídas facilmente pelos campos dos separadores magnéticos. Dessa forma seu descarte nos rejeitos é anulado. A Tabela 3 apresenta um resumo dos principais minerais identificados nas 3 amostras de rejeito.

4 CONCLUSÕES

As análises químicas confirmaram a predominância dos óxidos de ferro e de silício (sílica) nos rejeitos. Essa maior intensidade do ferro e da sílica em todas as amostras de rejeito foram confirmadas pelas análises mineralógicas, que identificaram o domínio absoluto dos minerais de ferro (hematita e goethita) e de sílica (quartzo).

Frações mais finas de rejeito apresentaram maiores teores de ferro, devida a dificuldade de separadores magnéticos atraírem partículas menores.

A partir do conhecimento prévio da mineralogia do rejeito de minério de ferro, é possível prever algumas de suas características geotécnicas com base na mineralogia do minério ainda na fase de lavra.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à mineradora VALE S.A pelo apoio nessa pesquisa e ao Centro de Microscopia da Universidade Federal de Minas Gerais (CM-UFGM) pelas análises de microscopia eletrônica.

REFERÊNCIAS

- Dana, J. D. & Hurlburt JR., C. S. (1984) Manual de Mineralogia. Ed. Livros Técnicos e Científicos Ed. S.A. Rio de Janeiro, 9ª Ed. 642 p.
- Frasca, M.H.B.O, Sartori, P.L.P (2011) Minerais e Rochas. Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia - ABGE. São Paulo, SP.
- Guerra, A.T, Guerra, A.J.T. (2011) Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico.. Rio de Janeiro, RJ.
- Mendes, M B. (2008) Comportamento geotécnico de uma barragem de rejeito de minério de ferro alteada para montante. 2008. 189 p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Press, F., Grotzinger, J., Siever R R., Jordan, T.H. (2008) Para Entender a terra.. São Paulo. SP.
- Romeiro, S.B.S.(1997) Química na Siderurgia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. RS.
- Takehara, L. (2004) Caracterização geometalúrgica dos principais minérios de ferro brasileiros – fração Sinter Feed. Tese de Doutorado. Instituto de Geociência, Programa de Pós-Graduação em Geociência, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 403 p.