

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM
ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS – CEERMIN**

MONOGRAFIA

**UMA REVISÃO SINTÉTICA SOBRE MINERAIS, O PROCESSAMENTO
MINERAL E MINERALOGIA APLICADA**

Aluno: Vinícius Soares Pires e Luz

Orientador: Paulo Roberto de Magalhães Viana

Junho 2012

Vinícius Soares Pires e Luz

**UMA REVISÃO SINTÉTICA SOBRE MINERAIS, O PROCESSAMENTO
MINERAL E MINERALOGIA APLICADA**

Monografia apresentada à
Universidade Federal de Minas
Gerais, como requisito parcial para
obtenção do título de Pós-Graduação
em Engenharia de Recursos Minerais.

Professor orientador: Paulo Roberto
de Magalhães Viana.

Junho 2012

DEDICATÓRIA

A Deus que me deu força para chegar até aqui. Aos meus pais,
Antônio Pires da Luz e Maria de Lourdes Soares Pires, por me apoiarem sempre.
A minha irmã Vanessa e meu cunhado Josias pelo apoio e companheirismo de sempre.
Aos meus sobrinhos Rafael e Gabriel que são de fundamental importância para minha vida.
Ao meu amor Jeane, por sempre estar ao meu lado.
Aos meus familiares que mesmo longe sempre estão presentes.
Aos meus amigos, que fizeram parte da minha vida ao longo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Paulo Roberto de Magalhães Viana, meu orientador, pela sua atenção, disponibilidade e compreensão durante a preparação do trabalho.

Ao grupo de professores pelos ensinamentos e apoio.

A todos que fizeram parte dessa longa jornada de estudos.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. DESENVOLVIMENTO.....	12
3.1 Definições Básicas.....	12
3.1.1 Mineral.....	12
3.1.2 Rocha.....	13
3.1.3 Minério.....	14
3.2 Formação dos Minerais.....	14
3.3 Classificação dos Minerais.....	15
3.4 Propriedades Físicas dos Minerais.....	17
3.4.1 Clivagem, partição e fratura.....	17
3.4.2 Dureza.....	19
3.4.3 Tenacidade.....	20
3.4.4 Densidade relativa.....	20
3.4.5 Propriedades dependentes da luz.....	21
3.5 Processamento de Minérios.....	22
3.5.1 Cominuição.....	24
3.5.2 Classificação.....	29
3.5.3 Concentração.....	31
3.6 Mineralogia Aplicada – Caracterização Mineralógica.....	33
3.6.1 Fracionamento.....	33
3.6.2 Identificação das Fases.....	37
4. CONCLUSÕES.....	40
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Fluxograma típico de tratamento de minérios.....	23
Figura 3.2a: Britador Cônico	26
Figura 3.2b: Britador Giratório.....	26
Figura 3.2c: Britador de Mandíbula	26
Figura 3.3a: Moinho de Bolas	27
Figura 3.3b: Moinho de Barras.....	27
Figura 3.4: Circuito “clássico” de cominuição.....	28
Figura 3.5a: Peneira Vibratória	30
Figura 3.5b: Grelha Vibratória	30
Figura 3.6: Classificador Espiral	31
Figura 3.7: Separador Magnético de Baixa Intensidade.....	32
Figura 3.8: Colunas de Flotação	32
Figura 3.9: Exemplo de fluxograma para caracterização tecnológica de minérios.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Tipos de rochas	13
Tabela 3.2: Classificação dos minerais.....	15
Tabela 3.3: Classificação dos minerais quanto ao uso final	16
Tabela 3.4: Escala de dureza de Mohs	19
Tabela 3.5: Estágios de britagem e moagem	28

RESUMO

Na indústria mineral a mineralogia é de fundamental importância para o tratamento de minérios. Para adquirir maior eficiência nos processos de beneficiamento de minérios, é necessário dispor de um maior conhecimento sobre os minerais a serem tratados. Com isso, podem-se selecionar os equipamentos e uma rota de processo mais adequada para as especificações do minério. Neste sentido, este trabalho visa apresentar de forma clara e objetiva, um estudo sobre a mineralogia e o processamento de minérios. Foi feita uma revisão bibliográfica com foco nos principais elementos associados à mineralogia aplicada. Conclui-se que para o desenvolvimento de uma rota de processo, é necessário um estudo mais detalhado do mineral e minério antes do estudo de cada equipamento.

Palavras-chave: processamento de minérios, minerais, mineralogia.

ABSTRACT

In the mining industry the mineralogy has fundamental importance for the treatment of ores. To achieve a greater efficiency in the ore treatment, it is necessary to have profound knowledge about the minerals to be treated. Thus, one can select the equipment and a process route most suitable for the specifications of the ore. The present paper presents a clear and objective revision of mineralogy and mineral processing. We conducted a literature review focusing on the key elements associated with the applied mineralogy. It is concluded that the development of a process route depends on the state of each equipment.

Keywords: processing of ores, minerals, mineralogy.

1. INTRODUÇÃO

O processamento de minérios é o conjunto de operações básicas que são realizadas em uma matéria prima mineral a fim de gerar valor ao produto para comercialização. Para se obter as especificações definidas pelo cliente, o estudo dos minerais é de fundamental importância para a seleção dos equipamentos que serão utilizados para atingir tal objetivo.

Os minerais precisam ser classificados para facilitar sua identificação. Esta classificação via de regra se associa às suas características principais como metálicos, não metálicos, cor, clivagem, dureza, entre outras.

OBJETIVOS

- Rever conceitos básicos associados à mineralogia aplicada;
- Apresentar as diferentes formas de classificação dos minerais;
- Rever conceitos sobre mineralogia e o processamento de minérios;
- Apresentar conceitos sobre as propriedades físicas dos minerais.

2. DESENVOLVIMENTO

3.1 Definições Básicas

3.1.1 Mineral

Press, Grotzinger, Siever e Jordan (2006) definem os minerais como substância sólida, cristalina, de ocorrência natural e com uma composição química específica, com elementos encontrados naturalmente na crosta terrestre. São substâncias homogêneas e não podem ser divididos, por meios mecânicos, em componentes menores, geralmente de origem inorgânica.

Para uma substância ser caracterizada como sendo um mineral, deve ser encontrada diretamente na natureza, dessa forma, vem a definição “de ocorrência natural”.

As minúsculas partículas de matéria, ou átomos, que compõem os minerais estão dispostas em um arranjo tridimensional ordenado e repetitivo. Os materiais sólidos que não tem um arranjo ordenado desse tipo não são considerados minerais.

Os minerais são definidos como substâncias inorgânicas, porém, muitos minerais podem, entretanto, ser eventualmente secretados por organismos. Um desses minerais, a calcita, forma as conchas de ostras e de muitos outros organismos. A calcita dessas conchas, que constitui a parte principal de muitos calcários, satisfaz a definição de mineral, por ser inorgânica e cristalina.

O que torna único cada mineral é a sua composição química e a forma como os átomos estão dispostos na sua estrutura interna. A composição química de um mineral, dentro de limites definidos, tanto pode ser fixa como variável.

3.1.2 Rocha

Leins e Amaral (1975) definem as rochas como compostos naturais de minerais de um só tipo ou de diversos tipos. São individualizadas pelo fato dos minerais obedecerem às leis físicas, químicas ou físico químicas para se agregarem.

São encontrados na natureza três tipos de rochas, conforme tabela 3.1.

Tabela 3.1: Tipos de rochas

Tipos de Rochas	Definição	Podem ser	Formação	Exemplos
Magmática	Formada pela solidificação do magma	Intrusivas ou Plutônicas	Formadas pelo lento resfriamento do magma no interior do globo terrestre	Granito, sienito, diorito
		Extrusivas ou Vulcânicas	Formadas pelo rápido resfriamento do magma no exterior da crosta	Basalto, diabásio, andesito
Sedimentares	Formadas por sedimentos clásticos ou detriticos e por precipitados químicos e orgânicos	Clásticas ou Detriticas	Intemperismo sobre rochas antigas gerando fragmentos ou detritos.	Arenito, tilitos
		De Precipitação Química	Intemperismo das rochas fontes, onde há a liberação de substâncias químicas solúveis em água	Estalactite, dolomitos
		Orgânicas ou Biogênicas	Resultam do acúmulo de restos de animais e vegetais	Carvão mineral
Metamórficas	Formadas a partir das transformações sofridas pelas rochas magmáticas e sedimentares em razão do calor e de pressões do interior da crosta ou no movimento das placas tectônicas	-	Através de alterações de pressão e temperatura	Ardósia, filitos, xistos, gnaisses, quartzitos, mármore

Fonte: Adaptado de Marangon, Márcio – Elementos de Geologia, 1995 disponível em <http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2009/10/Apostila-prof.-Marangon1.pdf>

Os constituintes básicos das rochas são os minerais. Na maioria dos casos, com ferramentas apropriadas, podem ser separadas em cada um dos minerais que as constituem. Poucos tipos de rochas, como os calcários calcíticos, contêm apenas um mineral (nesse caso, a

calcita). Outros tipos, como o granito, são constituídos de vários minerais diferentes. Para identificar e classificar os diversos tipos de rochas que compõem a Terra e entender como se formam deve-se conhecer os minerais.

3.1.3 Minério

Branco (1982) define minério como associação de minerais das quais se podem extrair com proveito econômico, uma ou mais substâncias úteis, sejam metais ou compostos químicos. São rochas contendo minerais que podem ser recuperados com o objetivo de se obter lucro.

3.2 Formação dos Minerais

Press, Grotzinger, Siever e Jordan (2006) definem que a formação dos minerais se dá através do processo de cristalização, que é o crescimento de um sólido a partir de um gás ou líquido. As estruturas cristalinas são em grande parte determinadas pela forma como os anions estão dispostos e pela maneira como os cátions se colocaram entre eles.

A cristalização começa com a formação de cristais microscópicos individuais, que são arranjos tridimensionais ordenados de átomos nos quais o arranjo básico repete-se em todas as direções.

3.3 Classificação dos Minerais

Uma das classificações utilizadas para os minerais está descrita na tabela 3.2. Os minerais podem ser classificados como metálicos e não metálicos.

Tabela 3.2: Classificação dos minerais

CLASSIFICAÇÃO DOS MINERAIS		
Metálicos	Abundantes	ferro, manganês, alumínio
	Escassos	ouro, prata, chumbo, zinco
Não metálicos	De usos químicos, fertilizantes e especiais	fosfatos, nitratos, enxofre, cloreto de sódio
	Materiais de construção	Amianto
	Água	lagos, rios, lençóis subterrâneos

Fonte: Adaptado de Skinner, Brian J. Recursos minerais da Terra. Edgar Blücher, p.8. 1970

Complementando a ideia de Skinner (1970), Luz e Lins (2008), definem três grandes classes para classificação dos minerais. Os minerais metálicos, dos quais são extraídos os metais para os mais diversos tipos de aplicação, os energéticos, que são derivados de diversas modalidades de energia e os minerais não metálicos, são os minerais que não fazem parte da classe dos minerais metálicos e nem dos minerais energéticos.

A classificação dos minerais proposta por Luz e Lins (2008) está descrita na tabela 3.3, onde sua classificação está relacionada com o uso final dos minerais.

Tabela 3.3: Classificação dos minerais quanto ao uso final

CLASSIFICAÇÃO DOS MINERAIS		
Minerais Metálicos	Ferrosos	Ferro, manganês, cromo, níquel, cobalto, molibdênio, nióbio, vanádio, wolfrâmio
	Não ferrosos	Cobre, zinco, chumbo, estanho, alumínio, magnésio, titânio e berilo
	Preciosos	Ouro, prata, platina, ósmio, irídio, paládio, rutênio, e ródio
	Raros	Escândio, índio, germânio, gálio
Rochas e Minerais Industriais (RMI's)	Estruturais ou para construção civil	Granito, gnaisse, quartzito, mármore, ardósia, calcário
	Indústria química	Enxofre, barita, bauxita, fluorita, cromita, pirita, amianto, gipsita, vermiculita
	Cerâmicos	Argilas, caulins, feldspatos, sílica, talco, zirconita
	Refratários	Magnesita, bauxita, cromita, grafita, cianita
	Isolantes	Amianto, vermiculita, mica
	Fundentes	Fluorita, calcário, criolita
	Abrasivos	Diamante, granada, quartzito, coríndon
	Minerais de carga	Talco, gipsita, barita, caulim, calcita
	Pigmentos	Barita, minerais de titânio
	Agrominerais	Fosfato, calcário, sais de potássio, enxofre, feldspato, flogopita, gipsita, zeólita
	Minerais "ambientais" ou "verdes"	Bentonita, atapulgita, zeólitas, vermiculita
Gemas	Pedras preciosas	Diamante, esmeralda, safira, turmalina, opala, topázio, águas marinhas, ametista
Águas	Minerais	-
	Subterrâneas	-
Minerais Energéticos	Radioativos	Urânio e tório
	Combustíveis fósseis*	Petróleo, turfa, linhito, carvão e antracito

*Embora não sejam cristalinos e nem de composição inorgânica, são estudados pela geologia e extraídos por método de mineração.

Fonte: Adaptado de Luz, Adão Benvindo da; Lins, Fernando A. Freitas, Rochas e Minerais Industriais usos e especificações, Rio de Janeiro, 2008

Strunz (1941) desenvolveu a classificação de minerais mais utilizada na mineralogia. Foi considerado por ele, a estrutura e a composição química dos minerais. Esta classificação subdivide os minerais em 12 grandes grupos, baseando-se na composição química, sendo que esses grupos são subdivididos com base na organização estrutural. Dessa forma tem-se: elementos nativos, sulfetos, sulfossais, óxidos e hidróxidos, halogenetos, carbonatos, nitratos, boratos, sulfatos e cromatos, fosfatos, arsenietos e vanadatos, tungstatos e molibdatos, e silicatos (nesossilicatos, sorossilicatos, ciclossilicatos, inossilicatos, filossilicatos e tectossilicatos).

Os minerais podem ser classificados ainda de acordo com as suas propriedades físicas, coloração e brilho, solubilidade, susceptibilidade magnética, densidade, fusibilidade, radioatividade, tenacidade e propriedades químicas, elementos nativos, sulfetos, óxidos, carbonatos, fosfatos, silicatos.

3.4 Propriedades Físicas dos Minerais

Através das propriedades físicas dos minerais, os mesmos podem ser reconhecidos rapidamente pela vista ou determinados mediante ensaios simples.

3.4.1 Clivagem, partição e fratura

Quando um mineral se rompe, com a aplicação de uma força adequada, e produz superfícies planas, diz-se que um mineral possui clivagem. Ela é uma propriedade direcional e qualquer plano paralelo através do cristal é um plano de clivagem potencial. A clivagem é sempre paralela às faces possíveis do cristal, pois tanto as faces como a clivagem refletem a mesma estrutura cristalina. (DANA, 1976).

Para que ocorra a clivagem, é necessário que entre uma família de átomos paralelos haja um tipo de ligação fraca, além disso, ela depende da estrutura do cristal. No caso da grafita, que tem uma clivagem em placas, sua origem está diretamente ligada ao fato de existir uma ligação fraca entre as placas, o que não ocorre dentro das placas. O diamante, que não tem

mais que um tipo de ligação, tem uma excelente clivagem devido ao longo espaço dos planos reticulares contendo espaçamento máximo. (PERONI, 2003).

Para Dana (1976), nem todos os minerais apresentam clivagem e somente poucos, a exibem em grau notável. Quando da descrição de uma clivagem, deve-se indicar sua qualidade, facilidade de produção e direção cristalográfica.

Segundo Dana (1976), a partição de um mineral se dá através do rompimento de alguma superfície plana cujo desenvolvimento do plano de menor resistência estrutural foi devido ao fato do mineral ter sido submetido à certa tensão ou pressão. Embora parecido com a clivagem, nem todas as espécimes de certo mineral o apresentarão, apenas os geminados ou que tenham sido submetidos a pressão adequada.

Peroni (2003) define que a fratura refere-se à maneira pela qual um mineral se parte, exceto quando ela é controlada pelas propriedades de clivagem e partição. Ou seja, entende-se por fratura de um mineral a maneira pela qual ele se rompe quando isto não se produz ao longo de superfícies de clivagem ou de partição. Muitos minerais apresentam em sua característica, estilos de fraturação, muito importantes para a identificação dos mesmos.

Dana (1976), e posteriormente Peroni (2003), em seus estudos, apresentam os seguintes termos utilizados para identificar as diferentes espécies de fratura:

- Concóide. Quando a fratura tem superfícies lisas, curvas, semelhantes à superfície interna de uma concha. Esta é a observação mais comumente em substâncias como o quartzo.
- Fibrosa ou estilhaçada. Quando o mineral se rompe mostrando estilhaços ou fibras.
- Serrilhada. Quando o mineral se rompe segundo uma superfície denteada, irregular, com bordas cortantes.
- Desigual ou irregular. Quando o mineral se rompe formado superfícies rugosas e irregulares.

3.4.2 Dureza

Segundo Dana (1976) a dureza está diretamente ligada à força de ligação dos átomos, íons ou moléculas que formam a estrutura, quanto mais fortes as forças de união entre os átomos, mais duro será o mineral. A dureza expressa à resistência que sua superfície lisa oferece ao ser riscado. O grau de dureza é determinado, observando-se a facilidade ou dificuldade relativa com que um mineral é riscado por outro. Escolheu-se uma série de dez minerais comuns para servir como escala, podendo ser dita a dureza relativa de qualquer mineral mediante comparação com a dos minerais da escala. Os minerais seguintes dispostos na ordem de sua dureza crescente compreendem o que se conhece por escala de dureza de Mohs (tabela 3.4).

Tabela 3.4: Escala de dureza de Mohs

Dureza	Padrão	Composição Química	Observações
1	Talco	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	Risca-se com a unha.
2	Gipsita	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Risca-se com plástico comum e prego.
3	Calcita	$CaCO_3$	Risca-se com prego e canivete de aço.
4	Fluorita	CaF_2	Risca-se com lima de aço e vidro de quartzo.
5	Apatita	$Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$	Material constituinte de ossos de animais.
6	Ortoclásio	$KAlSi_3O_8$	Não se risca com prego. Dureza do vidro comum.
7	Quartzo	SiO_2	Não se risca com canivete de aço e vidro comum.
8	Topázio	$Al_2SiO_4(OH,F)_2$	Não se risca com lima de aço.
9	Coríndon	Al_2O_3	Material correspondente a abrasivo "alundum".
10	Diamante	C	Nenhum material pode riscar o diamante.

Fonte: Peroni, Rodrigo, Mineralogia – Estudo dos Minerais, disponível em http://www.lapes.ufrgs.br/discipl_grad/geologia1/peroni/GEO1_Peroni.html

O diamante é o mineral mais duro, seus átomos de carbono estão ligados a ponto de que nenhum outro mineral pode separá-los. O talco, por sua vez, é o mineral menos duro na escala, sua estrutura é constituída de placas unidas de forma tão fraca que com a pressão dos dedos é suficiente para fazer com que uma placa deslize sobre a outra.

Para a determinação de qualquer mineral, em relação à escala de dureza já apresentada, é necessário descobrir quais destes minerais, ele pode ou não riscar, observando as marcas

deixadas por um mineral sobre o outro, pode um traço ou apenas uma marca sobre o outro mineral. É sempre aconselhável, no processo de determinação da dureza de um mineral, que se inverta a ordem do processo, entre dois minerais, o primeiro deverá riscar o segundo, bem como o segundo deverá riscar o primeiro. (DANA, 1976).

3.4.3 Tenacidade

Segundo Dana (1976) e, posteriormente Peroni (2003), a tenacidade mede a resistência de um mineral a ser quebrado, dobrado ou esmagado. Ela não está diretamente ligada à dureza, são independentes, como por exemplo, o diamante que possui dureza muito elevada e sua tenacidade é relativamente baixa, sendo submetido a um impacto, o mesmo se quebra facilmente. A tenacidade dos minerais é expressa em termos qualitativos, onde para descrever as várias espécies de tenacidade, é utilizando uma linguagem padronizada:

- Quebradiço – o mineral parte-se ou é pulverizado com facilidade;
- Maleável – o mineral, por impacto, pode ser transformado em lâminas;
- Séctil – o mineral pode ser cortado para formar fios;
- Flexível – o mineral pode ser curvado sem, no entanto, voltar à sua forma original quando ao cessar a pressão;
- Elástico – o mineral pode ser curvado, voltando à sua forma original quando o forçamento cessa.

3.4.4 Densidade relativa

A densidade relativa de um mineral é medida pela relação direta entre a massa e o volume do mineral. O que significa que o mineral pesa o valor da sua densidade multiplicado pelo mesmo volume de água (a uma temperatura de 4°C) deslocado. (DANA 1976).

Segundo Dana (1976), através da determinação da densidade relativa, é possível que se obtenha uma aproximação da composição química do mineral. Alguns métodos de se obter

a densidade relativa de um mineral são: balança de Jolly, picnômetro, líquidos pesados e o cálculo da densidade relativa.

3.4.5 Propriedades dependentes da luz

As propriedades físicas dos minerais resultam da sua composição química e das suas características estruturais. As propriedades físicas mais facilmente comparáveis são as mais utilizadas na identificação de um mineral. Na maioria das vezes, essas propriedades, e a utilização de tabelas adequadas, são suficientes para uma correta identificação. Quando não é possível, ou quando um elevado grau de ambiguidade persiste, como no caso de muitos isomorfos similares, a identificação é realizada a partir da análise química, de estudos de óptica ao microscópio petrográfico ou por difração de raios X ou de neutrões.

O brilho depende da absorção, refração ou reflexão da luz pelas superfícies frescas de fratura do mineral. O brilho é facilmente observado à olho nu ou à lupa e descrito em termos comparativos utilizando um conjunto de termos padronizados. Os brilhos são em geral agrupados em: metálico e não metálico ou vulgar. Diz-se que o brilho é não metálico, ou vulgar, quando não é semelhante aos dos metais, sendo característico dos minerais transparentes ou translúcidos. Dentro das grandes classes atrás apontadas, segundo Dana (1976), o brilho de um mineral pode ser descrito como:

Brilhos não metálicos:

- Vítreo – Tendo brilho de vidro como, por exemplo, o quartzo;
- Resinoso – Tendo aparência de resina, por exemplo, esfalerita;
- Nacarado – Tendo a aparência iridescente como uma pérola. Isto se observa usualmente nos minerais, nas superfícies paralelas aos planos de clivagem. Exemplo: plano basal da apofilita.
- Gorduroso – Com a aparência de estar recoberto por uma camada delgada de óleo. Exemplos: nefelina e alguns espécimes de esfalerita e de quartzo maciço.

- Sedoso – Como sêda. É o resultado de um agregado paralelo de fibras finas. Exemplos: gipsita, malaquita e serpentina.
- Adamantino – Tendo brilho igual ao do diamante.

Brilhos metálicos:

Segundo Peroni (2003), o brilho metálico é o que se assemelha ao dos metais, sendo característico de minerais opacos como a galena, a calcopirita e a pirita. Os minerais quase opacos, como a cromita, tem um brilho que faz lembrar o dos metais, mas não tão intenso.

A cor é uma característica extremamente importante dos minerais. Pode variar devido a impurezas existentes em minerais como o quartzo, o corindon, a fluorita, a calcita, turmalina, entre outros. Em outros casos, a superfície do mineral pode estar alterada, não mostrando sua verdadeira cor. A origem da cor nos minerais está principalmente ligada à presença de íons metálicos, fenômenos de transferência de carga e efeitos da radiação ionizante. (DANA, 1976).

A cor do traço de um mineral pode ser observada quando uma louça ou porcelana branca é riscada. A clorita, a gipsita (gesso) e o talco deixam um traço branco, enquanto o zircão, a granada e a estauroлита deixam um traço castanho avermelhado. O traço de um mineral fornece uma importante característica para sua identificação, já que permite diferenciar materiais com cores e brilhos similares. (PERONI, 2003)

3.5 Processamento de Minérios

De acordo com Valadão e Araújo (2007), o processamento de minérios, por definição, é o conjunto de operações básicas que são realizadas em uma matéria prima mineral com o objetivo de se obter produtos com especificações definidas a fim de serem comercializados.

Luz, Sampaio e França (2010), definem o termo tratamento ou beneficiamento de minérios, como o conjunto de operações aplicadas ao bem mineral objetivando modificar sua

granulometria, a concentração das espécies minerais presentes ou a forma, sem modificar a identidade química ou física do mineral.

A figura 3.1 demonstra um fluxograma típico de tratamento de minérios, processo pelo qual a matéria bruta passa até se transformar em um produto com as devidas especificações para a comercialização.

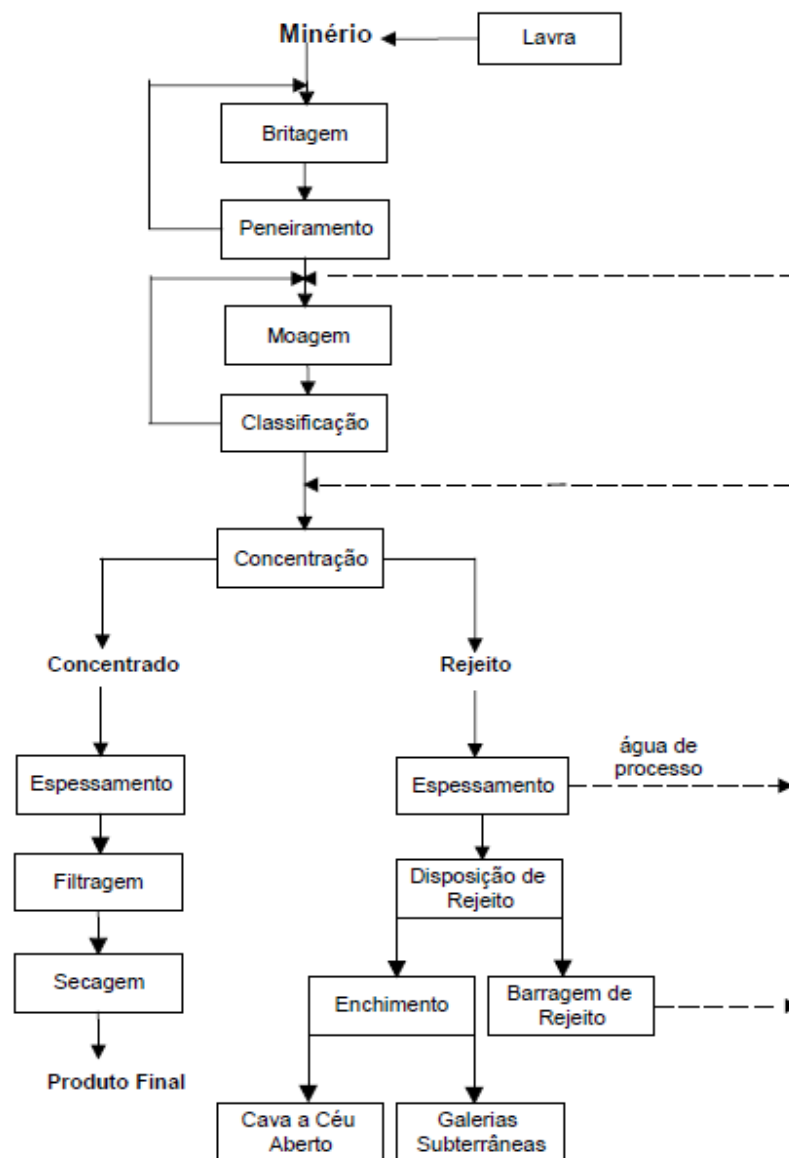


Figura 3.1: Fluxograma típico de tratamento de minérios.

Fonte: Luz, Adão Benvindo da; Sampaio, João Alves; França, Sílvia Cristina A., Tratamento de Minérios, CETEM, Rio de Janeiro, 2010

Segundo Chaves (2002), o objetivo principal do processamento de minerais é produzir o valor máximo, a partir de uma determinada matéria prima. Este objetivo pode ser um produto britado com um determinado tamanho e formato ou a recuperação máxima de metais a partir de um minério complexo.

Para Valadão e Araujo (2007), o conjunto de operações necessárias para a realização do processamento de uma matéria prima mineral inclui, mas não se restringe a fragmentação, separação por tamanho, concentração, separação sólido/líquido e disposição de rejeitos e diversas outras operações auxiliares como manuseio, transporte, amostragem e estocagem. As operações das diversas fases do processamento de minérios são apresentadas de forma conjunta, arranjadas sequencialmente com o objetivo de aumentar a recuperação dos minerais úteis contidos no minério, além de adequar os produtos as especificações solicitadas pelos clientes.

A distribuição granulométrica é um aspecto de fundamental importância para todos os processos referentes ao tratamento de minérios. Sua importância, além de estar ligada principalmente a obtenção de produtos intermediários e finais, afeta todas as operações no processo de tratamento de minérios. (VALADÃO E ARAÚJO, 2007).

À medida que o tempo passa os minerais vão ficando cada vez mais escassos e com menor teor de substância mineral útil. O tratamento de minérios procura viabilizar o aproveitamento destes recursos de acordo com as especificações e interesse do usuário final, com as diferentes características de cada produto e relacionado também a qualidade física e composição química dos minerais.

3.5.1 Cominuição

Chaves e Peres (2003) em seus estudos definem cominuição como o conjunto de operações executadas no processamento de minérios com o objetivo de redução de tamanho das partículas minerais.

Os objetivos pelos quais se realiza as operações de cominuição dentro do processamento de minérios são:

- Permitir o manuseio do material;
- Permitir o transporte contínuo;
- Permitir a utilização do minério;
- Liberar as partículas dos minerais úteis e dos minerais de ganga.

Para facilitar a movimentação do material de mineração, ele precisa ter seu volume reduzido, dessa forma, o material britado poderá ser transportado através de transportadores de correia. Para utilização do minério, seu tamanho deve ser bem definido, sendo mais fino ou mais grosso, dependendo de sua utilização. (CHAVES E PERES, 2003)

As operações de cominuição são a britagem (figura 3.2) e a moagem (figura 3.3). Para realização do processo de britagem, é necessário certo volume de partículas com tamanhos maiores. Ela depende de forças de compressão, impacto ou cisalhamento, as forças aplicadas são elevadas e a geometria do equipamento tem importância fundamental. Diferente da britagem, que tem uma relação de redução pequena, a moagem leva a relações de redução grandes e usualmente é feita em dois estágios, a grossa em moinho de barras e circuito aberto e a fina em moinho de bolas, em circuito fechado, suas operações estão ligadas a faixas de tamanho abaixo de $\frac{3}{4}$ " e utiliza mecanismos de arredondamento de partículas, quebra de pontas e abrasão. (CHAVES E PERES, 2003). O conjunto de figuras 3.1 a 3.3 ilustra diversos equipamentos de cominuição.



Figura 3.2a: Britador Cônicos

Fonte: [http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/\\$First?OpenDocument](http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/$First?OpenDocument)



Figura 3.2b: Britador Giratório

Fonte: [http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/\\$First?OpenDocument](http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/$First?OpenDocument)



Figura 3.2c: Britador de Mandíbula

Fonte: [http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/\\$First?OpenDocument](http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/$First?OpenDocument)



Figura 3.3a: Moinho de Bolas

Fonte: [http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/\\$First?OpenDocument](http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/$First?OpenDocument)



Figura 3.3b: Moinho de Barras

Fonte: [http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/\\$First?OpenDocument](http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/$First?OpenDocument)

A tabela 3.5, distingue seis estágios de cominuição, com suas relações de redução e tamanho máximo de alimentação e produto:

Tabela 3.5: Estágios de britagem e moagem

Estágio	Relação de redução	Tamanho máximo	
		Alimentação	produto
Britagem primária	8:1	5 a 21/2 ft	>1 ft a 4'
Britagem secundária	6 a 8:1	25*(cônicos)	4 a 3/4"
Britagem terciária	4 a 6:1		1 1/8"
Britagem quaternária	Até 20	3* ou 1 1/4"	12' a 20#
Moagem grossa	Até 20	3/4" a 3/8"	6 a 35#
Moagem fina	100 a 200	1/2"	fino

* depende da câmara do britador

Fonte: Chaves, Arthur Pinto; Peres, Antônio Eduardo Clark, Teoria e Prática do Tratamento de Minérios – Britagem, Peneiramento e Moagem, Volume 3, 2ª Ed. Editora Signus, 2003

A figura 3.4 representa um exemplo clássico de circuito de cominuição, envolvendo britagem e moagem.

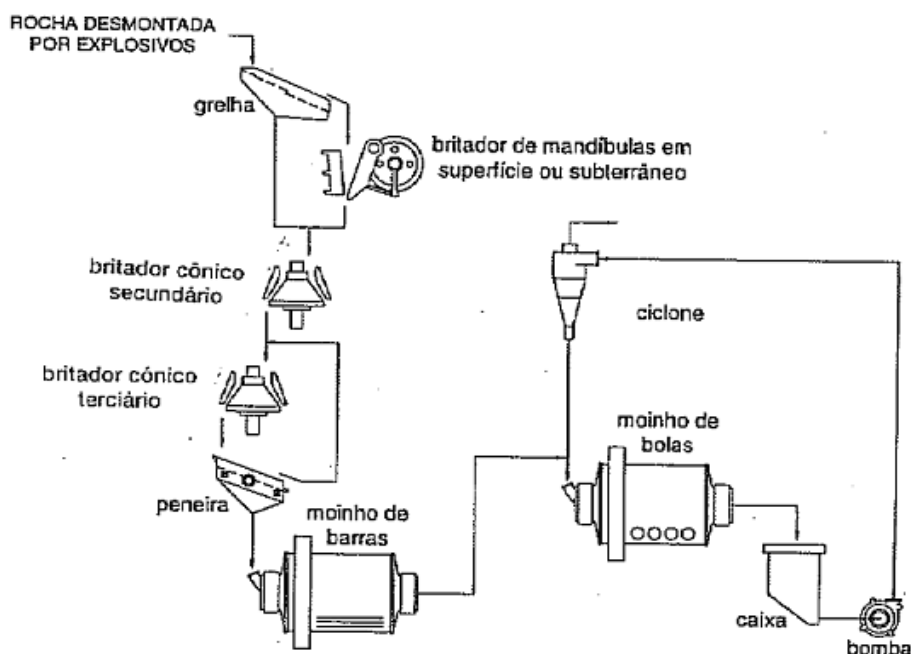


Figura 3.4: Circuito “clássico” de cominuição

Fonte: Chaves, Arthur Pinto; Peres, Antônio Eduardo Clark, Teoria e Prática do Tratamento de Minérios – Britagem, Peneiramento e Moagem, Volume 3, 2ª Ed. Editora Signus, 2003

As operações de cominuição podem ser feitas a seco, com a umidade natural do minério ou a úmido, onde a moagem é feita numa polpa com água suficiente para o transporte dos sólidos.

3.5.2 Classificação

O processo de classificação consiste em separar as partículas com base nas dimensões físicas das mesmas.

3.5.2.1 Peneiramento

Segundo Luz, Sampaio e França (2010), o peneiramento é uma operação de separação de partículas em duas frações de tamanhos diferentes, definidas através de abertura fixa das telas das peneiras, que podem ser grelha de barras paralelas, telas de malhas quadradas, telas de malhas retangulares, telas de malhas alongadas, telas de fios paralelos, chapas perfuradas e placas fundidas. As partículas têm apenas as duas possibilidades, ficar retida (“oversize”) ou passar (“undersize”).

Segundo Valadão e Araújo (2007), o peneiramento pode ser realizado “a seco”, material na sua umidade natural ou “a úmido, quando é utilizada alimentação em polpa. A faixa de tamanhos das partículas submetidas ao peneiramento vai desde matacões, 18” (0,46m) a talco (130nm).

São vários os equipamentos capazes de realizar a separação entre as partículas: peneiras fixas, peneiras vibratórias inclinadas (figura 3.5a), peneiras vibratórias horizontais, grelhas (figura 3.5b) e peneiras rotativas.



Figura 3.5a: Peneira Vibratória

Fonte: [http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/\\$First?OpenDocument](http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/$First?OpenDocument)

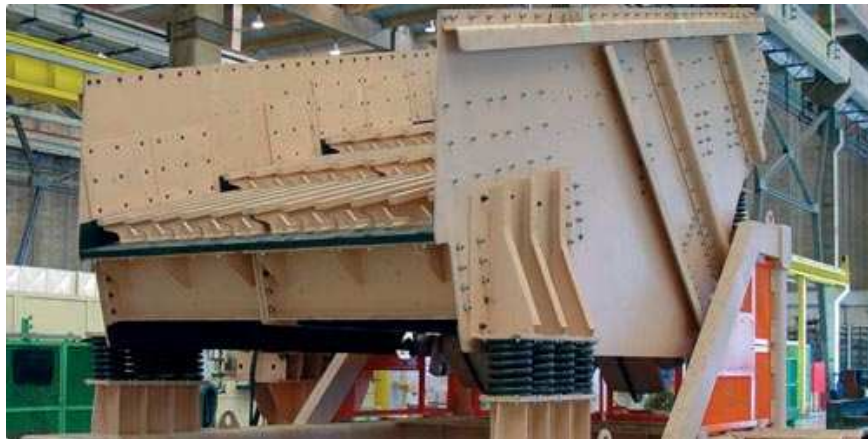


Figura 3.5b: Grelha Vibratória

Fonte: [http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/\\$First?OpenDocument](http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/$First?OpenDocument)

3.5.2.2 Outros equipamentos de Classificação

Classificação é a separação de uma população original em duas outras populações, que diferem entre si pela distribuição relativa dos tamanhos das partículas que as constituem, podendo ser uma população grossa (partículas com dimensões superiores presentes na alimentação) ou uma população fina (partículas de menores dimensões presentes na alimentação). Na classificação a separação é realizada considerando a velocidade das partículas em meio fluido. (LUZ, SAMPAIO E FRANÇA, 2010)

Segundo Chaves (2002), o classificador (figura 3.6) é um aparelho que recebe uma alimentação, composta de partículas de diferentes tamanhos e a separa em duas frações ou produtos, sendo eles denominados de “underflow”, que contém maior proporção de partículas mais grosseiras, as partículas são retiradas por baixo do aparelho e “overflow”, onde se encontram as partículas de menores dimensões que são retiradas por cima do aparelho.



Figura 3.6: Classificador Espiral

Fonte: [http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/\\$First?OpenDocument](http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/$First?OpenDocument)

A operação da ciclonagem, que é uma operação de classificação, é sempre feita a úmido, o equipamento responsável pela ciclonagem é denominado de ciclone.

3.5.3 Concentração

O principal objetivo desse processo é a recuperação dos minerais úteis contidos num minério na forma mais concentrada possível. A seleção do método de concentração depende da natureza do minério em si, bem como das diferentes propriedades dos minerais a serem separados. Dentre essas propriedades se destacam o tamanho relativo das partículas, cor, densidade, suscetibilidade magnética, condutividade elétrica, molhabilidade superficial e solubilidade.

Para Bastos Júnior (2010), três condições básicas devem ser atendidas para que ocorra a concentração: liberabilidade, diferenciabilidade e separabilidade dinâmica. A liberabilidade

deve ser garantida nas operações anteriores, de cominuição (britagem e moagem) e de classificação. Na diferenciabilidade, o mineral deve ter propriedades que o diferencie da ganga, como densidade, susceptibilidade magnética, condutividade elétrica ou polaridade superficial. A separabilidade dinâmica está ligada diretamente ao equipamento empregado, considerando as propriedades diferenciadoras, o equipamento deve ter um mecanismo que atue de forma distinta no mineral minério e na ganga para separá-los.

São exemplos de operações de concentração, a concentração magnética (figura 3.7), a concentração gravítica e a flotação (figura 3.8).



Figura 3.7: Separador Magnético de Baixa Intensidade

Fonte: [http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/\\$First?OpenDocument](http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/$First?OpenDocument)



Figura 3.8: Colunas de Flotação

Fonte: [http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/\\$First?OpenDocument](http://www.metso.com/br/MetsoBrazil_home.nsf/WebFrontPage/$First?OpenDocument)

3.6 Mineralogia Aplicada – Caracterização Mineralógica

3.6.1 Fracionamento

3.6.1.1 Preparação da Amostra

Segundo Viana (2011), em muitas ocasiões é necessário se obter frações puras de uma determinada espécie mineral para determinação de sua composição química, ou estrutura atômica ou de propriedades específicas como densidade, susceptibilidade magnética. A concentração de componentes de uma operação de tratamento de minérios para estudo detalhado de suas características e performances é outra necessidade de preparação da amostra. (Figura 3.9).

Primeiramente, deve-se garantir a representatividade da amostra de cabeça e suas alíquotas, para isso, é necessário que a amostra seja britada e moída a um tamanho máximo de partícula denominado *top size*. (NEUMANN, SCHNEIDER E NETO, 2002).

Após a cominuição, a amostra deve ser homogeneizada. A mesma pode ser separada para análise com diferentes objetivos: fracionamento, identificação mineralógica e quantificação e análise química dentre outras. É recomendável, que pelo menos uma alíquota da amostra seja separada para contraprova ou para análises futuras. (NEUMANN, SCHNEIDER E NETO, 2002).

A separação das amostras se dá através do peneiramento a úmido. Depois de peneiradas, elas são secadas e pesadas para então serem fracionadas em função de algumas propriedades físicas. Segundo Viana (2011), o peneiramento da amostra é de fundamental importância, pois através dele, é possível obter informações tais como:

- Controle da produção de finos nos processos de cominuição;
- Determinação do grau de liberação em faixas de tamanho bem definidas;
- Controle de especificações de mercado;

- Distribuição de elementos químicos nas diversas frações granulométricas (granuloquímica);
- Avaliação da eficiência de equipamentos ou processos de separação por tamanho e processos de concentração.

O fracionamento das amostras é muito importante para sua caracterização, pois, além de diminuir o excesso de amostras a serem analisadas, facilita a identificação dos minerais, reduz o erro de sua quantificação e fornece informações a respeito de suas propriedades físicas com aplicação direta no desenvolvimento conceitual da rota de processo. (NEUMANN, SCHNEIDER E NETO, 2002).

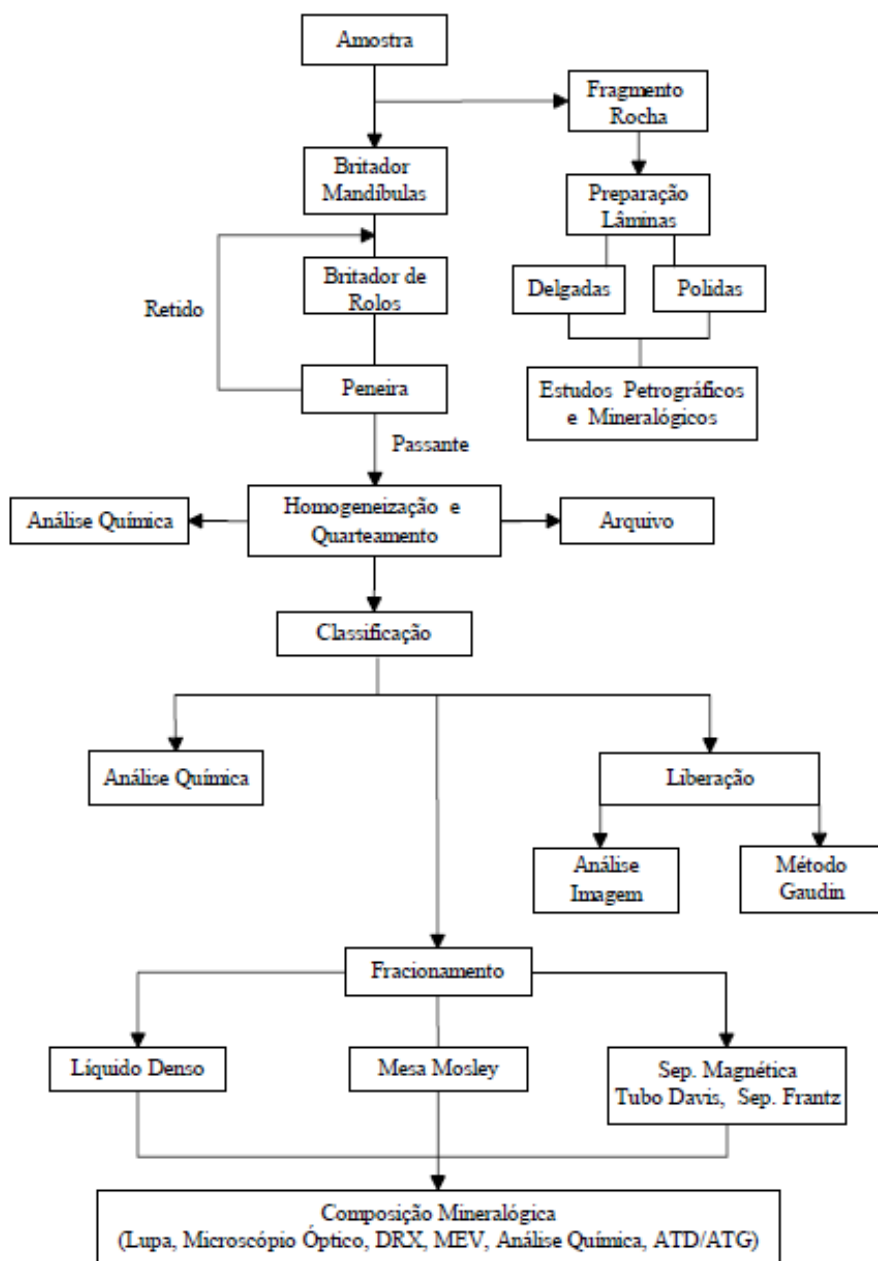


Figura 3.9: Exemplo de fluxograma para caracterização tecnológica de minérios

Fonte: Neumann, Reiner; Schneider, Cláudio Luiz; Neto, Arnaldo Alcover, Caracterização Tecnológica de Minérios, Rio de Janeiro, 2002, CETEM

3.6.1.2 Principais Técnicas de Fracionamento

Segundo Viana (2011), algumas das principais técnicas de fracionamento são: a separação em líquidos densos, a separação magnética e separação manual.

A separação em líquidos densos é a técnica de fracionamento mais eficiente para caracterização e uma das mais rápidas para se obter a liberação dos minerais granulares de um minério ou de produtos específicos. O material é colocado em um funil de separação, de volume adequado ao tamanho de cada alíquota a ser separada, juntamente com o líquido denso. Uma parte do material afunda e outra flutua. (PORPHÍRIO, BARBOSA E BERTOLINO, 2010).

A separação magnética é utilizada para separar os minerais com diferentes susceptibilidades magnéticas. Dentre a grande variedade de separadores magnéticos, o mais utilizado em caracterização é o separador magnético isodinâmico Frantz, que além de produzir um campo magnético variável, é o mais versátil e existem mais informações úteis para sua aplicação. Para se trabalhar o com separador Frantz é preciso retirar as partículas ferromagnéticas da amostra para que a calha não fique entupida evitando perda da amostra com isso. Recomenda-se na separação magnética, a utilização de pouco material. (NEUMANN, SCHNEIDER E NETO, 2002).

Segundo Viana (2011), a separação manual é feita com agulhas, palitos, pinças ou pequenos pinceis, a separação manual é a separação de pequenas quantidades de material de granulometria fina normalmente com o uso de microscópio, e deve ser feita com base em qualquer característica que defina claramente uma fase, como por exemplo, cor, forma, clivagem.

3.6.2 Identificação das Fases

3.6.2.1 Microscopia Óptica

Para Neumann, Schneider e Neto (2002), o trabalho em lupa ou microscópio estereoscópico permite análise das amostras em grão, onde os minerais são identificados por cor, brilho, hábito, clivagens, fratura, e é possível utilizar técnicas auxiliares diretas.

Para identificação de minerais mais comuns, é praticamente padrão a avaliação do tamanho dos cristais e estimativa visual de tamanho de liberação. A caracterização de alguns minérios pode ser feita exclusivamente por microscópio estereoscópico, uma vez que os cristais são grandes, limpos e bem liberados, e a identificação é segura, quando associada a fracionamentos magnético e eletrostático prévio, a quantificação estimada dos minerais por produto é bastante eficaz. O microscópio estereoscópico é fundamental na identificação de fragmentos metálicos oriundos de desgaste de equipamento, como britadores e moinhos, principalmente em frações mais fortemente magnéticas. (NEUMANN, SCHNEIDER E NETO, 2002).

Segundo Valadão e Araújo (2007), os equipamentos utilizados nas análises microscópicas são mais sofisticados e necessitam que a preparação das amostras sejam mais elaboradas. A microscopia óptica é utilizada para avaliar as propriedades ópticas de um mineral que se encontra em escala microscópica.

As microscopias ópticas de luz transmitida, para minerais transparentes, e de luz refletida, para minerais opacos, são os métodos de identificação de minerais mais tradicionais. Baseiam-se ambos na interação da luz (geralmente luz branca do espectro visível) com os minerais, e são bastante precisos e flexíveis para análises qualitativas. (VALADÃO E ARAÚJO, 2007).

3.6.2.2 Difração de Raios X

O método da difração de raios X baseia-se na interação de ondas na frequência de raios X com os planos de repetição sistemática do retículo cristalino, porém, aplicam-se apenas a materiais cristalinos, e não a amorfos. (NEUMANN, SCHNEIDER E NETO, 2002).

Segundo Valadão e Araújo (2007), a radiação produzida através da difração de raios X, é produzida em um tubo de raios X, que contém uma fonte de elétrons e dois eletrodos metálicos. Os elétrons são acelerados pela diferença de potencial entre os eletrodos, o que o fazem chocar com elevada velocidade junto ao anodo. Na região de impacto são gerados os raios X irradiando-se por todas as direções.

A difração de raios X pelos cristais resulta de um processo em que esses raios são espalhados pelos elétrons dos átomos, sem mudança de comprimento de onda. Um feixe difratado é produzido somente quando algumas condições geométricas são satisfeitas. (VALADÃO e ARAÚJO, 2007)

Segundo Porphírio, Barbosa e Bertolino (2010), a técnica de difração de raios X requer uma quantidade baixa de amostra, menor que 1g, e seus procedimentos são de baixo custo operacional, além de serem rápidos, quando totalmente automatizado.

Além da difração de raios X ser a técnica mais utilizada na identificação das substâncias inorgânicas e para estudo das estruturas cristalinas, a técnica é utilizada também para determinação da composição de soluções sólidas ou séries isomórficas dos grupos das olivinas, piroxênios e plagioclásios, além de ser a técnica que mais se aplica à investigação dos argilominerais, devido a baixa granulometria natural destas espécies minerais. (PORPHÍRIO, BARBOSA E BERTOLINO, 2010).

3.6.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

A microscopia eletrônica de varredura – MEV é a técnica de caracterização microestrutural mais versátil disponível, tendo suas aplicações ligadas a diversas áreas do conhecimento, principalmente engenharias metalúrgica e de minas, ciências dos materiais, geociências, ciências biológicas. É um aparelho que pode fornecer rapidamente informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida, tendo como principal razão de sua utilidade, a alta resolução que pode ser obtida quando as amostras são observadas. (DEDAVID, GOMES E MACHADO, 2007)

Segundo Valadão e Araújo (2007), uma grande vantagem do microscópio eletrônico de varredura em relação ao microscópio óptico é que seu limite de resolução é muito melhor que do microscópio óptico.

Dedavid, Gomes e Machado (2007) destacam que uma característica importante do microscópio eletrônico de varredura é, além de sua imagem complementar a informação dada pela imagem óptica, a aparência tridimensional da imagem das amostras.

Com a adaptação de detectores de raios X na câmara da amostra do microscópio eletrônico de varredura, o seu potencial aumenta ainda mais, fazendo com que o MEV possa realizar análise química na amostra em observação. Através da captação pelos detectores e da análise dos raios X característicos emitidos pela amostra, é possível obter informações qualitativas e quantitativas da composição da amostra. Atualmente quase todos os MEV são equipados com detectores de raios X, sendo que devido à confiabilidade e principalmente devido à facilidade de operação, a grande maioria faz uso do detector de energia dispersiva (EDX). Provavelmente a maior aplicação do MEV para tecnologia mineral, é a verificação da morfologia de minerais. (NEUMANN, SCHENEIDER e NETO, 2004).

4. CONCLUSÕES

Para o desenvolvimento de uma rota de processo, é necessário um estudo detalhado sobre o comportamento dos minerais ante os diversos métodos de cominuição, classificação e concentração. A escolha do equipamento adequado para o beneficiamento de um minério deve ser baseada em testes detalhados que explicitem o comportamento mencionado. Sendo assim, os profissionais envolvidos com projetos, devem ter conhecimento detalhado do minério a ser beneficiado e dos equipamentos a serem utilizados para a definição da rota de processo mais eficiente tanto técnica quanto economicamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANCO, Pércio de Moraes, **Dicionário de Mineralogia**. 2ª Edição – Editora da Universidade, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1982.

BASTOS JÚNIOR, Gerson; **Uso de Analisadores Químicos Online para Controle de Processo na Concentração de Minério de Ferro**. Ouro Preto, 2010.

CASTELA, José. Terra, **Universo de Vida – 2ª Parte** – Geologia: Dicipédia 2004 – Porto Editora.

CHAVES, Arthur Pinto; **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**. Volume 1 2. ed. São Paulo, Brasil: Signus Editora, 2002.

CHAVES, Arthur Pinto; **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**. Volume 2, 2. ed. São Paulo, Brasil: Signus Editora, 2004.

CHAVES, Arthur Pinto; PERES, Antônio Eduardo Clark; **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios – Britagem, Peneiramento e Moagem**. Volume 3, 2. ed. São Paulo, Brasil: Signus Editora, 2003.

CHAVES, Arthur Pinto; **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios – Flotação – O Estado da Arte no Brasil**. Volume 4, 2. ed. São Paulo, Brasil: Sinos Editora, 2006.

DEDAVID, Berenice Anina; GOMES, Carmem Isse; MACHADO, Giovanna; **Microscopia Eletrônica de Varredura – Aplicações e Preparação de Amostras**. EDPUCRS, 2007.

DUTRA, R; **Beneficiamento de Minerais Industriais**. In: 2º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais; 14 a 18 de agosto de 2008.

FONTES, M.P.F. **Introdução ao estudo de minerais e rochas**. Viçosa, Imprensa Universitária da UFV, 1984. 23p. (Apostila 182).

JONES, Meuring P.; **Applied Mineralogy – A Quantitative Approach**. Graham & Trotman, 1987.

KLEIN, C. & Hurlbut, C. S., Jr. **Dana's manual of mineralogy**. 21a. edição. John Wiley & Sons, Inc. 683p. 1999.

LEINZ, Viktor; AMARAL, Sérgio Estanislau; **Geologia Geral**, 6ª Edição, Editora Nacional, 1975.

LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antônio Freitas; **Rochas e Minerais Industriais – Usos e Especificações**. 2ª Edição, Rio de Janeiro, 2008, CETEM.

LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves, FRANÇA, Silvia Cristina Alves; **Tratamento de Minérios**. 5ª Edição, Rio de Janeiro, 2010, CETEM.

MARANGON, Márcio, **Elementos de Geologia**. 1995, disponível em: <http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2009/10/Apostila-prof.-Marangon1.pdf>. Acesso em 10 de fevereiro 2012.

METSO, **Mineração e Construção. Bombeamento**. Disponível em: <http://www.metso.com/br/miningandconstruction/mineracaoeconstrucao.nsf/WebWID/WTB-091020-22576-A5821?OpenDocument>. Acesso em 05 de fevereiro 2012.

METSO, **Manual de Britagem**. 6ª edição, 2005, Metso Minerals.

NEUMANN, Reiner; SCHENEIDER, Cláudio Luiz; NETO, Arnaldo Alcover. **Caracterização Tecnológica de Minérios**, Tratamento de Minérios, Rio de Janeiro, capítulo 3, p. 55 a 109, dezembro, 2002.

PERONI, Rodrigo; **Mineralogia – Estudo dos Minerais**. Disponível em: http://www.lapes.ufrgs.br/discpl_grad/geologia1/peroni/GEO1_Peroni.html. Acesso em 10 de fevereiro de 2012

PERONI, Rodrigo; **Rochas Ígneas**. Abril 2003. Disponível em: http://www.lapes.ufrgs.br/discpl_grad/geologia1/peroni/GEO1_Peroni.html. Acesso em 10 de fevereiro de 2012

PETRUK, W. **Applied mineralogy in the mining industry**. Elsevier. 268 p. 2000.

PORPHÍRIO, Ney Hamilton; BARBOSA, Marília Inês M.; BERTOLINO, Luiz Carlos; **Caracterização Mineralógica de Minérios**. Tratamento de Minérios, Rio de Janeiro, capítulo 3, p. 55 a 84, agosto, 2010, CETEM

PRESS, Frank; GROTZINGER, John; SIEVER, Raymond; JORDAN, Thomas H. **Para entender a Terra**, Porto Alegre, 4ª Ed. Bookman, 2006

SKINNER, Brian J. **Recursos Minerais da Terra**. Editora Edgard Blucher, 1970

STRUNZ, Karl Hugo, **Mineralogische Tabellen**. Auflage, Leipzig, 1941

VALADÃO, G.E.S; ARAUJO, A.C, Organizadores. **Introdução ao tratamento de minérios**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.

VIANA, Paulo Roberto de Magalhães; **Notas de Aula do Curso de Especialização em Recursos Minerais – DEMIN: Mineralogia Aplicada ao Tratamento de Minérios**. Belo Horizonte, Brasil: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

WILLS, Barry A.; NAPIER-MUNN; **Mineral Processing Technology – An Introduction to the Practical Aspects Of Ore Treatment And Mineral Recovery**. Seventh Edition, Elsevier Science & Technology Books, 2006.