

INTRODUÇÃO AO TRATAMENTO DE MINÉRIOS

Adão Benvindo da Luz

Eng. de Minas pela UFPE, Mestre e Doutor em
Engenharia Mineral pela EPUSP
Pesquisador Titular do CETEM/MCTIC

Fernando Antonio Freitas Lins

Eng. Metalúrgico pela PUC-Rio, Mestre e Doutor em
Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela COPPE-UFRJ
Pesquisador Titular do CETEM/MCTIC

CONCEITOS DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS

A maioria dos minérios, rochas ou minerais encontrados na crosta terrestre necessita, para o seu uso, de algum beneficiamento para melhorar as suas propriedades físicas e/ou características químicas.

Tratamento ou beneficiamento de minérios consiste na separação física ou físico-química dos minerais valiosos dos não valiosos (ganga) para obtenção de uma porção enriquecida, denominada de concentrado, contendo a maior parte dos minerais valiosos ou apenas a sua modificação granulométrica ou forma. Em um conceito mais tradicional, tratamento de minério é considerado como um conjunto de operações aplicado às rochas, minérios ou minerais, visando obter produtos requeridos pelo mercado, sem modificar a identidade física e/ou química dos minerais.

Nesta VI edição, incorpora-se um conceito mais amplo para o tratamento de minérios, já defendido por outros autores, no qual podem ocorrer alterações químicas geradas pela presença do calor (sinterização, pelletização e ustulação) ou por processos de ativação mecanoquímica. Esta estuda o comportamento químico dos materiais quando submetidos às formas de energia mecânica e química, como nos processos de cominuição com o uso de reativos, neste caso, os minerais são submetidos a esforços mecânicos e sofrem modificações estruturais, que potencializam a formação de novos compostos.

Mineral é todo corpo natural, inorgânico, homogêneo, apresentando composição química e propriedades físicas definidas, sendo encontrado na crosta terrestre ou em outros corpos celestes. Rocha é um agregado de minerais e, se neste ocorre um ou mais minerais de importância econômica, denomina-se minério. Os minerais de importância econômica são denominados de minerais minério. Os minerais que não apresentam importância econômica são conhecidos como ganga.

A concentração de minério – separação seletiva – explora as diferenças de propriedades entre o mineral-minério e os minerais de ganga. Essas propriedades são: peso específico, susceptibilidade magnética, condutividade elétrica, química de superfície, cor, radioatividade, forma, granulometria etc. Há casos em que é necessária a separação entre minerais minério. Isto ocorre quando se tem um polissulfeto constituído, por exemplo, de sulfeto de zinco (esfalerita), sulfeto de chumbo (galena) e sulfetos de cobre (calcopirita, bornita, calcocita etc.).

Para fazer a separação seletiva das espécies minerais de um minério, é necessário que se conheça a sua composição mineralógica e a granulometria (tamanho) de liberação física do mineral-minério de sua ganga. Para tal, o minério é submetido a operações de cominuição (britagem e moagem) até atingir a granulometria de liberação recomendada pelos estudos prévios de caracterização mineralógica. Como a britagem e moagem são operações onerosas (alto consumo de energia, meio moedor, revestimento

etc.), deve-se reduzir a granulometria do minério somente o estritamente necessário à operação seguinte do beneficiamento onde se obtém, nos processos mais simples, um concentrado e um rejeito.

No tratamento de minério, a maioria das operações unitárias é realizada a úmido e, neste caso, antes de se ter um produto adequado para a operação subsequente - química ou metalúrgica - poderá ser necessário fazer o desaguamento do concentrado até a umidade requerida pelo processo seguinte. As operações de desaguamento compreendem espessamento, filtração e secagem.

Os rejeitos dos processos de beneficiamento para serem dispostos em barragens, cavas de mina ou galerias subterrâneas devem ser previamente caracterizados do ponto de vista mineralógico e químico, visando avaliar os potenciais contaminantes ao meio ambiente. No caso de processos que usem reagentes químicos, os rejeitos podem conter reagentes residuais e, por isso, devem também ser avaliados os seus efeitos danosos ao meio ambiente.

Na Figura 1, é apresentado um diagrama com as principais operações unitárias do tratamento de minério. Nesse diagrama, o minério bruto denominado de ROM (*run-of-mine*), procedente da frente de lavra de uma mina, é submetido às seguintes operações:

- britagem e moagem;
- peneiramento (separação por tamanhos) e classificação (hidrociclone, classificador espiral);
- concentração gravítica, magnética, eletrostática, flotação, floculação seletiva etc.;
- desaguamento do concentrado (decantação, espessamento e filtração);
- desaguamento do rejeito (espessamento), seguido de recuperação de água para o processo;
- secagem do concentrado em secador rotativo, *spray dryer*, secador de leito fluidizado;
- disposição de rejeito em cavas de mina a céu aberto, galeria subterrânea, barragem de rejeito.

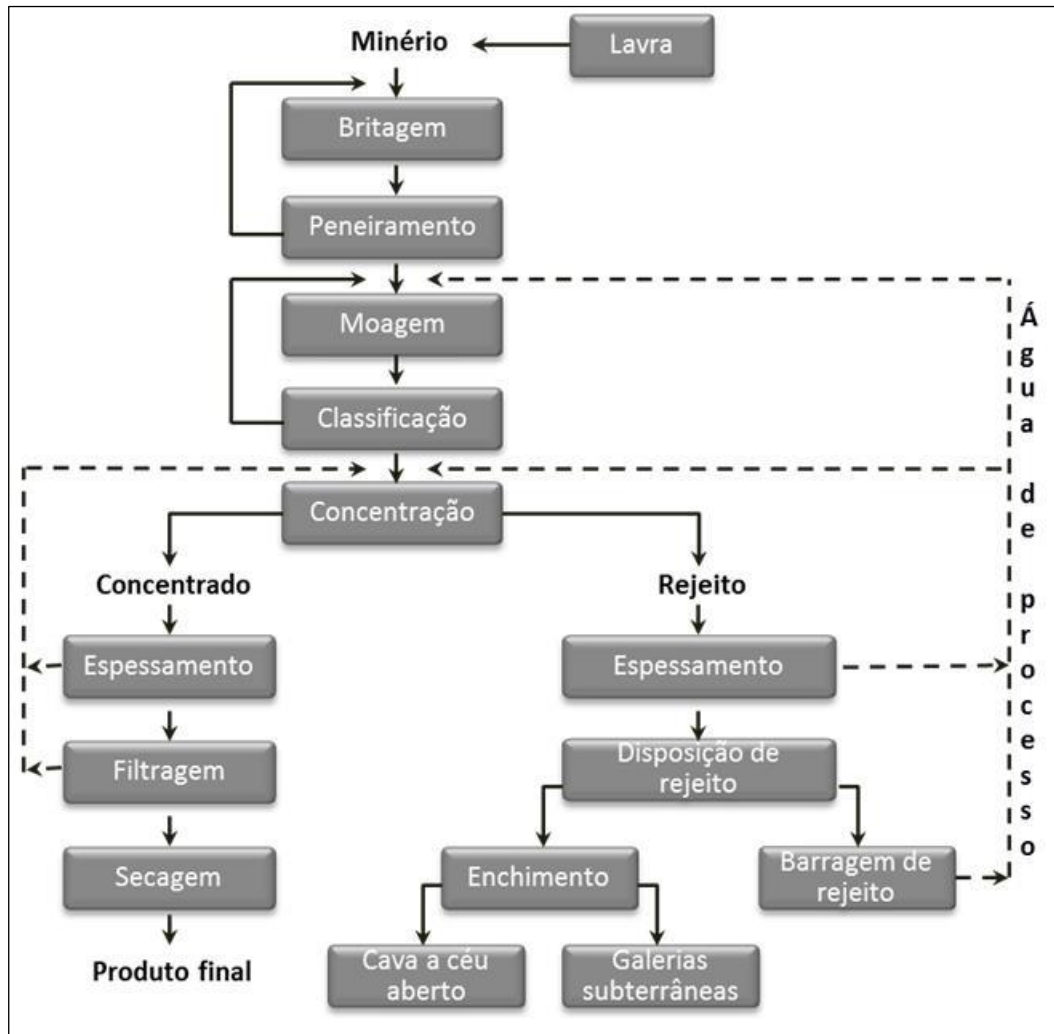


Figura 1. Diagrama típico de tratamento de minério.

A Figura 2 mostra um exemplo de beneficiamento - o fluxograma da usina do minério de ferro de Carajás, da VALE.

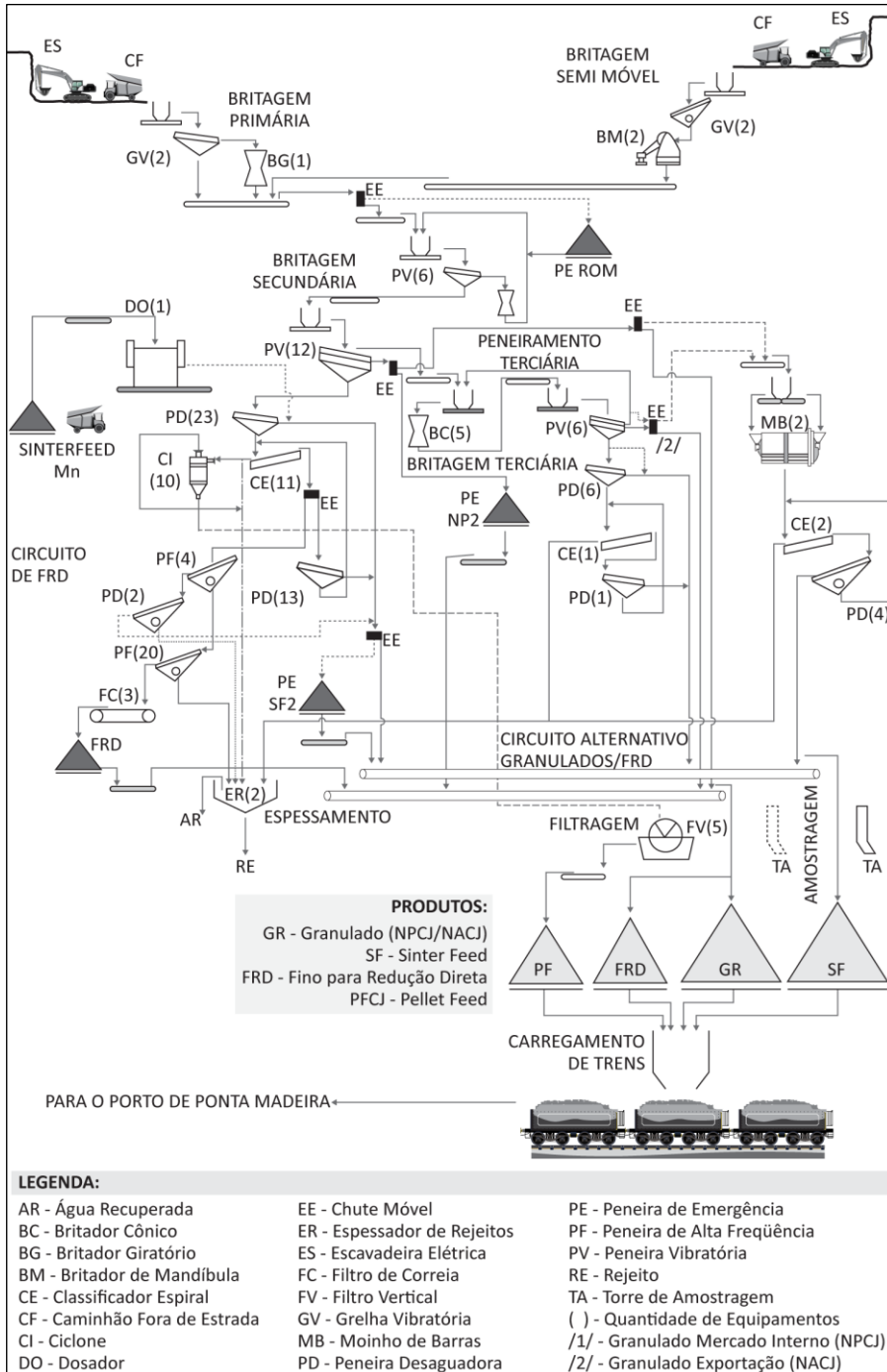


Figura 2. Fluxograma simplificado do beneficiamento de minério de ferro – Carajás.

Fonte: Sampaio et al., 2001.

HISTÓRICO

A história registra que 400 anos antes da Era Cristã os egípcios já recuperavam ouro de depósitos aluvionares usando processos gravíticos.

O primeiro texto que se constituiu em instrumento de referência sobre os bens minerais (*De Re Metallica*) foi publicado em 1556 por Georgius Agrícola. Neste, já há registro da utilização do moinho tipo pilão movido à água, concentração gravítica através de calha e concentração em leito pulsante obtido com o auxílio de peneira em forma de cesta (um jigue primitivo).

A partir do final do século XVIII e início do século XIX com a invenção da máquina a vapor, que se caracterizou como o início da revolução industrial na Inglaterra, ocorreram inovações mais significativas na área de tratamento de minérios. Em meados do século XIX, em 1864, o emprego do tratamento de minérios limitava-se, praticamente, a minérios de ouro, cobre nativo e chumbo.

Os grandes desenvolvimentos na área de beneficiamento de minérios ocorreram no final do século XIX e início do século XX (Quadro 1), sendo a utilização industrial da flotação, na Austrália, em 1905, a inovação mais impactante. Os avanços que ocorreram a seguir orientaram-se, do ponto de vista tecnológico, mais ao desenvolvimento de *design* de equipamentos maiores e mais produtivos e/ou eficientes (anos 1940-1970); à otimização de processos por meio de automação e computação (anos 1970-1990), que continua sendo uma área de muito desenvolvimento; e à racionalização do uso de energia nos anos de 1970, devido à crise do petróleo.

Com a crise de energia elétrica no Brasil, em 2001, houve um renovado interesse pela racionalização de seu uso face às evidências de um aquecimento global do planeta terra em curso. Apesar do grande esforço de pesquisa direcionado à melhor compreensão dos fenômenos atuantes nas operações de beneficiamento, houve relativamente poucos saltos tecnológicos como consequência deste esforço, verificando-se mais uma evolução incremental no desempenho dos processos. Nos últimos anos, com a estiagem e o aumento dos custos da energia elétrica devido ao maior uso de térmicas, renasceu, e talvez de forma permanente, o interesse pelo consumo mais racional de energia.

Quadro 1. Cronologia das principais inovações ocorridas em tratamento de minérios (séculos XIX, XX e XXI).

COMINUIÇÃO

Moinho pilão

descrito por Georgius Agricola já no século XVI e operado por força hidráulica; mecanizado no século XIX, inicialmente com máquina a vapor e posteriormente força elétrica.

Britador de rolos

inventado na Inglaterra (1806); introduzido nos Estados Unidos em 1832.

Britador de mandíbulas

patenteado por Blake nos Estados Unidos (1858); primeiro uso em 1861 e logo após introduzido na Europa.

Britador giratório

inventado por Bruckner na Alemanha (1876); primeiro uso com minérios, nos EUA, em 1905.

Moinho de barras

testado primeiramente no Canadá em 1914. A partir de 1920 passou, gradualmente, a substituir o britador de rolos.

Moagem autógena

período de desenvolvimento (1945-1955); maior aplicação a partir de 1970. A partir de 1980 deu-se ênfase à fabricação de grandes moinhos com diâmetros em torno de 40 pés.

Moinho de rolos de alta pressão (*high pressure grinding rolls -HPGR*)

desenvolvido na Alemanha na década de 1980, aplicado inicialmente à indústria de cimento, nos últimos anos seu uso tem se estendido aos minérios convencionais (ferro, ouro etc.). Usado no Brasil, há alguns anos, na indústria de cimento e com minérios de ferro.

SEPARAÇÃO POR TAMANHO E CLASSIFICAÇÃO

classificação mecânica (1905)

ciclone (1930)

peneira DSM-Dutch State Mines (1960)

CONCENTRAÇÃO GRAVÍTICA

Mesa concentradora gravítica *Wilfley*: patenteada em 1896, em largo uso em 1900.

Separação em meio denso estática (1930-1940).

Ciclone de meio denso (1945).

Espiral de *Humphreys* (1943).

Separador de meio denso *Dynawhirpool* (DWP), em 1960.

Concentrador centrífugo *Knelson* (1980) aplicado, inicialmente, a minérios de ouro e depois a outros minérios.

SEPARAÇÃO MAGNÉTICA E SEPARAÇÃO ELETROSTÁTICA

Separador de baixa intensidade, imã permanente: apatita/magnetita (1853).

Primeira aplicação da separação eletrostática foi com esfarelita/pirita (1907).

Separador magnético via úmida de alta intensidade (1960).

Separador magnético de alto gradiente (separador magnético criogênico), em 1989.

Separador magnético de imã permanente de terras raras (anos 1990).

Quadro 1a. Cronologia das principais inovações ocorridas em tratamento de minérios (séculos XIX, XX e XXI) (continuação).**FLOTAÇÃO**

Conceitos iniciais pelos irmãos Bessel (1877) recuperando grafita com óleo (flotação oleosa). Esses, provavelmente, são os precursores da flotação por espuma.

No período 1902/1905, foram registradas patentes de aeração da polpa. Com isso, reduziu-se a quantidade de óleo de forma significativa. É o início da flotação moderna. (Em 2005, em diversos eventos técnicos internacionais, comemorou-se o centenário da flotação).

Utilização de álcoois solúveis em água como espumantes (1908) para melhorar a estabilidade da espuma (mais tarde, o óleo de pinho foi mais largamente usado).

Em 1912, a flotação deslanchava industrialmente na Austrália (recuperação de esfalerita de rejeitos gravíticos de concentração de galena) e nos EUA (finos de esfalerita). Neste ano, também houve a descoberta, em laboratório, que os sulfetos de cobre também podiam ser flotados.

Patente na Austrália do uso do sulfato de cobre como ativador da esfalerita (1912). Em 1915, verificou-se que a cal deprimia a pirita. Alguns anos depois, foi descoberto o efeito do cianeto de sódio (1922) e do sulfeto de sódio. Era o início da flotação seletiva entre sulfetos.

Até 1924, o coletor usado era o óleo. Em 1925, os xantatos foram patenteados como coletores. Em 1926, foi a vez dos ditiofosfatos. No período 1925-1950, a flotação desenvolveu-se empiricamente, caracterizando-se por tratamento de minerais não sulfetados e pelo uso de reagentes surfactantes convencionais como coletores de flotação.

O período 1950-1990 caracterizou-se pelas pesquisas fundamental e aplicada direcionadas ao conhecimento e controle dos fenômenos da flotação. Poucas inovações tecnológicas de maior impacto surgiram. Destaca-se a flotação em coluna nos anos 1960/1970, com a crescente aplicação industrial desde os anos 1990 e diversos aperfeiçoamentos desde então. Na década de 1990, foi desenvolvida na Austrália a célula Jameson e, na Alemanha, a célula Ekof.

Centenária em sua aplicação em âmbito mundial, no Brasil há notícias de utilização da flotação só na década de 1950 com o minério de chumbo, no vale do Rio Ribeira (SP). Nos anos 1970, ocorreu, no Brasil, uma contribuição muito significativa do Prof. Paulo Abib Andery ao desenvolver o processo de separação de apatita de ganga carbonática. Este processo original, reconhecido por seus pares no Congresso Internacional de Processamento Mineral, Cagliari – Itália/1975 permitiu o aproveitamento econômico do carbonato apatítico do Morro da Mina, Cajati (SP) e de depósitos similares, em Araxá (MG), Tapira (MG) e Catalão (GO).

MODIFICAÇÃO DE MINERAIS

As rochas e os minerais industriais são considerados os recursos minerais desse novo milênio. Em vista disto, vem se observando o desenvolvimento de processos para modificação físico-química dos minerais, visando melhorar a sua funcionalidade e ampliar suas aplicações práticas. Cresce, no País, o interesse pelos agrominerais, visando, principalmente o desenvolvimento de novas fontes e rotas tecnológicas para obtenção de fertilizantes alternativos de potássio e fósforo, inclusive corretivos de solo, remineralização do solo com a técnica de rochagem. O objetivo final é contribuir para a redução da vulnerabilidade do setor e possibilitar o alcance da sustentabilidade.

Fontes: ARBITER (1964); GUIMARÃES (1980); KITCHENER (1984); FUERSTENAU (1999) e acréscimos por parte dos autores deste capítulo.

DEPÓSITOS E JAZIDAS MINERAIS

Os minerais fazem parte dos recursos naturais ao lado das terras para agricultura, das águas (de superfície e subterrânea), biodiversidade etc. Os estudos geológicos e hidrológicos básicos de um país ou região são realizados, via de regra, por seu serviço geológico ou entidade equivalente, que os disponibiliza para o público. No Brasil, essa missão está a cargo da CPRM - Serviço Geológico do Brasil, empresa pública ligada ao Ministério das Minas e Energia (MME). A gestão dos recursos minerais do País, os quais, constitucionalmente, pertencem à União, é atribuição do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM/MME.

Como as matérias-primas minerais possíveis de serem utilizadas diretamente ou transformadas pela indústria encontram-se distribuídas de maneira escassa na crosta terrestre, cabe às empresas de mineração, com base nas informações geológicas básicas, realizar a pesquisa (exploração) mineral em áreas previamente selecionadas, em busca de depósitos de potencial interesse econômico. Feitas a quantificação e a qualificação do corpo mineral (cubagem), tem-se um depósito mineral. Quando este apresenta condições tecnológicas e econômicas (e, cada vez mais, ambientais) de ser aproveitado, tem-se finalmente uma jazida mineral.

A extração ou exploração do minério de uma jazida é realizada por meio de operações de lavra (a céu aberto ou subterrânea) na mina. O produto da mina, o minério lavrado, o ROM, é a alimentação da usina de tratamento.

O preço de mercado de um determinado bem mineral, muitas vezes em função do teor do metal contido que é cotado em bolsa como a LME (*London Metals Exchange*), é importante para a definição de uma jazida e está condicionado a um elevado número de variáveis. Entre outras, salientamos: frequência em que ocorrem esses minerais na crosta terrestre; complexidade na lavra e beneficiamento, distância da mina ao mercado consumidor etc. Vale ressaltar o aspecto circunstancial, pois, em decorrência da conjuntura político-econômica, um depósito pode passar a ser uma jazida ou vice-versa, com base na abundância ou escassez de recursos minerais.

MINERAIS E SEUS USOS

Qualquer atividade agrícola ou industrial, no campo da metalurgia, da indústria química, da construção civil ou do cultivo da terra, utiliza os minerais ou seus derivados. Os fertilizantes, os metais e suas ligas, o cimento, a cerâmica, o vidro, são todos produzidos a partir de matérias-primas minerais.

É cada vez maior a influência dos minerais sobre a vida e desenvolvimento de um país. Com o crescimento das populações, cada dia necessita-se de maior quantidade de matéria-prima mineral para atender às crescentes necessidades do ser humano. É difícil

imaginar o nível material alcançado por nossa civilização sem o uso dos minerais. Com efeito, o consumo *per capita* de minerais e materiais nos países desenvolvidos é 3 a 6 vezes superior àquele de países em desenvolvimento, como o Brasil, o que mostra o potencial de crescimento do consumo interno.

São conhecidas, atualmente, cerca de 1.550 espécies minerais distintas. Destas, 20 são elementos químicos e encontram-se no estado nativo (cobre, ouro, prata, enxofre, diamante, grafita, carvão mineral etc.). O restante dos minerais é constituído por compostos, ou seja, com mais de um elemento químico (ex.: barita - BaSO_4 , pirita - FeS_2).

Na indústria mineral, os minérios ou minerais são geralmente classificados em três grandes classes: metálicos, não metálicos e energéticos. A classe dos não metálicos pode ser subdividida em rochas e minerais industriais, gemas e águas minerais. Os minerais industriais são utilizados como se encontram na natureza ou após algum tratamento, ou são usados como matéria-prima para a fabricação de uma grande variedade de produtos. Segue a classificação detalhada dos minerais.

Minerais Metálicos

Ferrosos (têm uso intensivo na siderurgia e formam ligas importantes com o ferro): além do próprio ferro, manganês, cromo, níquel, cobalto, molibdênio, nióbio, vanádio, wolfrâmio.

Não-ferrosos: básicos (cobre, zinco, chumbo e estanho) e leves (alumínio, magnésio, titânio e berílio).

Preciosos: ouro, prata, platina, ósmio, irídio, paládio, rutênio e ródio.

Raros: escândio, índio, germânio, gálio etc.

Rochas e Minerais Industriais (RMIs)

Estruturais ou para construção civil: agregados (brita e areia), minerais para cimento (calcário, areia, argila e gipsita), rochas ornamentais (granito, gnaisse, quartzito, mármore, ardósia etc.), argilas para cerâmica vermelha, artefatos de uso na construção civil (amianto, gipsita, vermiculita etc.).

Indústria química: enxofre, barita, bauxita, fluorita, cromita, pirita etc.

Cerâmicos: argilas, caulins, feldspatos, areia de quartzo, talco, zirconita etc.

Refratários: magnesita, bauxita, cromita, grafita, cianita etc.

Isolantes: amianto, vermiculita (expandida), moscovita etc.

Fundentes: fluorita, calcário, criolita etc.

Abrasivos: diamante, granada, quartzito, coríndon etc.

Minerais de carga: talco, gipsita, barita, caulinita, calcita etc.

Pigmentos: barita, ocre, minerais de titânio (rutilo e ilmenita).

Agrominerais (minerais e rochas para a agricultura): minerais de fosfato da série da apatita (fluorapatita, hidroapatita, cloroapatita), calcário, sais de potássio (silvinita, silvita, carnalita), enxofre, fonolito, verdete, sienito, flogopita, gipsita, zeólita etc.

Minerais “ambientais” (ou minerais “verdes”): bentonita, palygorsquita (atapulgita), zeólitas, vermiculita etc., utilizados (na forma natural ou modificados) no tratamento de efluentes, na adsorção de metais pesados e espécies orgânicas, ou como dessulfurantes de gases (calcário).

Gemas

Pedras preciosas: diamante, esmeralda, safira, turmalina, opala, topázio, águas marinhas, ametista etc. (Segundo especialistas, a terminologia “semipreciosas” não deve ser mais usada).

Águas

Minerais e subterrâneas.

Minerais Energéticos

Radioativos: urânio e tório.

Combustíveis fósseis: petróleo, turfa, linhito, carvão (hulha) e antracito, que, embora não sejam minerais no sentido estrito (não são cristalinos e nem de composição inorgânica), são estudados pela geologia e explorados pelas técnicas de mineração.

NECESSIDADE DE BENEFICIAMENTO

Frequentemente, um bem mineral não é usado tal como é lavrado. Quando o processamento do minério vai desde a concentração até a extração do metal, a primeira operação traz vantagens econômicas (e energéticas) à metalurgia devido ao descarte de massa (rejeito) alcançado na etapa de concentração. Exemplo: um minério de scheelita, com teor de 0,35% de WO_3 , não pode ser utilizado, economicamente, na metalurgia extrativa. Isto só é possível após concentração gravítica (jigüe, mesa) ou por flotação até a obtenção de concentrados com cerca de 70% WO_3 .

Por outro lado, nem sempre é possível concentrar o minério, como é o caso das lateritas níquelíferas de Goiás (Município de Niquelândia) e do Pará (Município de Orolândia do Norte- Projeto Onça Puma), onde o seu aproveitamento só é viável partindo-se diretamente para a extração do metal por hidrometalurgia ou por pirometalurgia para obtenção de ferro-níquel, matéria-prima para a produção de aço inoxidável. Isto se deve à distribuição do níquel na rede cristalina dos minerais de ganga e, além do mais, pelo fato de o níquel não ter nenhuma preferência por determinado mineral, dificultando, assim, sua concentração.

Outrossim, pode ser atrativo, do ponto de vista econômico, não chegar ao elemento útil, mas a um produto intermediário. Neste caso, como já comentado, a rota alternativa de processamento para as lateritas níquelíferas é o processo pirometalúrgico que leva ao ferro-níquel e não ao níquel-metálico. Este processo consiste em uma calcinação seguida de redução em forno elétrico.

FINALIDADES ECONÔMICA E SOCIAL

As etapas de lavra e de tratamento de minérios constituem uma atividade econômica definida e contabilizada nas contas nacionais pelo IBGE, sob a denominação de *extrativa mineral* ou *mineração*. Sua participação no Produto Interno Bruto-PIB (exclusive petróleo & gás) é da ordem de 1,5%. Com uma visão mais abrangente da indústria mineral, considerando a transformação dos minerais (a metalurgia, incluindo a siderurgia, e produtos não metálicos), alcança a participação de 4,0% do PIB e corresponde a mais de 20% das exportações totais brasileiras. A Figura 3 mostra a participação do setor mineral no PIB brasileiro no período de 2005 a 2015 (Sinopse SGM/MME, 2006 a 2016).

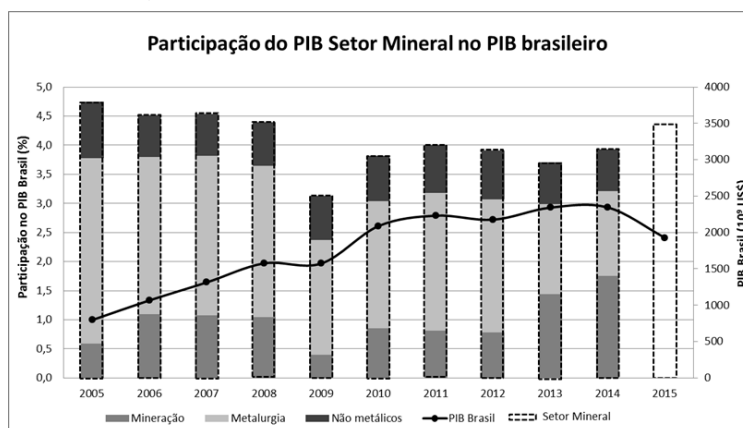


Figura 3. Participação do setor mineral no PIB brasileiro.

O tratamento de minérios, apesar de ser essencialmente técnico em suas aplicações práticas, não pode desprezar o conceito econômico. É impossível, na prática, obter uma separação completa dos constituintes minerais. Sabe-se, como regra geral, que quanto maior o teor dos concentrados maior é a perda, ou seja, mais baixas são as recuperações. Como a obtenção de teores mais altos e melhores recuperações normalmente implicam em um aumento de custo do tratamento para a obtenção de maiores lucros, esses vários itens devem ser devidamente avaliados. Deve-se sempre ter em mente que os custos decorrentes de uma etapa adicional de tratamento de um determinado bem mineral não devem ser maiores do que a agregação de valor ao produto assim obtido, excetuando-se os casos especiais (em caso de guerra, por exemplo).

O tratamento de minérios, como toda e qualquer atividade econômica, está dirigido para o lucro. Há, porém, um conceito social que não pode ser desprezado, qual seja, o princípio da conservação dos recursos minerais por se tratarem de bens não renováveis. As reservas dos bens minerais conhecidos são limitadas e não se deve permitir o seu aproveitamento predatório, pois o maior lucro obtido, em menor prazo possível, dificilmente estará subordinado aos interesses sociais. Diz-se, a respeito, em contraposição à agricultura, que “minério só dá uma safra”.

MEIO AMBIENTE, ENERGIA, CO₂ E ÁGUA

Hoje, o aproveitamento dos recursos minerais deve estar comprometido com os princípios do desenvolvimento sustentável cuja ideia central é que sejam satisfeitas as necessidades do presente sem prejuízo das futuras gerações. Segundo Sachs (2002 e 2004) citado por Silva (2016), ao conceito de “ecodesenvolvimento”, postulado por Maurice Strong na Conferência de Estocolmo em 1972, incorporou as questões econômicas, sociais, culturais e de gestão participativa e ética. Esse conceito evoluiu mais tarde para o que se conhece, hoje, como **Desenvolvimento Sustentável**. Para Sachs (2004), o desenvolvimento sustentável deve estar comprometido com os cinco pilares: econômico, ambiental, social, territorial e cultural.

Na década de 1970, com o surgimento dos movimentos ambientalistas, exigências mais rígidas para abertura de novas minas fizeram-se necessárias, adotando-se, então, o Estudo de Impacto Ambiental - EIA e o Relatório de Impacto Ambiental - RIMA. Em 2002, uma portaria do DNPM instituiu o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD para a atividade mineral. Na portaria, surgiu o conceito de fechamento de mina ou desativação de mina, que passou a ser uma exigência já prevista no próprio projeto de lavra, constituindo-se em um importante instrumento para se introduzir tecnologias de prevenção da poluição.

O tratamento de minérios não é considerado uma fonte de grande contaminação ambiental, em comparação com a agricultura (em função do uso de fertilizantes químicos e defensivos agrícolas) e com outras atividades industriais, como a própria transformação dos minerais em metais e em produtos não metálicos, mais intensivos em energia e na emissão de gases de efeito estufa. Porém, é inegável que a disposição dos rejeitos das usinas de beneficiamento pode resultar em um grande fator de poluição ou impacto ambiental, se não for disposto adequadamente. Medidas preventivas ou corretivas são geralmente necessárias, especialmente, com rejeitos de minérios metálicos, sulfetados (Zn, Pb, Hg, Cd, Fe, Cu), sulfarseniato (arsenopirita), arseniato (escorodita), radioativos e carvões.

Há uma pressão crescente na mineração para que os rejeitos de beneficiamento, ao invés de depositados a céu aberto sem nenhum planejamento ou estudo, sejam usados, por exemplo, para preenchimento de cavas de minas (*backfill*), visando à

restauração das áreas lavradas, ou que sejam cuidadosamente dispostos. Há também uma tendência para o estudo do aproveitamento de rejeitos de atividades minerais como alternativa a outros materiais, a exemplo do uso de areia artificial a partir da utilização de finos de brita, o emprego de rochas contendo potássio para uso como fertilizante, aplicação de rejeitos de beneficiamento de minério de ferro para utilização em sub-base de estradas em substituição à brita, entre vários outros casos. Obviamente, essas alternativas devem ser precedidas de estudos sobre a solubilização ou biossolubilização de metais ou elementos nocivos contidos nesses rejeitos, de forma a evitar a contaminação do lençol freático ou mananciais.

Os rejeitos, normalmente, já foram submetidos a uma etapa de cominuição e encontram-se em frações finas, com alta área superficial e consequente aumento de reatividade química. Vale ressaltar que a crescente tendência mundial de reciclagem de materiais e aproveitamento de resíduos industriais e urbanos tem sido feita com o uso intensivo das tecnologias de tratamentos de minérios, ou variantes dessas, objeto dos demais capítulos deste livro. Ou seja, para o processamento ou separação seletiva de quaisquer materiais as operações de tratamento de minérios dão importante contribuição.

Todos os segmentos industriais e de serviços estão diante do desafio da produção mais limpa. Com ações de curto, médio e longo prazos, a produção mais limpa incorpora a aplicação contínua de uma estratégia preventiva integrada a processos, produtos e serviços, visando aumentar a eficiência e reduzir os riscos para a saúde humana e para o meio ambiente. Sabe-se que, em mineração, para se ter processos mais limpos é indispensável fazer investimento direto em pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Em outros ramos da indústria, geralmente é possível replicar um mesmo tipo de solução para um grande número de empresas, como em uma fábrica de automóveis ou de refrigerantes. Porém, no caso do processamento de substâncias minerais, as soluções são, geralmente, únicas para cada caso.

Quanto à utilização de energia na mineração, os dados do Balanço Energético Nacional (BEN-EPE/MME, disponíveis no *site* do MME) agregam os consumos de lavra, tratamento de minérios e pelotização de minério de ferro. Em 2014, o consumo atingiu $0,14 \times 10^9$ GJ, ou 1,3% do consumo final energético do País ($10,5 \times 10^9$ GJ), incluindo o consumo de energia elétrica. Este último foi 12,6 TWh (ou 12,6 bilhões de kWh), 2,4% do consumo brasileiro de energia elétrica no mesmo ano (532,9 TWh). A Tabela 1 apresenta os dados de mineração (lavra e tratamento de minérios) separados dos de pelotização.

Tabela 1. Consumo final energético da mineração (lavra e tratamento) e pelotização.

	Energia Total		Energia Elétrica		Energia Elétrica
	(10 ⁹ GJ*)	(%)	(TWh)	(%)	(% da energia total)
1. Mineração	0,074	0,70	10,03	1,88	48,8
2. Pelotização	0,066	0,63	2,57	0,52	14,0
Total (1 + 2)	0,14	1,3	12,6	2,4	32,4
Brasil	10,5	100	532,9	100	18,3

* 1 GJ = 10⁹ J = 277,8 kWh

Nota: Em 2014, a produção de pelotas atingiu 58,5 Mt, e foram considerados os seguintes consumos específicos para a discriminação acima: energia total = 1,13 GJ/t_{pelota}; energia elétrica = 40 kWh/t_{pelota} (Lins, 2008).

A mineração, *stricto sensu* (lavra e tratamento de minérios), consumiu 10,03 TWh em 2014. Mesmo não sendo a mineração eletrointensiva, as quantidades produzidas de minérios no País são elevadas, estimadas em 1,2 bilhão de toneladas para o ano de 2014, o que resulta em um consumo específico médio de 8,3 kWh/t de produto mineral comercializado. Todavia, há uma larga variação de consumo específico de eletricidade, a exemplo do que ocorre na produção de pedra de brita, com 2 a 3 kWh/t. No caso da produção do concentrado de minério de ferro, em média o consumo específico é de 17 kWh/t e, na pelotização de finos de concentrado de minério de ferro, é de cerca de 40 kWh/t_{pelota}. Entretanto, são nas etapas de transformação de minerais que ocorrem consumos específicos muito maiores: em relação ao aço de siderúrgica integrada, o consumo é de 500 kWh/t, alumínio o consumo é de 15.000 kWh/t, cimento, de 109 kWh/t e, no caso do vidro, de 550 kWh/t.

Não foram encontradas informações consolidadas que permitissem separar, no Brasil, o consumo energético da etapa de lavra da etapa de tratamento de minérios. Dados da mineração dos EUA, de 1997, mostraram que a energia elétrica respondia por 38% do consumo energético total (0,23 x 10⁹ GJ). Deste consumo energético total, a lavra mineral participava com 47% e o tratamento de minérios, com 53%. Em geral, a etapa de cominuição (britagem/peneiramento e moagem/classificação) responde por mais da metade do consumo elétrico de uma usina de tratamento de minérios.

A emissão de CO₂ e de outros gases de efeito estufa na mineração é muito pequena, em termos relativos, se comparada a outros processos industriais. A lavra mineral, em decorrência do uso de explosivos e combustíveis para a movimentação (transporte) de material, pode apresentar emissão entre 1 e 7 kg de CO₂/t_{ROM}. No tratamento de minérios, esse tipo de emissão (*in situ*) é reduzido, pois se emprega predominantemente a energia elétrica para o funcionamento dos motores e equipamentos da usina. Obviamente, se a energia elétrica é produzida na usina, pelo uso de gerador a óleo, haverá emissão *in situ*. Se provém de uma termoelétrica distante,

haverá a emissão de CO₂ no local da geração. A título de comparação com a mineração, a emissão *in situ* de uma siderúrgica integrada a coque é da ordem de 1.700 kg de CO₂/t_{aço}; do cimento, 900 kg/t.

O novo projeto Ferro Carajás S11D da Vale, em Canaã dos Carajás (PA), que entrou em operação em 2016, está utilizando o sistema *truckless* que dispensa o uso de caminhões fora de estrada na etapa de lavra e transporte de minério, proporcionando uma economia de 77% de óleo combustível e redução de 50% na emissão de gases, como CO₂. Todo o minério é transportado por correias, desde a mina até a usina de beneficiamento.

O uso mais racional de água é uma tendência observada na mineração. Em anos recentes, os relatórios de sustentabilidade dos grandes grupos internacionais de mineração divulgaram mais informações sobre o uso da água e o seu tratamento, com apresentação de indicadores e metas de redução de consumo específico e de aumento da recirculação de água.

No Brasil, é significativa a reciclagem da água de processo nas grandes minerações (cerca de 75%, chegando em alguns casos a superar 90%), e estas geralmente contam com sistemas adequados de tratamento dos efluentes líquidos. Esta prática tende, embora mais lentamente, a se estender às pequenas e médias empresas. A cobrança da água aos usuários, inclusive às minerações, pela captação dos recursos hídricos, deverá acelerar a adoção de gestão mais racional desse recurso.

Infelizmente, ainda não foi feito no Brasil um censo hídrico na mineração brasileira (nem em qualquer outro setor industrial). Porém, informações sobre o consumo de água nas empresas de mineração estão contidas nos relatórios anuais de lavra (RAL) encaminhados, pelas mineradoras, ao Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM). Conforme previsão do IBGE, no segundo semestre de 2016 previa-se ainda o início da realização de um levantamento estatístico do consumo de água nos vários setores industriais.

Nos EUA (desde 1950) e no Canadá (desde 1970), são realizados levantamentos hídricos a cada cinco anos. Pode-se, assim, acompanhar a evolução do uso da água nos vários setores e o efeito de políticas públicas ou de iniciativas setoriais sobre a utilização mais racional do consumo de água. De qualquer modo, publicações recentes (algumas apresentadas na bibliografia deste capítulo) já apresentam dados de algumas empresas de mineração que tornaram públicas suas informações sobre consumo e recirculação de água.

No artigo “Água e Mineração: Fatos e Verdades” publicado pelo IBRAM (2015) citando estudos da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO)/*World Water Assessment Programme (WWAP)*, o consumo de água no planeta assim se divide: 73% pela irrigação, 21% pela indústria e 6% pelos seres humanos. Neste estudo, a atividade mineral é incluída como atividade industrial.

Uma inovação em processamento mineral sem o uso de água é o projeto S11D da Vale, citado anteriormente. Isto porque são utilizadas a umidade natural do minério e operações pneumáticas no processamento mineral. Nesse tipo de processamento, não há necessidade de barragens e o consumo de água é reduzido em até 90% em comparação com um projeto semelhante.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No século XXI, as grandes empresas de mineração nacionais ou estrangeiras aperfeiçoaram os processos no tratamento de minérios (estado da arte), na operação e otimização das usinas de tratamento. No entanto, as micro, pequenas e médias mineradoras enfrentaram o desafio de aprimorar seus processos produtivos, inclusive com respeito às questões ambientais; para não citar a gestão empresarial, normalmente deficiente.

Este novo século testemunhou um novo *boom* mineral, iniciado em 2005, depois de mais de vinte anos de baixas demanda e valorização dos bens minerais. Atribuiu-se ao crescimento econômico da China, principalmente, e da Índia, países que representam 40% da população do planeta e que, portanto, pressionam a demanda por matérias-primas minerais. Os preços unitários das *commodities* minerais dispararam neste início de século. O Brasil, em decorrência, atravessou um período extraordinário na mineração entre 2005 e 2014, com o PIB da atividade mineral acompanhando o crescimento do PIB Brasil (Figura 3). A crise financeira internacional de 2008 adiou muitos investimentos em mineração no País, o que levou a um desempenho decadente nos valores da Produção Mineral Brasileira (PMB) a partir do ano de 2011. Com efeito, as previsões da PMB para o ano de 2016 mantiveram-se no patamar de US\$ 36 bilhões, cerca da metade em minério de ferro, com aumento nos volumes produzidos (IBRAM, 2016).

As empresas de mineração, no período do *boom* mineral, registraram a falta de engenheiros disponíveis para atender a crescente demanda do setor. Na década de 1970, formou-se, no País, uma geração de especialistas em tratamento de minérios. Os cursos das universidades brasileiras são considerados de boa qualidade, em geral. Tem sido comuns, diferentemente do passado, as publicações por autores brasileiros de livros sobre tratamento de minérios em geral, a exemplo deste, e sobre temas específicos, como cominuição, concentração gravítica e flotação (os mais recentes estão listados na bibliografia consultada). Se em parte dos anos 1980 e nos anos 1990 houve um desinteresse, não só no Brasil, pela mineração como atividade profissional, a partir

de 2010 a conjuntura apontou para o ressurgimento do interesse pela área entre os estudantes. No entanto, a partir de 2015 a situação inverteu-se completamente em razão da crise internacional das *commodities* minerais. Pereira e Nogueira (2015) relatam que existem, atualmente, cerca de 2.000 vagas oferecidas por universidades públicas e privadas, nos vinte e cinco cursos de Engenharia de Minas em todo Brasil.

Na área de pesquisa e desenvolvimento, o País apresenta departamentos universitários e institutos de pesquisa relativamente bem consolidados nos tópicos que constituem o tratamento de minérios. Na década de 1990, houve uma escassez de recursos financeiros para a pesquisa. Em anos recentes, foi criado um fundo setorial de recursos minerais – CT-Mineral, no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Um alento, mas ainda reconhecidamente insuficiente. Foi realizado, em 2007, um estudo prospectivo de tecnologia mineral, com horizonte até 2015, coordenado pelo CETEM e pela CPRM. O projeto foi financiado pelo CT-Mineral/Financiadora de Estudos e Projetos e os temas e as linhas de pesquisa identificados, inclusive em tratamento de minérios (cominuição, flotação etc.), demandam maiores e contínuos investimentos em P&D, privados e públicos.

No ano de 2010, foi desenvolvido o Projeto Agrominerais para o Brasil, coordenado pelo CETEM, com financiamento do CT-Mineral. O projeto atendeu aos seguintes objetivos: abordar os principais temas relacionados aos agrominerais com foco no Brasil e apresentar sugestões com linhas de ação, bem como discutir uma agenda de prioridades para o desenvolvimento científico e tecnológico brasileiro, de forma sustentável.

A maior empresa brasileira de mineração, Vale, em 2009, criou o ITV-Instituto Tecnológico Vale e deu início à promoção e ao fomento de P&D nas instituições de C&T nacionais e em parcerias com algumas **Fundações de Apoio à Pesquisa** (FAPs) estaduais. É um fato promissor. Espera-se que outras grandes empresas de mineração, brasileiras e estrangeiras, sigam o exemplo. Essa prática já é adotada há décadas pelas grandes empresas do mundo, especialmente apoiando as instituições de P&D dos países onde estão sediadas. Não se trata de gestos de simpatia, obviamente, mas a percepção que a competitividade no longo prazo, em um mundo cada vez mais globalizado, dependerá crescentemente da capacidade de inovação tecnológica das empresas mineradoras. Na visão de curto prazo do acionista, pode ser mais rápido, e até mais barato, importar um pacote tecnológico. E é verdade! Mas as organizações de grande porte, muitas vezes propulsoras do desenvolvimento industrial em seus países pelos elos nas cadeias a montante e a jusante, e pela liderança setorial, geralmente tendem a perceber o papel que lhes cabe no desenvolvimento tecnológico do País, em sua área de atuação. Assim nos diz a história do século XX.

A área de engenharia mineral no País também ressurgiu com maior dinamismo nos últimos anos. Assim, o desenvolvimento de rota tecnológica específica para um determinado minério, de ensaios de laboratório à engenharia de processos, conceitual e de detalhe, encontra no País, em geral, a competência requerida. Já o mesmo não se pode afirmar quanto à metalurgia extrativa, incluindo-se a siderurgia, predominando a importação de pacotes tecnológicos. O potencial para a exportação desse conhecimento em engenharia mineral, dessa competência, ainda é pouco aproveitado.

A internacionalização das grandes mineradoras brasileiras, já operando em outros países e continentes, pode catalisar o processo de exportação desses serviços (como já ocorre na área do setor de petróleo). Nesse sentido, a indústria mineral chinesa oferece inúmeros exemplos em seus projetos de mineração na África, e já começa a fazê-lo no Brasil.

Finalizando, os novos projetos em implantação no País trazem, normalmente, tecnologias mais avançadas em termos de controles de operação e, por consequência, mais eficientes para o aproveitamento dos recursos minerais. A maior parte desses avanços concentra-se nos equipamentos. Como de praxe, os equipamentos são desenvolvidos pelos países industrialmente avançados (muitos deles inexpressivos no atual cenário mundial de mineração) e importados, ou fabricados no Brasil sob licença. Esse segmento, de equipamentos, é uma oportunidade de desenvolvimento ainda pouco explorada no País, um desafio de longo prazo, em face do potencial de o País crescer e se consolidar como um líder mundial na mineração.

BIBLIOGRAFIA REFERENCIADA

ARBITER, N. (1964). *Milling Methods in the Americas*. Gordon & Breach Science Publisher, New York, p. 6-8.

FUERSTENAU, M.C. (1999). Froth Flotation: The First Ninety Years. In: *Advances in Flotation Technology*. Society for Mining, Metallurgy and Exploration. Inc. edited by PAREKH, B.H; MILLER, J.D. p. 11-33.

GEORGIUS AGRÍCOLA, *De Re Metalica (Da Natureza dos Metais) (1556)*.

GUIMARÃES, J.E.P. (1980). O Vulto Humano de Paulo Abib Andery. In: *tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, In Memoriam Prof. Paulo Abib Andery*. Publicação do Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco – ITEP, Recife, 399p.

IBRAM. (2015). Instituto Brasileiro de Mineração. Disponível em [http://www.ibram.org.br/Estatísticas/Produção Mineral Brasileira 2015/](http://www.ibram.org.br/Estatísticas/Produção%20Mineral%20Brasileira%202015/). Acesso em 13 maio 2016.

IBRAM. (2016). Instituto Brasileiro de Mineração. Água e Mineração: Fatos e Verdades. Disponível em http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=241456. Acesso em 16 maio 2016.

KITCHENER, J.A. (1984). The froth flotation process: past, present and future - in brief. In: *The Scientific Basis of Flotation (Ives, K.J., ed.)*. The Hague, Martinus N. Publishers, p. 3-5.

LINS, F.F. (2008). Panorama das rochas e minerais industriais no Brasil. In: *Rochas e Minerais Industriais (Luz, A.B. e Lins, F.F., eds.)*. 2ª Edição, CETEM/MCT.

PEREIRA, C.A e NOGUEIRA, F.C. (2015). Ensino de Engenharia de Minas no Brasil. UNIFESSPA, VI Workshop de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Marabá, PA.

SACHS, I. (2002). *Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável*. Organização: Paula Yone Stroh. Rio de Janeiro, Ed. Garamond, 96p.

SACHS, I. (2004) *Desenvolvimento: includente, sustentável, sustentado*. Rio de Janeiro. Ed. Garamond, 151p.

SAMPAIO, J.A.; LUZ, A.B. e LINS, F.F. (2001). (editores). *Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil*, CETEM/MCT, 398p.

SILVA, J.P.M. (2016). *Mineração e Sustentabilidade no Arranjo Produtivo Local de Areia Piranema*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da UFRJ. Programa de Pós-Graduação em Geologia.

SINOPSE Mineração & Transformação Mineral, DTTM/SGM/MME, 2008 a 2016, disponível em www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes/boletim-informativo-do-setor-mineral?-20-displayStyle=descriptive&p-p-id=20. Acesso em 13 maio 2016.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Introdução para o Banco de Dados de Minerais, <http://www.rc.unesp.br/museudpm/introducao.html>.

ARAÚJO, A.C. (2007). Cap. 1 Introdução. In: Introdução ao Tratamento de Minérios, George E.S. Valadão e Armando C. de Araújo (Organizadores), p. 11 - 14, Editora da UFMG, Belo Horizonte, 234p.

ARBITER, N. (1968). Mineral Processing - past, present and future. *In: Advances in Mineral Processing* (SOMASUDARAN, P., ed.). Colorado: SME, p. 3-13.

WILLS, B.A and NAPIER, T.J. (2006). WILLS' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery, Edited by Tim Napier-Munn, Seventh Edition, Published by Elsevier Ltd., 429p.

BALTAR, C.A.M. (2010). Flotação no Tratamento de Minérios. Departamento de Engenharia de Minas – UFPE, 2ª Edição, 232p.

BRASIL Mineral (2008). A Gestão das Águas. Edição Especial, junho.

CHAVES, A.P. (2006). Flotação – O estado da arte no Brasil. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios. Signus Editora, v. 4, 444p.

CHAVES, A.P. (2012). Teoria e Prática do Tratamento de Minérios, 4ª Edição, v. 1, 303p.

CLIFFORD, D. (1999). Gravity Concentration Mining Magazine, p. 136-148.

CONCHA, F. (1971). Fundamentos de las Operaciones Mecanicas, Departamento de Metalurgia Extrativa, Escuela de Ingenieria, Universidad de Concepcion.

DANA, J.D. (1976). Manual de Mineralogia, v. 2, 1ª Edição Brasil, Livros Técnicos e Científicos.

SANTOS, T.A.M. (2015). Estudo da rocha fonolito como fonte alternativa de potássio fertilizante de liberação lenta; Tese de Doutorado, Instituto de Química/UFRJ, 155p.

FERNANDES, F.R.C.; LUZ, A.B.; CASTILHOS, Z.C. (2010). (editores). Agrominerais para o Brasil, CETEM/MCT, 380p.

FERNANDES, F.R.C.; MATOS, G.M.M.; CASTILHOS, Z.C. e LUZ, A.B. (2007). (editores). Tendências Tecnológicas Brasil 2015 – Geociências e Tecnologia Mineral. CETEM/CPRM, 380p.

GAUDIN, A.M. (1971). Principles of Mineral Dressing. New Delhi: MacGraw-Hill Publishing Company.

IBRAM/ANA. (2006), A Gestão de Recursos Hídricos na Mineração, 338p. Acesso em 08 janeiro 2015.

KUZWART, M. (2000). Prólogo. In: Rocas y Minerales Industriales de Iberoamérica. Editores: Benjamin Calvo Perez, Anibal Gajurdo Cubillos e Mario Maia Sanchez, Instituto Tecnológico Geominero de Espanha, 436p.

LUZ, A.B. e DAMASCENO, E.C. (1996). Desativação de Minas. Série Tecnologia Ambiental 14, CETEM/MCT.

LUZ, A.B. e LINS, F.F. (2010). Introdução ao Tratamento de Minérios. In: Tratamento de Minérios. 5ª Edição. LUZ, A.B., SAMPAIO, J.A. e FRANÇA, S.C.A. (Editores), CETEM/MCT, Rio de Janeiro, 932p., cap. 1, p. 3-20.

LUZ, A.B.; PENNA, M.T.M.; SAMPAIO, J.A. (2010). Introdução ao Tratamento de Minérios (1983). In: Tratamento de Minérios, Adão B. Luz e João Sampaio (editores), Edição Histórica CETEM, 256p.

LUZ, A.B.; SAMPAIO, J.A. (2015). Desativação de Minas, Série Tecnologia Ambiental, STA-79, CETEM/MCTI, 50p.

LUZ, A.B. e LINS, F.F. (2008). Rochas e Minerais Industriais. 2ª Edição, CETEM/MCT, 990p.

PRYOR, E.J. (1965). Mineral Processing (3rd Edition) - London: Elsevier.

SAMPAIO, C.H. e TAVARES, L.M.M. (2005). Beneficiamento Gravimétrico – uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade. Editora da UFRGS, Porto Alegre, 603p.

SAMPAIO, J.A.; FRANÇA, S.C.A. e BRAGA, P.F.A. (2007). (editores). Tratamento de Minérios – práticas laboratoriais. CETEM/MCT, 570p.

SÁNCHEZ, L.E. (2007). Mineração e Meio Ambiente. In: Tendências Tecnológicas Brasil 2015. Editores: FERNANDES, F.R.F.; MATOS, G.M.M.; CASTILHOS, Z.C.; LUZ, A.B. CETEM/MCT, 380p.

SOEIRO FELIX, A.A.S. (2014). Síntese e Caracterização de Materiais com Liberação Controlada de Potássio. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química.

STRATEN, P.V. (2007). Multi-nutrient rock fertilizers. In: Agrogeology -The use of rocks for crops. p. 326-340, Department of Land Resource Science University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, 440p.

TRAJANO, R.B. (1966). Princípios de Tratamento de minérios: operações unitárias e aparelhos. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 178p.

WINTER, A. R. e SELVAGGI, J. A. (1990). Large scale superconducting separator for kaolin processing. *Chemical Engineering Progress*, p. 36-49.

YUSUPOV, T.S.; HEEGEN, H.; SHUMSKAYA, L.G. (2000). Beneficiation and Mechanical – Chemical Alteration of Natural Zeolites. In: Proceeding of the XXI International Mineral Processing Congress, v. A, p. A1-44 – p. A1-51, Rome, Italy.