



Foto:Wikipedia

Desastre de Brumadinho colocou em cheque tecnologias de barragens a montante

## MEIO AMBIENTE

### Existe alternativa para o uso dos rejeitos de mineração?

A mineração é uma atividade econômica importante para o país. Dados do Instituto Brasileiro de Mineração (Ibram) apontam que o setor respondeu, em 2017, por 16,7% do PIB industrial brasileiro. É uma produção que ultrapassa os dois bilhões de toneladas por ano e gera 180 mil empregos diretos e mais dois milhões de indiretos. “Os bens minerais são componentes essenciais de grande parte dos produtos utilizados pela sociedade moderna, tendo um papel fundamental tanto para a

economia quanto para a população. Cada brasileiro consome, em média, anualmente, cerca de 5,4 toneladas de insumos de origem mineral. Considerando uma expectativa de vida de 70 anos, esse consumo alcança 328 toneladas, sendo gerados três mil toneladas de rejeitos por habitante”, destaca Sandra Lúcia de Moraes, engenheira e pesquisadora do Centro de Tecnologia de Metalurgia e Materiais do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

**GERAÇÃO DE REJEITOS** A geração de rejeitos é uma consequência dessa atividade. De acordo com Maurício Guimarães Bergerman, engenheiro de minas e professor da Universidade de São Paulo (USP), a atividade mineral produz dois tipos principais de resíduos (subprodutos da extração sem valor comercial). “Um deles são os materiais estéreis, compostos por fragmentos grosseiros de rocha (com alguns centímetros de tamanho), resíduos da lavra (exploração da jazida mineral). São materiais dispostos em pilhas, chamadas pilhas de estéril, que costumam ser estáveis. Não temos relatos de problemas significativos com elas. O outro tipo são os rejeitos, produtos do beneficiamento mineral, que são mais finos (de alguns milímetros a frações de milímetros) e são dispostos em barragens de rejeitos”, explica. Alguns bens da mineração geram apenas materiais estéreis em sua produção, como o caso da brita para a construção civil. Assim, não existe a necessidade de um beneficiamento desse material: tudo que sai da terra ou é produto ou vai para a pilha de estéril. “Mas, com os minerais metálicos (ferro, cobre, zinco etc.), é necessário um processamento da rocha lavrada para a retirada dos minerais portadores dos elementos de interesse, que



Associar o uso de barragens com outros métodos construtivos pode gerar mais segurança para a atividade de mineração

estão finamente disseminados na rocha. A ideia é reduzir o tamanho da rocha até liberar esses minerais. Nesse caso, o rejeito do processo de beneficiamento, será necessariamente fino”, explica Bergerman.

A composição do rejeito da flotação (processo de beneficiamento) varia de mina para mina. “No caso das usinas de minérios de ferro (como as de Mariana e Brumadinho), a composição é essencialmente quartzo, argilominerais e minerais portadores de ferro, como hematita, magnetita e goetita. Existe ainda uma parcela de produtos químicos

usados no beneficiamento”, esclarece o engenheiro.

Um levantamento realizado pelo IPT, complementando os dados gerados pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), em 2012, indica que cerca de 4,86 bilhões de toneladas de rejeitos foram acumuladas entre 2009 e 2014 no Brasil, levando em consideração apenas 15 substâncias minerais de um total de 70 que o país produz. “Desse total, as produções de minério de ferro, ouro e fosfato superaram individualmente o patamar de um bilhão de toneladas, sendo

que somente ferro e ouro já são responsáveis por mais da metade do total de rejeitos gerados. Isso indica que não apenas uma ou duas aplicações podem resolver o problema, mas muitas alternativas com potencial de uso de grandes quantidades dos rejeitos precisam ser desenvolvidas”, aponta Moraes.

**PROCESSAMENTO DO MINÉRIO** Segundo Renata Rodriguez, especialista em tratamento biológico de efluentes industriais e professora da Universidade Federal de Alfenas (Unifal), a indústria de mineração faz uso de grandes volumes de água

em seus processos produtivos. “Como consequência, temos a produção de elevados volumes de efluentes líquidos, que devem ser armazenados em barragens ou destinados ao tratamento para remoção de todos os compostos poluidores antes que a água retorne ao meio ambiente”. Para alguns tipos de efluentes podem ser utilizados reagentes químicos em etapas que envolvem a precipitação de uma fase sólida, que possa ser separada da fase líquida. “As desvantagens desse método são o alto custo dos produtos e a produção de uma lama (fase sólida) de difícil disposição. No caso do tratamento de águas ácidas de mineração (aquelas com pH abaixo de 5,0), os custos operacionais estimados são cerca de R\$ 1,00 a R\$ 9,00/m<sup>3</sup>, dependendo dos poluentes e do pH do efluente em questão”, explica. Como alternativa, acrescenta Rodriguez, atualmente existem tecnologias que empregam o uso de reagentes contendo sulfeto, que levam à precipitação de sulfetos metálicos, produtos que têm potencial de comercialização ou, ainda, o uso de sistemas mais avançados que levam à produção de uma fase sólida mais concentrada, o que reduz os volumes de disposição e armazenamento e, conseqüentemente, os custos. “Entretanto, essas escolhas sempre vão depender da localização da

mina, do tipo de minério extraído, dos rejeitos produzidos e da qualidade final que se deseja obter para a água que retorna ao meio ambiente”, ressalta.

**USO DAS BARRAGENS** De acordo com Bergerman, as barragens são utilizadas normalmente devido ao menor custo. Mas existem alternativas que permitem sua eliminação parcial ou total. “Os rejeitos podem ser dispostos a seco, em pilhas (como é feito com o material estéril que sai da mina), após processos de desaguamento (peneiramento, espessamento, filtragem e, eventualmente, secagem). Há, no Brasil e no mundo, diversos exemplos de minerações que operam com esses sistemas. São processos que funcionam bem, mas que agregam custos à produção. No caso de algumas minas de ferro, com volume de produção muito grande, os processos para desaguamento do rejeito também teriam custos altos”, comenta o engenheiro. Ele acrescenta que há possibilidade de usos alternativos dos rejeitos, como fabricação de tijolos. “Cada rejeito precisa ser analisado individualmente, mas a implementação de processos industriais para esse reaproveitamento esbarra, normalmente, em questões econômicas e logísticas. Apenas

## TRATAMENTO BIOLÓGICO

Uma alternativa emergente para o tratamento de alguns rejeitos do processo de mineração são os tratamentos biológicos, aqueles baseados no emprego de bactérias capazes de promover uma transformação bioquímica nos poluentes presentes no efluente de mineração. “Como exemplo de sucesso, destaca-se o tratamento de águas ácidas de minas por bactérias capazes de remover sulfato e metais, além de elevar o pH deste efluente de 4 para 7 (neutro). O processo biológico tem custo muito reduzido comparado ao tratamento químico, além de ser ambientalmente sustentável, já que não emprega compostos que podem trazer danos ao meio ambiente”, explica Rodriguez, da Unifal. No Brasil, a implantação do tratamento biológico em escala ainda é muito reduzida, mas no Canadá e Estados Unidos já existem minas que empregam esse processo há mais de 20 anos.



uma pequena parcela dos rejeitos de uma mina permitiria fabricar todos os tijolos de que o Brasil precisa. Mas o custo de transporte desses materiais inviabilizaria a operação, além de destruir cadeias produtivas por todo o país”, acredita.

**TECNOLOGIAS PARA MINERAÇÃO** O aperfeiçoamento dos processos de produção e o desenvolvimento de técnicas para processar resíduos seguem como desafios para a ciência. Segundo Lucia de Moraes, do IPT, o teor do bem mineral e outros fatores relativos à eficiência do processo, fazem com que os rejeitos tenham alto percentual de material de interesse que não são recuperados e acabam descartados em pilhas ou barragens de rejeitos. “A abordagem de economia circular é extremamente aderente a esse contexto. Ela se baseia na ideia de desenvolvimento como um ciclo positivo contínuo que preserva e aprimora o capital natural, otimiza a produção de recursos e reduz riscos sistêmicos, administrando estoques finitos e fluxos renováveis. Esse conceito abrange a necessidade de transformar os resíduos em insumos para a produção de novos produtos”, conclui a pesquisadora do IPT.

Patricia Piacentini

## MUSEU NACIONAL

### Ciência em meio ao fogo e ao gelo

No fim de fevereiro de 2012, um incêndio consumia a base brasileira de pesquisa na Antártida. Cerca de 70% da Estação Antártica Comandante Ferraz e duas vidas – a de um sargento e de um suboficial – foram perdidos. Pouco mais de seis anos depois, em setembro de 2018, o Brasil e o mundo assistiam atônitos as chamas destruírem quase que a totalidade do acervo do Museu Nacional, no Rio de Janeiro. Milhões de anos na forma de peças e documentos arderam nas salas e corredores do Palácio de São Cristóvão que havia acabado de completar seu bicentenário como museu. Mas, apesar do choque, o que aconteceu na Ilha do Rei George e na Quinta da Boa Vista não foi o suficiente para desmotivar paleontólogos, oceanógrafos e a comunidade que desenvolve estudos no Brasil e na Antártida.

Prova disso é a exposição “Quando nem tudo era gelo – novas descobertas no Continente Antártico” que, inaugurada em janeiro no Centro Cultural Casa da Moeda do Brasil, é a primeira do Museu Nacional depois do incêndio. A mostra traz descobertas de expedições realizadas entre 2015 e 2018 no âmbito do projeto PaleoAntar, liderado pelo Museu Nacional e que faz parte do Progra-

ma Antártico Brasileiro (ProAntar) desde 2006.

Fósseis de dinossauros, de outros animais e plantas que viveram no continente há cerca de 80 milhões de anos mostram como as mudanças climáticas alteraram a dinâmica local. O geólogo Alessandro Batezelli, professor do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), é um dos pesquisadores que participaram do PaleoAntar. Entre novembro de 2018 e fevereiro deste ano ele, que trabalha com reconstrução paleoambiental da América do Sul, permaneceu na estação de pesquisa provisória do Brasil na Antártida para entender que espécies de dinossauros ocorriam naquela região. “As ossadas, juntamente com as rochas coletadas, podem nos ajudar a identificar organismos que habitaram aquela região, comparar as espécies de dinossauros, entender como era o clima antártico há 80 milhões de anos e, assim, fazer uma reconstrução paleoclimática e paleoambiental”, explica.

A comparação das informações do paleoclima antártico em determinada época – distribuição de massas de ar, correntes de circulação atmosférica e marinha – com as de outras regiões possibilita ir montando um tipo de quebra-cabeça geoclimático global de uma determinada época. “No nosso caso trata-se do período Cretáceo”, complementa o pesquisador da Unicamp.