

# Origem e Controle do Fenômeno Drenagem Ácida de Mina

**Jaime W. V. de Mello, Helio A. Duarte, Ana Cláudia Q. Ladeira**

Um dos maiores problemas ambientais relacionados à indústria de mineração é a drenagem ácida de mina causada pela oxidação de minerais sulfetados. O conceito de drenagem ácida de mina, o seu impacto no meio ambiente e as formas de prevenir e mitigar o seu efeito são discutidos em detalhes.

► drenagem ácida de mina, meio ambiente, indústria de mineração ◀

24

Recebido em 13/03/2014, aceito em 24/04/2014

**D**renagem ácida de mina (DAM) é um fenômeno que se inicia quando rochas contendo minerais sulfetados são retiradas do interior da terra pelas atividades de mineração e, quando dispostas na superfície terrestre, oxidam-se por reação com água e oxigênio atmosféricos. Embora drenagem ácida possa ser acompanhada de processos erosivos, trata-se de fenômenos bastante distintos. Enquanto a erosão se refere à retirada e ao transporte de sedimentos sólidos, usualmente em suspensão por escoamento superficial da água da chuva, a drenagem ácida é o movimento de solutos em águas ácidas, não necessariamente por escoamento superficial.

As soluções ácidas geradas por DAM, à medida que penetram nas rochas e nos solos, podem solubilizar alguns elementos químicos presentes, podendo contaminar águas superficiais como rios, riachos e/ou águas subterrâneas. Alguns exemplos desses elementos são Mn, Cr, Cd, Zn, Pb, As, dentre outros. Esse fenômeno está associado a atividades de mineração, mais especificamente à etapa de retirada do minério, quando grande quantidade de rochas é exposta às condições atmosféricas, potencializando a drenagem ácida e o risco de contaminação ambiental. Os minerais sulfetados responsáveis pela DAM, geralmente,

estão presentes em minérios de carvão ou minérios de níquel, chumbo, zinco, cobre, urânio, ouro e prata. Entretanto, a drenagem ácida não é um problema exclusivo das atividades de mineração e pode ocorrer em qualquer operação que resulte em grande movimentação de terra e rochas que contenham minerais sulfetados como, por exemplo, em construções de estradas, túneis, barragens e aeroportos.

A DAM é o termo utilizado geralmente para designar os impactos da oxidação do mineral pirita ( $\text{FeS}_2$ ). A DAM em ambientes de mineração é, na maioria das vezes, caracterizada por baixos valores de pH – que podem ser inferiores a 3,5 –, altas concentrações de sulfato – podendo chegar a  $2000 \text{ mg L}^{-1}$  – e cátions metálicos em con-

centrações superiores àquelas normalmente encontradas em ambientes naturais. Entretanto, as características químicas da DAM, como a concentração e espécie de contaminantes, são específicas para cada região, variando de acordo com as características do depósito mineral.

Cátions metálicos liberados pelo intemperismo dos minerais, em geral, precipitam como hidróxidos, sulfetos, sulfatos ou carbonatos, dependendo do ambiente geoquímico, tornando-se relativamente imóveis sob condições normais

**Drenagem ácida de mina (DAM) é um fenômeno que se inicia quando rochas contendo minerais sulfetados são retiradas do interior da terra pelas atividades de mineração e, quando dispostas na superfície terrestre, oxidam-se por reação com água e oxigênio atmosféricos.**

de pH dos solos e das águas (entre 5 e 7). No entanto, sob condições de baixo pH, esses cátions metálicos podem permanecer em solução e ser transportados por grandes distâncias, provocando efeitos danosos nos ecossistemas aquáticos. Também podem ocorrer impactos nas águas subterrâneas e nos solos como resultado do contato com as águas ácidas.

Podemos exemplificar a ocorrência da drenagem ácida por meio de águas que penetram nas pilhas de resíduos de mineração ou também mediante escoamento de águas pelas paredes das minas subterrâneas ou de minas de superfície (Figura 1A). Em alguns casos, à medida que as águas ácidas são aeradas, os locais por onde escoam tornam-se coloridos por um marrom avermelhado (Figura 1B). Isso é resultado da oxidação de  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$ , que forma um precipitado de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .

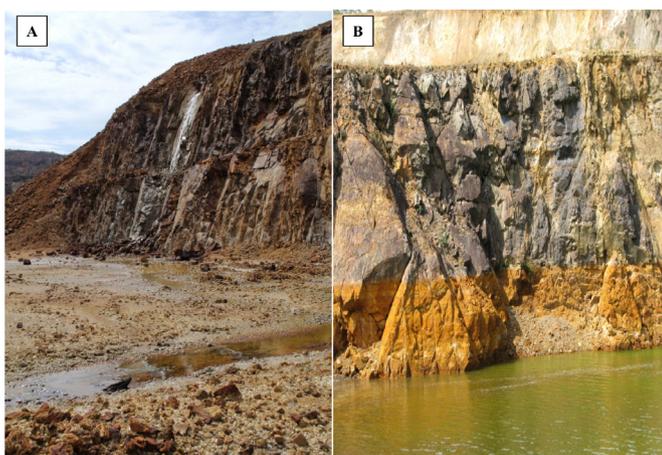
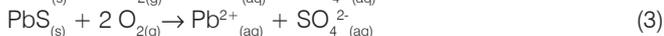
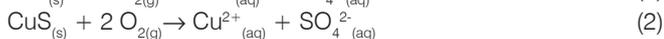
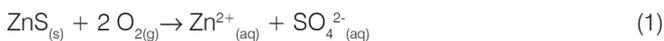


Figura 1: A) Geração de água ácida devido à percolação da água em minério sulfetado em antiga mina de urânio em Caldas (MG); B) As paredes das rochas por onde essas águas ácidas escoam tornam-se coloridas por um marrom avermelhado característico desse fenômeno (Caldas/MG) (Foto: Ana Claudia Queiroz Ladeira).

### Princípios geoquímicos das reações

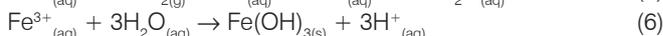
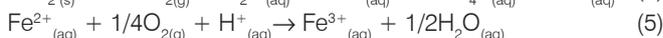
Os minerais pirita e marcassita, ambos bissulfetos de ferro ( $\text{FeS}_2$ ), são os principais geradores da drenagem ácida, sendo também os minerais mais abundantes e ocorrem em uma vasta gama de diferentes tipos de rochas. No entanto, a oxidação de outros sulfetos de ferro, como pirrotita ( $\text{FeS}$ ), arsenopirita ( $\text{AsFeS}$ ) e calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), também pode gerar soluções ácidas. É importante salientar que nem todos os minerais sulfetados sofrem hidrólise ácida. Sulfetos como a galena ( $\text{PbS}$ ), a esfalerita ( $\text{ZnS}$ ) e a calcocita ( $\text{CuS}$ ) não sofrem oxidação ácida, conforme ilustram os equilíbrios (Mello; Dias; Correa, 2003):



A acidez gerada na reação de oxidação de sulfetos depende da natureza do metal e sua capacidade de sofrer

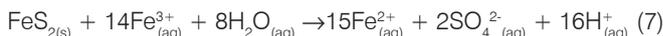
hidrólise, o que está relacionado com sua habilidade em formar bases fracas.

Há pelo menos duas propostas para explicar a oxidação da pirita, principal responsável pela drenagem ácida na mineração. A primeira considera que o processo inicia-se com a oxidação de bissulfeto de ferro, descrita na Equação 4. Na sequência,  $\text{Fe}^{2+}$  é oxidado a  $\text{Fe}^{3+}$  (Equação 5) que, por hidrólise, produz hidróxido férrico, sendo que os prótons liberados tornam o meio ácido (Equação 6) (Singer; Stumm, 1970):



A etapa de oxidação do ferro (Equação 5) é considerada limitante do processo, pois ocorre lentamente em meio abiótico. Sob condições naturais, a meia vida do  $\text{Fe}^{2+}_{(aq)}$  é da ordem de 1.000 dias, ou seja, leva-se esse tempo para que a quantidade de  $\text{Fe}^{2+}$  presente no meio seja reduzida à metade pela oxidação a  $\text{Fe}^{3+}_{(aq)}$ . No entanto, essa etapa pode ser acelerada pela ação de bactérias, presentes naturalmente em ambientes aquáticos e que se desenvolvem melhor em condições de pH entre 2,8 e 3,2. Duas espécies de bactérias envolvidas nesse processo foram identificadas em DAM e denominadas *Acidithiobacillus thiooxidans*, que oxida enxofre, e *Acidithiobacillus ferrooxidans*, capaz de oxidar ferro.

Em valores de pH próximos ou inferiores a 2,3, a hidrólise (Equação 6) praticamente não ocorre. Assim, aumenta a concentração de  $\text{Fe}^{3+}$  no meio, que oxida a pirita de acordo com a seguinte equação:



Em condições de pH baixo,  $\text{Fe}^{3+}$  é o principal oxidante da pirita, sendo reduzido a  $\text{Fe}^{2+}$ , que novamente pode entrar no ciclo de geração ácida. Esse processo torna-se um ciclo contínuo capaz de acelerar as reações e gerar grandes quantidades de acidez.

Outra explicação sugere a oxidação de pirita na ausência de  $\text{O}_2$  segundo duas vias que podem produzir  $\text{S}^0$  ou  $\text{SO}_4^{2-}$ , dependendo do potencial eletroquímico. A reação inicial representada na Equação 8 ocorre na ausência de  $\text{O}_2$ , sendo que as equações de 8 a 11 representam as semirreações de oxidação da pirita pelo processo conhecido como eletroquímico.



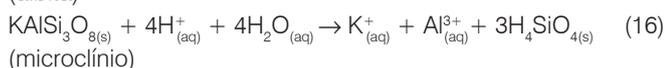
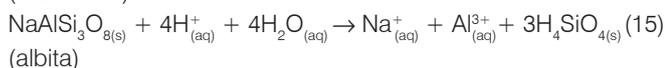
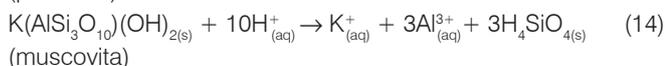
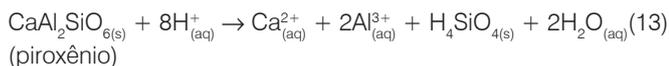
A Equação 7 indica que  $\text{Fe}^{3+}$  pode ser o principal oxidante da pirita. Assim, embora a concentração de  $\text{O}_2$  no meio possa controlar a semirreação de redução (10), os principais passos determinantes da velocidade de reação não precisam envolver  $\text{O}_2$ .

Pela primeira via, a Equação 4 indica a relação molar entre  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{H}^+$  como 1:1, ao passo que na segunda, Equação 8, essa relação é 1:8. Essas relações podem ser utilizadas para identificar o mecanismo predominante e indicar a necessidade ou não da presença de  $\text{O}_2$  para a oxidação da pirita, o que tem importantes implicações para as práticas de controle de drenagem ácida.

Entretanto, além das reações que tornam o meio ácido, pode ocorrer a dissolução de minerais carbonatados que consomem  $\text{H}^+$  e neutralizam a acidez, conforme indicado na Equação 12:



Reações de hidrólise de minerais contendo silício presentes nas rochas também podem neutralizar acidez, conforme exemplos das Equações de 13 a 16. No entanto, conforme alertam Mello e Abrahão (1998), tais reações carecem de importância prática, pois esses minerais, via de regra, decompõem-se mais lentamente do que os carbonatos.



A presença de compostos capazes de produzir acidez e/ou alcalinidade nas rochas não deve necessariamente afetar de modo proporcional na qualidade da drenagem. Devem ser consideradas as velocidades das reações nas quais a fase sólida é convertida em espécies iônicas. As reações de oxidação da pirita são ilimitadas em condições atmosféricas, ao passo que as reações produtoras de alcalinidade são limitadas pela solubilidade dos carbonatos.

### Avaliação de risco de geração de drenagem ácida

Avaliação de risco que uma determinada rocha apresenta para a geração de drenagem ácida é de fundamental importância para planejar e mitigar o seu impacto no meio ambiente. Por isso, conhecer a composição dos minerais, com ênfase nos minerais sulfetados e o seu potencial para gerar drenagem ácida, é essencial. Não é fácil estimar se uma determinada rocha é suscetível de gerar drenagem ácida. Geralmente os materiais são muito heterogêneos e a simples coleta de amostras pode levar a resultados equivocados. Além disso, detalhes quanto à

**Avaliação de risco que uma determinada rocha apresenta para a geração de drenagem ácida é de fundamental importância para planejar e mitigar o seu impacto no meio ambiente. Por isso, conhecer a composição dos minerais, com ênfase nos minerais sulfetados e o seu potencial para gerar drenagem ácida, é essencial.**

porosidade do material, às impurezas e como estão associados a outros minerais, por exemplo, alteram completamente a reatividade químicas desses materiais.

Por isso, testes químicos são realizados de forma a fornecer informações que permitam inferir sobre o potencial de geração de drenagem ácida. Geralmente realizam-se testes em laboratórios com amostras do material que se deseja avaliar. A partir da quantificação de sulfetos e carbonatos que há na amostra, é possível estimar, a partir de cálculos estequiométricos adequados, a quantidade máxima de ácido que pode ser gerada pela formação de ácido sulfúrico e a quantidade máxima de ácido que pode ser neutralizada pelo carbonato presente. Essa avaliação é realizada por meio de técnicas químicas específicas de análise química.

No entanto, é preciso considerar a cinética da formação da drenagem ácida e a reatividade química do material. Nem todo sulfeto ou carbonato na amostra estão disponíveis para o processo de drenagem ácida. Por isso, a amostra é tratada com um agente oxidante forte, como a água oxigenada, e o pH da solução é monitorado durante alguns dias ou meses. Dessa forma, é possível ter uma estimativa de qual é o risco de geração de drenagem ácida de um determinado minério quando exposto ao ar (meio oxidante) e umidade.

Outras variáveis como a quantidade de íons metálicos alcalinos presentes e solúveis e a condutividade elétrica são também avaliados durante esses testes em laboratório.

Testes em campo também são realizados acompanhando a oxidação das rochas e de resíduos ao longo de um período de exposição à umidade e ao ar atmosférico.

### Controle e tratamento da drenagem ácida

A drenagem ácida ocorre quando certas condições ambientais se tornam favoráveis à oxidação de um mineral sulfetados que está exposto. Além de o minério ter potencial para a drenagem ácida, presença de umidade, agentes oxidantes e percolação da água pelo material são condições essenciais para a sua ocorrência e o controle dessas variáveis é essencial para se evitá-la. No entanto, é preciso lembrar que o processo geralmente envolve enormes quantidades de materiais e qualquer produto químico a ser utilizado deve

ser de baixo custo, ter grande disponibilidade e não apresentar risco para o meio ambiente.

Materiais de reação alcalina como calcários podem ser misturados ao material gerador de drenagem ácida para a neutralização da acidez. O resultado da aplicação de calcários no controle de drenagem ácida é afetado pela cinética da reação de dissolução do  $\text{CaCO}_3$  e da oxidação do  $\text{FeS}_2$ ,

ilustrada na Figura 2. A cinética de ambas as reações dependem de diferentes fatores como morfologia da pirita e outros sulfetos presentes, pH do substrato, temperatura,

concentração de oxigênio e de  $\text{CO}_2$  no meio, população de bactérias e tamanho das partículas, pureza e distribuição do calcário.

No Brasil, alguns estudos têm revelado a necessidade de doses elevadas de calcário para neutralizar a acidez em solos e em áreas afetadas por mineração. Outros materiais corretivos como óxido de cálcio, cal hidratada, soda cáustica, carbonato de sódio e hidróxido de amônio têm sido utilizados para a neutralização de drenagem ácida. A utilização desses materiais depende de uma série de fatores que incluem aspectos relativos ao material (custos, disponibilidade, pureza, riscos de manuseio etc.) e as características da drenagem como fluxo, composição e potencial de acidificação.



Figura 2: Brita de calcário recoberta por óxidos de Fe (a) e renovação da brita (b) em drenos alcalinos (tratamento passivo da drenagem ácida) (Fotos: Luiz E. Dias).

A fim de minimizar os custos de neutralização, é possível associar outras técnicas com o uso de calcário. Entre materiais alternativos, resíduos orgânicos têm sido utilizados por seu custo relativamente baixo. Materiais orgânicos como compostos de lixo urbano, lodo ativado e outros resíduos orgânicos como bagaço de cana têm sido amplamente utilizados na recuperação de áreas degradadas em geral. Os benefícios decorrentes dessa prática não se restringem a efeitos químicos como o aumento da disponibilidade de nutrientes, da capacidade de troca de cátions e da capacidade tampão de acidez. Observam-se ainda melhorias nas propriedades físicas como o aumento da capacidade de retenção de água e formação de agregados em substratos ou solos sem estrutura.

Em substratos sulfetados, o uso de materiais orgânicos baseia-se principalmente na correção da acidez devido à alta capacidade de tamponamento e aos íons de ácidos fracos presentes, bem como na diminuição da disponibilidade de

metais pela formação de complexos metálicos estáveis.

Outra estratégia de controle da drenagem ácida é a cobertura do substrato a ser protegido com uma ou mais camadas de solos destinados a limitar a percolação de água de chuva e/ou o ingresso de oxigênio nos materiais reativos. Geralmente, utilizam-se solos argilosos ou resíduos da própria mineração já oxidados. Usualmente, os solos são selecionados por suas características particulares tais como elevadas taxas de compactação e baixa permeabilidade.

Quando os resíduos sulfetados de uma mina são inundados, ou seja, estocados sob água, tornam-se quimicamente inertes.

A inundação do material ou o uso de água como elemento de cobertura tem como objetivo limitar a disponibilidade de um dos principais reagentes, o oxigênio do ar. A concentração máxima de  $\text{O}_2$  dissolvido em águas naturais é cerca de 25.000 vezes menor do que na atmosfera, devido ao menor coeficiente de difusão em água. Uma vez que o oxigênio disponível na água é consumido, inclusive na oxidação dos sulfetos, a oxidação diminui muito, já que sua reposição na água é relativamente lenta. A diminuição da disponibilidade de  $\text{O}_2$  é uma medida simples e bastante efetiva na inibição da oxidação de sulfetos.

Sempre que possível, o manejo seletivo e isolamento de resíduos sulfetados é realizado para facilitar o controle da drenagem ácida. Esses materiais separados de maior risco para gerar drenagem ácida são, muitas vezes, utilizados como material de preenchimento de galerias de minas subterrâneas. Esses processos geralmente exigem controle e monitoramento contínuo do local. No entanto, a maior vantagem é a redução da quantidade de material para a disposição já que os sulfetos representam em média menos que 3% de todo o minério.

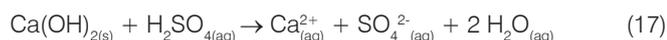
Se materiais geradores de acidez e geradores de alcalinidade são produzidos, geralmente a estratégia é fazer uma mistura desses materiais como forma de prevenção da drenagem ácida. Enfim, como certas bactérias são conhecidas por aumentar drasticamente a drenagem ácida, têm sido desenvolvidos alguns bactericidas para inibir o crescimento desses microorganismos. Essa não é uma solução definitiva, pois os bactericidas geralmente são facilmente lixiviados ou se tornam inativos com o tempo. Por isso, o seu uso é geralmente usado em uma abordagem integrada de manejo de resíduos sulfetados ou em minérios que aguardam o beneficiamento ou em resíduos temporários.

### Tratamento das águas ácidas geradas pela DAM

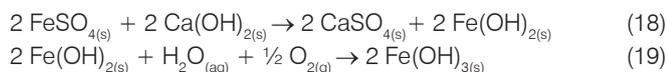
Caso a geração de drenagem ácida ocorra, mesmo depois de adotados métodos de controle como os já descritos,

No Brasil, alguns estudos também têm revelado a necessidade de doses elevadas de calcário para neutralizar a acidez em solos e em áreas afetadas por mineração. Outros materiais corretivos como óxido de cálcio, cal hidratada, soda cáustica, carbonato de sódio e hidróxido de amônio têm sido utilizados para a neutralização de drenagem ácida. A utilização desses materiais depende de uma série de fatores que incluem aspectos relativos ao material (custos, disponibilidade, pureza, riscos de manuseio etc.) e as características da drenagem como fluxo, composição e potencial de acidificação.

a água ácida gerada deve ser tratada antes do descarte no meio ambiente. Essa água, por ter pH muito baixo, contém vários metais que anteriormente constituíam os solos/resíduos e agora foram incorporados à água ácida por lixiviação e/ou dissolução. Muitas minerações que necessitam tratar a água ácida para descarte no meio ambiente utilizam a neutralização com cal para adequá-la aos padrões ambientais. A cal, além de neutralizar a acidez, atua também na precipitação de metais pesados, usualmente em pH de 5,0 a 9,0. Alguns exemplos de reações que ocorrem no processo são mostrados na sequência:



Quando a concentração de sulfato excede  $2 \text{g L}^{-1}$ , ocorre a precipitação de  $\text{CaSO}_4$ . Assim, sulfato ferroso pode ser removido com cal (Equação 18), sendo que o hidróxido ferroso solúvel pode ser oxidado a hidróxido férrico insolúvel pelo oxigênio dissolvido (Equação 19):



A concentração de vários metais na solução pode também ser reduzida pela precipitação desses elementos na forma de hidróxidos insolúveis. A Figura 3 mostra um exemplo em que as águas ácidas oriundas da drenagem ácida de uma mina de urânio desativada são tratadas pela neutralização e precipitação por meio da adição de cal.



Figura 3: Tratamento das águas ácidas oriundas de DAM (Caldas/MG) (Foto: Ana Claudia Queiroz Ladeira).

Um sistema de tratamento denominado *wetlands* tem sido utilizado no manejo das águas ácidas. A palavra *wetlands* significa áreas alagadas e são regiões que se assemelham a pântanos, onde processos químicos e bacterianos são os principais responsáveis pela remoção de íons metálicos e pela atenuação da acidez. O efluente ácido passa por essas regiões,

sendo submetido a processos físicos/químicos/biológicos que não são ainda completamente compreendidos. Dois tipos de *wetlands* podem ser construídos: aeróbicos e anaeróbicos. Os primeiros caracterizam-se pelo plantio superficial (< 30 cm) de vegetação adaptada sobre sedimentos relativamente impermeáveis (solo, argila ou remanescentes de mineração). Já os anaeróbicos consistem de plantios profundos (> 30 cm) de vegetação adaptada sobre sedimentos

permeáveis (solo, turfa, compostos orgânicos, serragem, esterco e outras misturas orgânicas) frequentemente recobertos ou misturados com calcário. Nesses sistemas, há a remoção de sulfatos e a remoção de metais das águas de drenagem pela precipitação como oxi-hidróxidos ou sulfetos e por reações de troca iônica. A precipitação dos cátions metálicos como sulfetos, juntamente com a redução de sulfatos, ocorre por processo anaeróbico, com a utilização de bactérias sulfato redutoras e matéria orgânica, de acordo com as equações abaixo, em que M representa um metal qualquer e  $\text{CH}_2\text{O}$  representa a matéria orgânica.



Bactérias sulfato redutoras ocorrem de forma natural em *wetlands* e sedimentos e vêm sendo testadas para tratar córregos acidificados. Já os sistemas aeróbicos são utilizados quando o ambiente é suficientemente alcalino para promover a precipitação dos metais.



Figura 4: Sistema anaeróbico de *wetlands* construído com plantio profundo e utilizado para tratamento da DAM na região de Pöhla (Alemanha) (Foto: Ana Claudia Queiroz Ladeira).

Em relação à drenagem ácida, os principais processos que ocorrem em *wetlands* são: i) adsorção de íons metálicos pelos argilominerais; ii) reação de íons metálicos com os ácidos húmicos; iii) retirada de metais pesados e outras substâncias tóxicas por macrófitas; iv) decomposição de compostos orgânicos e redução de sulfatos com precipitação de sulfetos por meio de processos anaeróbicos, levando à precipitação de sulfetos metálicos; e v) tamponamento da acidez.

Algumas plantas adaptadas a ambientes anaeróbicos são tolerantes à acidez e a elevadas concentrações de metais no solo. O uso de *wetlands* construídas, em detrimento de regiões naturalmente alagadas, pode ser uma alternativa de menor custo para tratamento da drenagem ácida, sem comprometer a qualidade de ambientes naturais (Figura 4). O uso de *wetlands* no Brasil ainda é escasso e incipiente.

*Wetlands* são consideradas sistemas de tratamento passivo que requerem baixa manutenção. Os critérios para projetar *wetlands* dependem da geração da acidez e da concentração de metais na drenagem ácida. Limitações no estabelecimento de *wetlands* incluem dificuldades para tratar grandes quantidades de águas ácidas, relevo inadequado ou pouca terra disponível para grandes áreas alagadas. Sendo assim, *wetlands* são uma opção atraente para o tratamento final de um efluente que já passou por um pré-tratamento ou quando o pH do efluente da DAM for superior a 4,5.

## Conclusões

A drenagem ácida é um problema ambiental relacionado à indústria extrativa mineral em que minerais sulfetados que fazem parte da composição de minérios de ouro, zinco, cobre, níquel e urânio, dentre outros, e carvão mineral oxidam em contato com ar e água e produzem acidez. As técnicas de prevenção e ou remediação do problema dependem de uma adequada avaliação do potencial e da cinética de geração da acidez.

A avaliação de risco para a geração de acidez de um determinado material é difícil e apresenta limitações. Dependendo do contexto geoquímico, pode-se chegar a interpretações errôneas. Uma das dificuldades é conhecer a cinética da geração ácida, pois os métodos que permitem conhecer a cinética e a estequiometria da geração ácida demandam muito tempo, meses ou anos, para a obtenção de resultados.

Diferentes abordagens são utilizadas para a mitigação do processo de geração de águas ácidas em todo o mundo. No entanto, a adoção de uma única estratégia, em geral, não garante o controle efetivo do processo com viabilidade econômica. As características de cada ambiente como potencial de geração de acidez, topografia, clima, entre outras e a disponibilidade de recursos técnicos e financeiros determinam a conduta a ser utilizada.

A drenagem ácida é um problema ambiental relacionado à indústria extrativa mineral em que minerais sulfetados que fazem parte da composição de minérios de ouro, zinco, cobre, níquel e urânio, dentre outros, e carvão mineral oxidam em contato com ar e água e produzem acidez. As técnicas de prevenção e ou remediação do problema dependem de uma adequada avaliação do potencial e da cinética de geração da acidez.

**Jaime Wilson Vargas de Mello** (jwvmello@ufv.br), agrônomo e mestre pela Universidade Federal de Santa Maria, doutor em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) pela Universidade Federal de Viçosa, é pesquisador ID do CNPq e professor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG - BR. **Ana Claudia Queiroz Ladeira** (ana.ladeira@cdtn.br), engenheira química, mestre e doutora em Metalurgia e Minas pela Universidade Federal de Minas Gerais, é professora do curso de Pós-Graduação Ciências e Tecnologia das Radiações Minerais e Materiais e pesquisadora do CDTN – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear. Belo Horizonte, MG – BR. **Helio Anderson Duarte** (duarteh@ufmg.br), engenheiro químico, mestre em Química Inorgânica e doutor em Química Teórica, é pesquisador 1B do CNPq e professor titular do Departamento de Química – ICEX da UFMG. Belo Horizonte, MG – BR.

## Referências

MELLO, J.W.V.; ABRAHÃO W.A.P. Geoquímica da drenagem ácida. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa: UFV, 1998. p. 45-57.

MELLO, J.W.V.; DIAS, L.E.; CORREA, M.L.T. Drenagem ácida: avaliação do potencial de ocorrência, mitigação e revegetação de substratos sulfetados. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ V.V.H. *Tópicos em ciência do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v. III, 2003. p. 401-430.

SINGER, P.E.; STUMM, W. Acid mine drainage: the rate determining step. *Science*, v. 167, p. 1121-1123, 1970.

## Sugestões de leitura

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Organizador: Fábio Cesar da Silva. Brasília: Embrapa, 1999. 370p.

INAP. *The Global Acid Rock Drainage Guide – Gard Guide*. Disponível em: <http://www.gardguide.com>. Acesso em 31 out. 2012.

SKOUSEN, J.G.; SEXTONE, A.; ZIEMKIEWICZ, P.F. Acid mine drainage control and treatment. In: BARNHISEL, R.I.; DARMODY, R.G.; DANIELS, W.L. (Eds.). *Reclamation of drastically disturbed lands*. Madison: American Society of Agronomy Madison, 2000. p. 131-168.

**Abstract:** *Source and control of the acid mine drainage phenomenon.* One of the major environmental problems related to the mining industry is the acid mine drainage caused by the oxidation of sulfide minerals. The concept of the acid mine drainage, its impact to the environment and the prevention and mitigation of its effect are discussed in details.

**Keywords:** acid mining drainage, environment, mining industry.