

EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAIS –AVALIAÇÃO DE PROBLEMAS

J.S.Benedetto¹, C.A.de Morais¹, S. D. F. Rocha², V.A.Leão³

1 - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN/CNEN

CEP 3012-970, Campus da UFMG, Pampulha, Belo Horizonte - MG

E-mail: jsb@urano.cdtn.br, cmorais@cdtn.br

2 – Departamento de Engenharia Química – Universidade Federal de Minas Gerais.

CEP 30160-030 –Rua Espírito Santo 35, Belo Horizonte - MG

E-mail: sdrocha@deq.ufmg.br

3 - Departamento de Engenharia Metalúrgica – Universidade Federal de Ouro Preto.

CEP 35400-000 - Morro do Cruzeiro, Ouro Preto - MG

E-mail: versiane@em.ufop.br

RESUMO

Na área mineral, o processamento hidrometalúrgico utilizado para obtenção de metais base gera efluentes contendo outros metais de elevado valor agregado ou tóxicos, que são geralmente estocados em grandes bacias de rejeito.

O método tradicional de tratamento desses efluentes envolve uma etapa de neutralização com a conseqüente precipitação dos metais presentes na forma de compostos. Esse tratamento gera uma grande quantidade de precipitado, classificado como resíduo classe I, perigoso e tóxico. A deposição final desse tipo de resíduo é realizada em grandes bacias de rejeitos, o que representa custos significativos de implantação e manutenção, consistindo ainda de um impacto ambiental negativo considerável.

Observa-se nos últimos anos uma crescente tendência no tratamento dos efluentes associada à recuperação de compostos e/ou metais presentes, na forma de subprodutos de alto valor agregado. Os processos mais comumente utilizados, em outros países, para esta recuperação envolve como etapa principal a técnica de extração por solventes, também conhecida por extração líquido-líquido ou a técnica de troca iônica, associada a uma etapa subsequente de precipitação. A aplicação dessas metodologias permite minimizar o impacto ambiental com um retorno econômico favorável, por meio da redução do volume e dos níveis de contaminantes dos efluentes e reciclagem dos recursos naturais.

Neste trabalho é apresentado um levantamento da situação atual do problema relacionado a atividade mineral do estado de Minas Gerais e a metodologia proposta para coleta de dados reais para, finalmente definir e desenvolver linhas de pesquisas mais apropriadas para tratamento dos efluentes líquidos industriais. A realização deste estudo irá consolidar uma linha de desenvolvimento científico e tecnológico já existente entre as instituições de pesquisa participantes visando dinamizar a integração multi-institucional, promovendo uma transferência tecnológica de forma efetiva ao setor produtivo.

Palavras Chave: Efluentes industriais, contaminação de aquíferos, tratamento de efluentes.

1. INTRODUÇÃO

Processar materiais de modo a produzir um bem que apresente propriedades e forma almeçadas pelo mercado, a preço competitivo, e com um mínimo de impacto ambiental (vale dizer num ciclo de desenvolvimento sustentável) representa um desafio que se renova constantemente. O tratamento de efluentes líquidos e a obtenção de metais e compostos presentes estão envolvidos nesta procura.

Dois importantes aspectos devem ser levados em consideração no tratamento de rejeitos industriais: um deles é o aspecto econômico, relacionado à recuperação da matéria-prima, e o segundo é a proteção do meio ambiente a partir da remoção de compostos tóxicos do meio, em especial dos compostos de metais pesados. Os processos hidrometalúrgicos são os mais indicados para tratamento adequado desses efluentes provenientes de indústrias minerais, visando a recuperação de metais de alto valor agregado. Os processos a serem desenvolvidos para os efluentes provenientes das indústrias minerais poderão ser estendidos a outras áreas geradoras de rejeitos contendo metais pesados e outros compostos passíveis de recuperação.

Um diagnóstico real do problema é fundamental para direcionamento das pesquisas, de forma a atingir um percentual significativo de indústrias, no que se refere à implementação de metodologias de tratamento de efluentes mais eficientes e de menor custo. É nesse sentido que será realizado um projeto, aprovado pelo fundo setorial mineral, onde propõe-se, em uma primeira etapa, a realização de um programa de visitas a unidades industriais para coleta de informações e amostragem de efluentes para caracterização. A partir dos dados levantados será feito um mapeamento dos efluentes líquidos de uma determinada região do estado de Minas Gerais, constando das principais características de agressividade ao meio ambiente e possibilidades de recuperação e reciclagem.

Modelagem física e matemática são ferramentas complementares que permitem otimizar processos de obtenção de metais e, portanto, atingir o objetivo citado acima. Aplicação de tecnologias simples, utilizadas nos países do primeiro mundo que são regidos por um controle ambiental rigoroso, podem ser utilizadas no Brasil, para recuperação de valores metálicos presentes em efluentes industriais com minimização de impacto ambiental.

2. SITUAÇÃO GERAL DO PROBLEMA ASSOCIADO À ATIVIDADE MINERAL

O Estado de Minas Gerais apresenta uma elevada importância no Setor Mineral Brasileiro, com um perfil minero-metalúrgico de destaque e um parque industrial consolidado, caracterizado pelo processamento de uma grande variedade de minerais e metais em diversas empresas. A mineração no Estado caracteriza-se por atender eficazmente sua própria indústria de transformação, por participar com uma parcela significativa na oferta de bens minerais para outros estados, além de contribuir expressivamente para as exportações do país. De acordo com o Perfil da Economia Mineral de Minas Gerais (SEME, 1999) o estado tem importante papel na produção de produtos metálicos, sendo o primeiro produtor nacional de ferro, ouro, zinco, nióbio, lítio e tântalo. Em segundo lugar estão alumínio, chumbo, níquel e manganês. São produzidos ainda berilo, cassiterita, prata e zircônio. Para substâncias não-metálicas Minas Gerais se sobressai na produção de caulim, grafita, mica, talco, agalmatolito e fosfato.

2.1. Efluentes industriais

Os processos industriais incluem, após a adequação das características físicas do material, a extração do metal do minério, normalmente por lixiviação, etapas de purificação do licor e recuperação de outros valores metálicos presentes nas soluções, além da recuperação do metal e o tratamento dos resíduos gerados. Os resíduos são, geralmente, efluentes líquidos contendo metais pesados e também resíduos sólidos, das etapas de lixiviação ou precipitados, das etapas de purificação de soluções e tratamento de efluentes líquidos (Hoffmann, 1991, Chmielewski, 1997).

Os efluentes líquidos gerados nesses processos são, em geral, soluções ácidas contendo diferentes metais, conforme o tipo de atividade desenvolvida. O tratamento desse tipo de efluente leva à formação de grandes volumes de rejeitos, que devem ser adequadamente dispostos em bacias de rejeitos. Muitas vezes, esses efluentes contêm ainda quantidades apreciáveis de metais, que poderiam ser recuperados. Um melhor aproveitamento dos recursos naturais, além de representar uma ganho adicional ao processo produtivo, alcançaria também a redução do impacto ambiental advindo da disposição dos rejeitos (Benedetto et al, 1998a, Rydberg et al, 1973).

O ferro apresenta-se como o metal mais abundante nesses efluentes, além da presença do níquel, zinco, cromo, índio, gálio, germânio e outros compostos. Devido às características e composições químicas, esses rejeitos constituem uma preocupação ambiental mundial. Desta forma, o tratamento desse tipo de efluente é uma etapa fundamental para minimizar o impacto ambiental gerado no desenvolvimento dessas atividades industriais (Benedetto and Morais, 2001, Benedetto et al, 1998b).

O método tradicional de tratamento destes efluentes envolve uma etapa de neutralização com a consequente precipitação dos metais presentes na forma de hidróxidos. A aplicação de técnicas, tais como: extração líquido-líquido, troca iônica e precipitação seletiva, para recuperação e reciclagem de valores presentes nesses rejeitos, é pois um desafio de fundamental importância para o setor produtivo e para melhoria ambiental.

2.2. Contaminação de Aquíferos

Outro aspecto de extrema importância no processamento mineral e hidrometalúrgico é a utilização da água, que, de acordo com perspectiva atual, tende a se tornar mais escassa e, conseqüentemente mais valiosa. A avaliação do consumo de água no processamento industrial e a possibilidade de seu reciclo para as diversas etapas do processo são de fundamental importância. Para isso é necessário efetuar diagnósticos dos processos, incluindo a realização de balanços de água e a otimização das operações que envolvem seu uso.

A Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM tem como uma de suas atividades a avaliação ambiental da qualidade das águas do Estado de Minas Gerais. São feitos levantamentos periódicos das contaminações das bacias do estado a partir de um plano de amostragens relativo às atividades diversas, dentre elas: indústria têxtil, alimentícia, extração mineral, indústria metalúrgica, atividades agrícola, pecuária e florestal.

São monitorados mais de duzentos pontos de amostragem nas seguintes bacias: São Francisco, Paranaíba, Grande, Doce, Mucuri e Jequitinhonha. Enfocando somente as atividades de extração de minerais metálicos e não metálicos e o tratamento hidrometalúrgico de minerais, percebe-se que ocorre uma grande contaminação dos aquíferos, notadamente devido à presença de metais pesados e elementos tóxicos, nocivos à saúde. A tabela 1, disponibilizada pela FEAM (www.feam.br), cujos dados são relativos à avaliação ambiental de 1998, apresenta o diagnóstico dos aquíferos e ações de controle recomendadas. Estes dados constituem uma primeira referência para um trabalho mais elaborado de diagnóstico junto ao setor industrial.

Tabela 1 - Qualidade das Águas – Avaliação Ambiental – 1998

| <i>Fatores de Pressão</i> | <i>Indicadores de Degradação das Águas</i> | <i>Ações de Controle Recomendadas</i> |
|---|--|--|
| Bacia do Rio São Francisco | | |
| <i>Sub-Bacias: São Francisco Sul, Rio Pará, Rio Paraopeba, São Francisco Norte</i> | | |
| Atividades Minerárias Garimpo de ouro, minério de ferro, calcário, areia e pedras | Turbidez, mercúrio e sólidos, cádmio, chumbo, cobre, níquel, zinco, ferro solúvel, manganês | Realizar vistoria para identificação de possíveis atividades de garimpo de ouro e implantar e/ ou adequar os sistemas de controle ambiental das empresas de extração e beneficiamento de calcário e das mineradoras da região. |
| BACIA DO RIO GRANDE | | |
| Atividades Industriais e minerárias; Fertilizantes e minerais metálicos e não metálicos | Mercúrio, fosfato total, níquel, turbidez e sólidos | Implantar e/ou adequar os sistemas de controle ambiental das mineradoras, das empresas de extração de areia e das indústrias de fertilizantes. |
| BACIA DO RIO PARANAÍBA | | |
| Fertilizantes e minerais não metálicos | Fosfato total, turbidez e sólidos | Implantar e/ou adequar os sistemas de controle ambiental das indústrias de fertilizantes, das mineradoras de fosfato e das empresas de garimpo de esmeraldas. |
| BACIA DO RIO DOCE | | |
| Minério de ferro e garimpo de ouro | Ferro solúvel, manganês e sólidos e turbidez. | Implantar e/ ou adequar os sistemas de controle ambiental das mineradoras e dos garimpos da região. |
| BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL | | |
| Bauxita e Caulim | Ferro solúvel, turbidez e sólidos. | Implantar e/ ou adequar os sistemas de controle ambiental das mineradoras locais. |
| BACIA DO RIO JEQUITINHONHA | | |
| Garimpo de ouro e garimpo de diamante | Turbidez e sólidos | Implantar e/ ou adequar os sistemas de controle ambiental das mineradoras localizadas na região. |
| BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO | | |
| <i>Sub-Bacia do Rio das Velhas</i> | | |
| Garimpo de ouro e extração de minério de ferro e de ouro. Extração de areia, argila, caulim, dolomita, calcita, calcário, gnaiss, granito, quartzo, pedras em geral | Sólidos em suspensão, turbidez, mercúrio, manganês, níquel, ferro solúvel, arsênio, chumbo, cobre, zinco | Implantar e /ou adequar os sistemas de controle ambiental das operações de garimpo e mineradoras localizadas na região. |

3. ESTUDOS RECOMENDADOS

3.1. Aplicação de técnicas hidrometalúrgicas ao processamento de resíduos sólidos e de efluentes líquidos

Resíduos sólidos e líquidos são produzidos em todas as etapas da produção de metais não-ferrosos, na maioria das vezes contendo teores elevados de metais pesados e outros agentes poluentes. Devido à necessidade de acondicionamento especial destes e do monitoramento constante dos depósitos, esses rejeitos tornam-se uma preocupação constante

das empresas e dos órgãos de fiscalização. Técnicas hidrometalúrgicas, devido à sua versatilidade, podem e devem ser aplicadas ao tratamento desses resíduos seja no sentido de produzir compostos de elevada estabilidade que não se decompõem de maneira fácil; seja como alternativa para o tratamento de efluentes de forma a separar os agentes toxicológicos ou de valor comercial de outros que, por ventura, ocorram associados a estes. Como resultado reduz-se o volume de material que precisa ser acondicionado de maneira especial (Benedetto and Morais, 2001).

Atualmente procura se aplicar técnicas modernas para o tratamento dos efluentes associado à recuperação de compostos e/ou metais presentes, na forma de subprodutos de alto valor agregado. Em outros países os processos mais comumente utilizados para esta recuperação são: extração por solventes, troca iônica e precipitação seletiva. A aplicação destas metodologias permite minimizar o impacto ambiental com um retorno econômico favorável, através da redução do volume e dos níveis de contaminantes dos efluentes e também a reciclagem dos recursos naturais.

3.2. Modelagem e otimização de processos

Grande parte dos problemas associados ao processamento mineral podem ser solucionados mediante avaliação de possibilidades alternativas de operação utilizando-se modelagem e simulação de processos. São necessários estudos envolvendo:

- Identificação de perdas e gargalos, através de levantamento detalhado das variáveis de operação, variáveis de repasse e das variáveis nos sistemas de utilidades seguido da simulação das unidades na situação atual de operação. Muitas unidades não dispõem de instrumentos de medida de variáveis adequados e em operação normal.
- Otimização teórico-experimental das etapas críticas de operação, comumente etapas de lixiviação, operações de purificação de soluções e eletrodeposição, maximizando-se a produção e garantindo-se a qualidade/especificação dos produtos; Para a otimização é necessário a busca de modelos representativos da realidade industrial. Muitos estudos tem sido conduzidos em países da Europa e América do Norte.
- Minimização da geração de efluentes/resíduos e seu impacto sobre o meio ambiente através da análise do processo otimizado e da proposição de sistemas de tratamento.
- Minimização do consumo de água, através da avaliação da segregação de correntes, tratamento prévio, e, posteriormente, reciclo ao processo. Integração de etapas de tratamento de minérios com as etapas de processamento hidrometalúrgico, definindo-se as especificações de correntes intermediárias.

Adicionalmente, ao se levar em consideração as pressões exercidas sobre o setor produtivo, devidas à competição globalizada, consolidação, requisitos de qualidade e adoção/aperfeiçoamento de tecnologias, fica evidente que a manutenção de um parque industrial sadio envolve a capacitação de pessoas, nas empresas, universidades e centros de pesquisa. Neste aspecto a otimização de processos, via modelagem física e matemática, com certeza se insere na lista de prioridades, de atividades a serem apoiadas e incentivadas.

3.3. Biotecnologia Aplicada ao Processamento de Minérios, Resíduos e Rejeitos

A biotecnologia passa por um grande desenvolvimento no Estado, sendo Minas Gerais o principal pólo dessa tecnologia no país. No campo mineral, sua aplicação à oxidação de minerais sulfetados já se comprovou para vários empreendimentos mineiros no mundo. O desenvolvimento observado no início dos anos 90 se direcionou basicamente para a oxidação de sulfetos (pirita e arsenopirita) contendo ouro e para a geração de águas ácidas e seu tratamento. O desenvolvimento científico e tecnológico propõe novos desafios como por exemplo a redução da concentração de íons sulfato em solução que pode ser obtida através da aplicação de microorganismos sulforedutores. O desenvolvimento de processos biotecnológicos capazes de ser aplicados a sistemas contendo elevado conteúdo de ganga carbonatada permitirá a aplicação da técnica aos minérios sulfetados encontrados em sistemas cárticos, típicos do estado. A aplicação industrial do processo também requer estudos em escalas semi-piloto e piloto assim como seu modelamento matemático.

3.4. Regeneração de CN⁻

Acidentes que envolveram a liberação cianeto e seus rejeitos nesses últimos anos, nas grandes indústrias de mineração de ouro, especialmente dos países desenvolvidos, justificam a necessidade de gerenciar melhor a prática do uso do reagente nas indústrias (incluindo também a administração de seus rejeitos). Países como Grécia e Turquia, e o estado de Montana nos USA baniram o uso de cianeto nos novos projetos de mineração. Em adição, o "International Cyanide Management Code", impôs um limite de liberação de cianeto WAD (weak acid dissociable, cianocomplexos de zinco, níquel e 2/3 do cianocomplexo de cobre) até 50 ppm enviado para barragens de rejeitos.

A pressão ambiental que as usinas hidrometalúrgicas de recuperação de ouro vem sofrendo, nos últimos anos, com relação à liberação de cianeto no meio ambiente, justifica o uso de métodos adequados para diminuição dos teores de cianeto ou até mesmo evitar sua emissão. A indústria do ouro é uma das mais importante do estado de Minas

Gerais e não está imune à pressão para o desenvolvimento de processos com emissão zero de cianeto. Neste sentido o desenvolvimento de processos que permitam a reciclagem deste reagente irão contribuir para o desenvolvimento técnico e científico do estado (Leão e Ciminelli, 2001).

4. CONCLUSÃO

Em vista dos dados apresentados, torna-se necessário elaborar um levantamento de indústrias que descartam efluentes líquidos de forma inadequada conforme proposto em um projeto a ser realizado pelo CDTN e pelo Departamento de Engenharia Química da UFMG. Este levantamento poderá ser feito junto à FEAM, com base nos dados relativos à qualidade das águas, apresentados na tabela 1. O levantamento desses dados juntamente com uma pesquisa da qualidade desses efluentes possibilita a elaboração de um mapeamento dos rejeitos gerados em uma determinada região do estado de Minas Gerais, constando das principais características de agressividade ao meio ambiente e possibilidades de recuperação e reciclagem. A partir de uma seleção prévia de amostras de efluentes poderão ser propostas linhas de pesquisa para recuperação dos valores presentes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benedetto, J.S., Morais C.A. Metals recovery from industrial effluents by solvent extraction process. In VI Southern Hemisphere Meeting on Technology; XVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Rio de Janeiro, RJ – Brasil, 2001, v.2, p. 410-415.
- Benedetto, J.S., Morais, C.A., Mingote, R.M., Recuperação de zinco de efluente industrial. In: XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa e I Seminário de Química de Colóides Aplicada à Tecnologia Mineral. Águas de São Pedro, SP – Brasil, 1998b, v.2, p. 123-134.
- Benedetto, J.S., Silva, C.E., Morais, C.A., Mingote, R.M. Recovery of acids and metals from a picking bath. In: XII Congresso Chileno de Ingeniería Química y II Encuentro Latinoamericano de Ingeniería Química. Antofagasta – Chile, 1998a, p. 67-75.
- Chmielewski, A.G., Urbanski, T.S., Migdal, W. Separation technologies for metals recovery from industrial wastes. *Hidrometallurgy*, 45, p.333-344, 1997
- Hoffmann, J.E., Advances in the extractive metallurgy of selected rare and precious metals. *JOM*, V.43:4, P.18-23, 1991.
- Leão A.V., Ciminelli, V.S.T. Aplicação de Resinas de troca-iônica na reciclagem de Cianeto. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2001, 173p. (Tese de Doutorado).
- Rydberg, J., Reinhardt, H., Lunden, B., Haglund, P. Recovery of metals and acids from stainless steel picking bath. In: International Symposium on Hydrometallurgy, AIME, p.589-611, 1973.