

# GESTÃO INTEGRADA DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS PARA EMPREENDIMENTOS MINERÁRIOS

**José Carlos Virgili<sup>1</sup> & Ana Paula Parenti Vianna<sup>1</sup>**

**Resumo** - São notáveis os avanços no conhecimento nas áreas de hidrogeologia e hidrologia devido à crescente importância dos recursos hídricos no Brasil e em todo o mundo. No entanto, falta uma maior integração entre as duas áreas, para que hidrogeólogos e hidrólogos possam desenvolver seus trabalhos técnicos de maneira otimizada e atingir resultados mais racionais e consistentes. O presente trabalho tem por objetivo analisar sucintamente a gestão integrada de águas superficiais e subterrâneas, para otimização de empreendimentos minerários, nas fases específicas de pré-viabilidade e viabilidade técnico-econômica, analisando-se alguns aspectos selecionados de acordo com as necessidades encontradas durante operações de minas a céu aberto ou subterrâneas. Ressalta a importância dos estudos hidrológicos e hidrogeológicos nestas fases iniciais de projeto e da utilização de monitoramentos desde a fase de pré-viabilidade.

**Palavras-chave** - Hidrologia, Hidrogeologia, Mineração, Balanço Hídrico, Monitoramento, Pré-Viabilidade.

## **INTRODUÇÃO**

Para implantação de empreendimentos minerários, são usualmente necessários os desenvolvimentos de estudos hidrológicos e hidrogeológicos nas fases de pré-viabilidade e viabilidade técnico-econômica com os objetivos específicos de descartar qualquer impedimento técnico-econômico ou ambiental definitivo à implantação do

---

<sup>1</sup> Golder Associates Brasil, Rua Gonçalves Dias, 3.172 - 3º Andar - 30140-093 – Belo Horizonte – MG, Tel.: (31) 275-2419 Fax (31) 291-9649, E-mail – gab@golder.com.br

empreendimento e de se conceituar e orçamentar o mesmo para sua eventual implantação e operação.

Os empreendimentos minerários envolvem atividades de pesquisa e exploração mineral, projeto, implantação e operação de lavra e beneficiamento de minério, por um período determinado de tempo.

Verificou-se a preocupação de outros autores com o planejamento integrado de utilização de águas subterrâneas e superficiais. COSTA (1998) se refere a proposição para compatibilizar a terminologia e a metodologia de avaliação de valores quantitativos de águas subterrâneas, tanto entre os hidrogeólogos, como também entre os hidrólogos, visto que o estudo e o planejamento de uso de uma bacia hidrográfica – unidade hidrológica dos recursos hídricos – deve levar em conta os volumes armazenados e disponíveis de águas superficiais e subterrâneas. OLIVEIRA (1998) cita que, em relação aos estudos e pesquisas sobre águas subterrâneas, falta a necessária divulgação e debate sobre seus resultados no âmbito do sistema de gestão de recursos hídricos bem como maior articulação com os Comitês de Bacia. REBOUÇAS (1997) afirma não podermos separar a água subterrânea da superficial, o uso racional dessas águas, seus gerenciamentos, monitoramentos, o planejamento de bacias e poços, bem como o uso e ocupação do solo.

A área onde serão implantadas as estruturas tais como pilhas de estéril, pilhas de minérios lixiviados, estrada/ acessos de serviço, instalação para beneficiamento e infraestrutura e os locais estabelecidos para as cavas de mineração, constitui-se na unidade espacial de intervenção direta do Projeto na qual se processarão as alterações decorrentes de sua implantação, principalmente nos sistemas físicos e biótico.

Os efluentes líquidos resultantes do processo de tratamento mineral podem ser recirculados em circuito fechado, podendo estar previsto o descarte de parte desse volume nos períodos de precipitação pluviométrica de maior intensidade. Ressalta-se a importância de monitoramento das vazões e qualidade destas águas de descarte e, o eventual impacto a ser causado pelas mesmas na área de influência e os tratamentos a serem propostos.

Estudos hidrológicos e/ou hidrogeológicos são fundamentais para os projetos de: drenagem para a implantação e manutenção de estradas e acessos, e outras áreas a serem ocupadas por oficinas de manutenção/laboratórios/alojamentos, etc.; instalações para captação de água nova; tratamento de esgoto sanitário, etc..

Os aspectos referentes à proteção do solo e dos recursos hídricos assumem importância destacada já que, em função do desmatamento necessário, decorrente dos processos de exploração mineral e de disposição de estéril e rejeito, haverá exposição do solo à ação das chuvas, possibilitando o carreamento de sedimentos para os cursos d'água locais e conseqüentemente, o assoreamento de seus leitos e a deterioração da qualidade de suas águas.

Um diagnóstico da área de influência direta e adjacências contém normalmente estudos e as caracterizações de: clima e condições meteorológica; geomorfologia; pedologia; geologia local e regional; hidrologia, hidrografia e hidrogeologia; qualidade das águas superficiais e subterrâneas; balanço hídrico; elaboração de modelos hidrogeológicos para captação de água nova (subterrânea) e rebaixamento do lençol freático para viabilidade das operações de lavra; avaliação do potencial de geração de águas ácidas, etc.

A previsão de impactos nos recursos hídricos superficiais e subterrâneos decorrentes das atividades de mineração deve conter descrição dos impactos nas fases de implantação, operação e encerramento da atividade minerária.

O gerenciamento integrado dos recursos hídricos tem como objetivo, não apenas o cumprimento de requisitos formais relativos à legislação ambiental, mas a sua utilização como instrumento para o planejamento estratégico dos empreendedores cuja correta utilização resultará em ganhos econômico-financeiros, operacionais e institucionais para o projeto, dado o seu potencial de:

eficácia no atendimento às metas e objetivos dos clientes;

interação com todas as áreas de atuação da empresa: planejamento, implantação, operação e descomissionamento;

abrangência na abordagem dos impactos sobre os recursos hídricos, derivados da implantação e operação do empreendimento;

seletividade na identificação dos impactos efetivamente relevantes, em termos de alterações ambientais, os quais requerem monitoramento adequado, a fim de evitar desembolsos futuros não previstos;

## FASES DE ESTUDOS

Foram selecionadas para este trabalho, duas fases distintas de estudos, propondo-se a análise da interface águas subterrâneas e águas superficiais para as fases de pré-viabilidade e viabilidade.

### PRÉ-VIABILIDADE

Durante a execução dos estudos na fase de pré-viabilidade, busca-se elaborar o Plano Diretor Inicial, fazer uma pré-conceituação e pré-orçamentação do empreendimento e avaliação de eventuais aspectos específicos que possam inviabilizar o empreendimento. Segundo OLIVEIRA (1998), os empreendimentos de exploração mineral, por alterarem a configuração natural dos terrenos, interferem na circulação hídrica ou são afetados pela presença das águas superficiais ou subterrânea; a mineração pode alterar direta ou indiretamente um grande volume de água, tanto em relação a sua quantidade como qualidade; pode influir, por exemplo, no escoamento superficial, fluxo subterrâneo, rebaixamento de níveis d'água subterrânea, na poluição de águas e outros.

Questões relativas à geração de água ácida, afluxo de água subterrânea para as áreas de cava e impacto a ser causado pelo rebaixamento do lençol freático para as operações de lavra são analisadas visando descartar possibilidades de inviabilização do empreendimento. Estudos de balanço hídrico global podem ser desenvolvidos, como um indicativo inicial da disponibilidade hídrica na região do empreendimento, sendo necessária a integração entre as áreas de hidrogeologia e hidrologia, para a avaliação do mesmo.

As áreas de interesse podem ser divididas em dois grupos distintos: regiões onde estão disponíveis dados hidrológicos e outras onde não é possível sua obtenção, devido à inexistência de estações ou devido à não disponibilidade destes dados pela entidade operadora das estações.

Considerando-se a aquisição de um estoque mínimo de dados médios anuais de precipitação, evaporação e deflúvio, pode-se verificar o balanço hídrico, através da equação:

$$D = P - E \quad (1)$$

onde:

D = deflúvio médio anual em mm;

P = precipitação média anual em mm;

E = evapotranspiração média anual em mm.

A forma mais usual de estabelecer os dados da equação (1) é obtendo-se os valores de precipitação e evaporação e determinar o valor do deflúvio pela subtração da parcela de evapotranspiração da precipitação. O valor encontrado deve ser comparado ao deflúvio médio de uma estação fluviométrica instalada na região, bastando para isso transformar o valor de vazão média (em  $m^3/s$ ), para mm, dividindo-se a vazão pela área de drenagem da bacia e multiplicando-se pelo número de segundos do ano.

Um desequilíbrio nesta equação, por exemplo, onde o deflúvio médio anual esperado apresenta-se inferior à diferença entre a precipitação e a evapotranspiração, pode ser causado por características geológicas da área como: perda de água subterrânea de uma bacia para outra através de zonas de falhas, devendo ser observado ainda neste caso o gradiente hidráulico entre as bacias, uma vez que gradientes hidráulicos muito baixos limitam de forma significativa o fluxo de água subterrânea entre bacias distintas; diferenças de manto de alteração (espessura, granulometria, permeabilidade, etc.), causadas por diferenças litológicas, por exemplo, podem implicar em diferentes taxas de infiltração, sendo que taxas de infiltração relativamente baixas (maciços geológicos menos permeáveis) resultam em alto escoamento superficial, devido à precipitação direta e melhores condições de infiltração (maciços geológicos mais permeáveis) resultam em armazenamento subterrâneo e fluxo de base com menor escoamento superficial contribuindo para picos de vazão menores.

A lavra e o processo / tratamento do minério pode eventualmente produzir rejeitos e estéreis geradores de águas ácidas. São necessários então, durante as fases iniciais do projeto, análises e estudos, para avaliação do potencial de geração de águas ácidas. Em caso positivo devem ser projetadas as medidas de tratamento para as mesmas, antes de seu descarte no meio natural.

A caracterização hidrogeológica do maciço deve ser efetuada a partir do modelo geológico da área (geologia, estratigrafia, estrutural, etc.). Através deste modelo e do conhecimento sobre características hidrogeológicas de maciços semelhantes pode-se estimar características hidráulicas para o maciço em estudo e o seu comportamento hidrogeológico preliminar, através da elaboração de modelos conceituais, numéricos e/ou

analíticos, frente as intervenções do empreendimento. Estas características e comportamento deverão ser checados, através de investigações e monitoramentos, ainda nesta fase ou em fases seguintes do projeto.

Nesta etapa, são ainda realizados estudo preliminares de aporte de água para o interior da mina, determinando-se valores máximos e mínimos das contribuições de águas subterrâneas e superficiais. A avaliação da contribuição das águas subterrâneas pode ser feita através da caracterização hidrogeológica e hidráulica elaborada anteriormente, modelamento numérico e/ou analítico do maciço, bem como de dados de monitoramento. Para as águas superficiais, são determinados os volumes de água aportados ao interior da mina, por precipitação direta ou drenagem contribuinte das áreas de entorno. Os valores de alturas pluviométricas para tempos de retorno distintos e durações de chuva podem variar, por exemplo de 1 a 30 dias, sendo transformados em volume através das áreas de contribuição e do coeficiente de escoamento ou de “run-off”.

O controle dos processos erosivos e de assoreamento deverá ser voltado para as áreas de intervenção relativas a mina; pedreiras; depósitos de estéril permanente; depósitos de minério lixiviado; área da planta de concentração; alojamentos, de lavagem e de manutenção de veículos e de estocagem de materiais utilizados na construção, de combustíveis e de produtos químicos; locais de descarte de águas, locais de desvio de cursos de água, acessos internos e interligação com a malha viária regional.

Ao final da fase de pré-viabilidade deve ser proposto um plano de investigações e monitoramentos hidrológicos e hidrogeológicos, a ser implantado na fase de viabilidade. Dependendo das características do empreendimento e do cronograma do projeto, é recomendável a implantação e o desenvolvimento deste programa já na fase de pré-viabilidade, mesmo que parcialmente. Este monitoramento auxiliará a montagem e calibragem dos modelos hidrogeológicos e hidrológicos relevantes.

As investigações e monitoramentos hidrométricos, a serem implementados a partir ou durante a fase de pré-viabilidade, visam a formação de um banco de dados hidrológicos, podendo ser instalados conjuntos de réguas linimétricas às margens dos cursos d'água, para registro dos níveis d'água, e de vertedouros nos mananciais de menor porte, obtendo-se neste caso as vazões através da geometria das estruturas instaladas. As campanhas de medição de vazão, para os cursos d'água de maior porte, podem ser realizadas utilizando-se equipamentos de medição da velocidade do fluxo (molinete). Para situações de empreendimentos situados em regiões onde não existe a disponibilidade de dados meteorológicos, tais como direção e velocidade dos ventos,

temperatura, precipitação, evaporação, radiação solar, entre outros, pode-se optar pela instalação de uma estação meteorológica no sítio do empreendimento.

As investigações e o monitoramento hidrogeológico a serem implantados e desenvolvidos também a partir ou durante a fase de pré-viabilidade, variam de acordo com o projeto e consistem basicamente na instalação de piezômetros, medidas de N.A. em furos de pesquisa geológica, ensaios geofísicos, testes hidráulicos (slug teste, packer teste, ensaio de bombeamento, entre outros), cadastramentos de nascentes e áreas alagadas, etc..

O estabelecimento integrado dos monitoramentos hidrométricos e hidrogeológicos proporciona uma maior facilidade para o entendimento do comportamento dos recursos hídricos na região de interesse. Ressalta-se que muitas vezes em que se pretende instalar equipamentos e realizar medições constantes, é necessário proporcionar um treinamento específico aos técnicos responsáveis, convencendo inclusive estes profissionais da importância dos dados a serem coletados por eles.

Quanto aos aspectos ambientais gerais, busca-se a identificação e a avaliação dos impactos inerentes aos diversos componentes do empreendimento através do monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, verificação das condições de desmatamento e revegetação.

## **VIABILIDADE**

Em uma fase seguinte, referente aos estudos de viabilidade, prevê-se o aumento do volume de informações relativas ao empreendimento, uma vez que a empresa empreendedora já desenvolveu os estudos iniciais relativos à fase de pré-viabilidade. Incluem-se entre as informações disponibilizadas: plantas topográficas atualizadas, plantas de cavas, características do empreendimento (em termos do processo de beneficiamento, emissões de efluentes e resíduos industriais a serem gerados, produtos, materiais e equipamentos a serem utilizados na implantação e operação do Projeto, bem como seus locais de estocagem e manutenção); projetos (geométrico, de drenagem e de sinalização) da estrada de ligação até a área de exploração mineral, etc..

Todo o projeto conceitual final do empreendimento deve ser desenvolvido nesta etapa, incluindo aqueles relacionados às águas subterrâneas e superficiais, tais como:

rebaixamento do lençol freático na mina sendo descritos os mecanismos para rebaixamento, como por exemplo a implantação de bateria de poços

tubulares; cálculo das vazões de água; verificação do impacto ambiental a ser causado devido ao rebaixamento.

fornecimento de água bruta, verificando-se a melhor opção entre captação de água superficial ou subterrânea; descrição dos mecanismos de captação; definição das vazões necessárias, podendo-se identificar através do balanço hídrico em barragens de rejeitos a água nova necessária ao processo considerando-se a parcela de água que recircula durante o processo; verificação dos impactos ambientais devido à nova captação.

definição da vazão a ser bombeada para fora das cavidades de lavra, considerando-se a utilização ou não de “sumps” e fazendo-se o somatório da água subterrânea aportada com a água superficial correspondente às águas de chuva; definição do modo, trajeto, necessidade de tratamento da qualidade e destino final destas águas.

diques de contenção de sedimentos, usualmente destinados para reter os sedimentos gerados a jusante de estruturas como pilhas de estéril ou barragens, estabelecendo-se as dimensões da estrutura e o período para limpeza dos reservatórios

diques para desvio de drenagens, para implantação em situações onde é necessário desviar o fluxo das áreas de cavas ou outras, estabelecendo-se as dimensões e o novo direcionamento das drenagens.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Ressalta-se a importância do estabelecimento da realização de estudos hidrológicos e hidrogeológicos em empreendimentos minerários, incluindo a implantação de banco de dados, desde as fases iniciais do projeto. Discute-se a gestão integrada das águas e a importância do seu estudo para a viabilidade do empreendimento, tanto do ponto de vista de engenharia como ambiental.

A realização de estudos hidrogeológicos e hidrológicos nos projetos de empreendimentos minerários, desde as suas fases iniciais, propicia, em relação aos aspectos correlatos, a: formação de banco de dados; conceituação, planejamento e



orçamentação mais racional do empreendimento; previsão de impactos ambientais e proposição das medidas mitigadoras mais adequadas, etc..

A gestão integrada das águas, a realização de investigações e a implantação de monitoramentos, desde a fase de pré-viabilidade, podem conduzir a ganhos consideráveis quanto a qualidade, racionalidade e consistência do projeto e dos estudos ambientais.

## **BIBLIOGRAFIA**

COSTA, W. D., *Avaliação de Reservas, Potencialidades e Disponibilidade de Aqüíferos*, X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 9 a 11 de Setembro de 1998, São Paulo - SP.

OLIVEIRA, E., *Água Subterrânea e Mineração*, X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 9 a 11 de Setembro de 1998, São Paulo - SP.

OLIVEIRA, E. M., *Aspectos Político-Institucionais de Planejamento e Gestão de Águas Subterrâneas: A Experiência da Bacia do Mogi-Pardo em São Paulo*, X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 9 a 11 de Setembro de 1998, São Paulo - SP.

REBOUÇAS, A., *Água Subterrânea – Fonte Mal-Explorada no Conhecimento e na sua Utilização*, A Água em Revista, CPRM, Ano V, Número 8, Março – 1997.