

Série Tecnologia Ambiental

Desativação de Minas

Adão Benvindo da Luz

João Alves Sampaio

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Desativação de Minas

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Dilma Vana Rousseff

Presidente

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Vice-Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Celso Pansera

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação

Emília Maria Silva Ribeiro Curi

Secretária-Executiva

Adalberto Fazzio

Subsecretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Fernando Antonio Freitas Lins

Diretor

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais

Claudio Luiz Schneider

Coordenador de Processos Minerais

Durval Costa Reis

Coordenador de Administração

Cosme Antonio de Moraes Regly

Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Coordenador de Apoio Tecnológico às Micro e Pequenas Empresas

Ronaldo Luiz Corrêa dos Santos

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

ISBN 978-85-8261-030-5

STA - 79

Desativação de Minas

Adão Benvindo da Luz

Eng. de Minas pela UFPE, D.Sc. em Engenharia Mineral pela EPUSP-USP, Pesquisador Titular do CETEM/MCTI.

João Alves Sampaio

Eng. de Minas pela UFPE, D.Sc. em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Tecnologista Sênior do CETEM/MCTI.

CETEM/MCTI

2015

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Luis Gonzaga Santos Sobral

Editor

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Subeditora

CONSELHO EDITORIAL

Mariza Bezerra de M. Monte (CETEM), Paulo Sergio M. Soares (CETEM), Saulo Rodrigues P. Filho (CETEM), Sílvia Gonçalves Egler (CETEM), Vicente Paulo de Souza (CETEM), Antonio Carlos A. da Costa (UERJ), Fátima Maria Z. Zotin (UERJ), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (PETROBRÁS), Luis Enrique Sánches (EPUSP) e Virginia S. Ciminelli (UFMG).

A Série Tecnologia Ambiental divulga trabalhos relacionados ao setor minerometalúrgico, nas áreas de tratamento e recuperação ambiental, que tenham sido desenvolvidos, ao menos em parte, no CETEM.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Valéria Cristina de Souza

Coordenação Editorial

João Henrique de Castro Rocha

Programação Visual

Valéria Cristina de Souza

Editoração Eletrônica

Andrezza Milheiro

Revisão

Luz, Adão Benvindo

Desativação de Minas / Adão Benvindo da Luz, João Alves Sampaio. — Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2015.

50p. (Série Tecnologia Ambiental, 79)

1. Fechamento de minas. 2. Desativação de minas. 3. Minas e recursos minerais. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Luz, Adão Benvindo, Sampaio, João Alves. III Título. IV. Série.

CDD – 622.2

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 ASPECTOS DA DESATIVAÇÃO DE MINAS	14
3 DESATIVAÇÃO DE MINAS NO BRASIL	25
4 PROCEDIMENTOS BÁSICOS PARA DESATIVAÇÃO DE UMA MINA	31
5 COMENTÁRIOS GERAIS	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

RESUMO

Este trabalho faz uma revisão sobre os procedimentos requeridos para implantar projetos de mineração e as atribuições ambientais, no país, aos órgãos federais, estaduais e municipais, bem como sobre as medidas que devem ser adotadas para mitigar os impactos ambientais decorrentes. Contextualiza o tema desativação de mina, descomissionamento e fechamento de mina. Neste trabalho são apresentados os principais aspectos a serem considerados – corporativos, tecnológicos e sociais – quando da elaboração de um projeto de desativação de mina. É feita uma breve apreciação sobre a desativação de minas no país para diferentes tipos de minérios. Por último, são apresentados os principais procedimentos a serem adotados quando da elaboração de um projeto de desativação de mina, seguido de comentários gerais.

Palavras-chave

desativação de mina, fechamento de mina, descomissionamento de mina, meio ambiente.

ABSTRACT

This work aims at presenting a short introduction on procedures required for implanting mining projects and the environmental attribution, in this country to federal, state and municipal institutions as well as what is necessary for reclaiming the environmental impacts provoked by the mining activities. In this context, mine deactivations, mine decommissioning and mine closure are discussed. In this work, the main aspects to be taken into consideration – corporate, technological and social – have to be presented when preparing deactivation mine project. It is made a brief assessment on the mine deactivation in this country for different kind of ore. Finally, standard procedures are presented when preparing a mine deactivation project followed by general comments.

Keywords

mine deactivation, mine closure, mine decommissioning, mine reclaiming.

1 | INTRODUÇÃO

Com a promulgação da Constituição Federal, em 5 de outubro de 1988, as atribuições ambientais, no Brasil, ficaram a cargo do Ministério Público Federal, no seu Capítulo VI – Do Meio Ambiente, Artigo 225, § 10 item IV – exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade. Na sequência, várias leis, decretos e resoluções submeteram a mineração a um conjunto de regulamentações, nos três níveis do poder público (federal, estadual e municipal) com relação às atribuições sobre a mineração e ao meio ambiente (GOMES FARIAS, 2002).

Nesse contexto, o Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM passou a exigir das empresas de mineração, o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas-PRAD, quando da apresentação do Relatório do Pedido de Pesquisa (Código do Minerador, 2014), para a obtenção da portaria de lavra. Até então, as empresas de mineração não dispunham de procedimentos ou instruções para a etapa de desativação de mina. No seu planejamento, quando ocorria, as reservas de minério já se encontravam próximo da exaustão, período em que as empresas já estavam descapitalizadas e não dispunham de recursos financeiros para esse fim.

Hoje, a situação modificou-se, pois o PRAD, que consiste na mitigação e controle dos impactos ambientais provocados, inclusive o monitoramento e recuperação das áreas degradadas, é uma das exigências do DNPM, quando da elaboração do plano de aproveitamento econômico do empreendimento. Na etapa da pesquisa mineral, essa

documentação somente será exigida, no caso do titular solicitar Guia de Utilização que corresponde a uma autorização excepcional e temporária, para lavrar pequenos volumes de minério, antes de concluir a pesquisa mineral. Além dessa documentação, o DNPM exige a Licença Prévia-LP e Licença de Instalação-LI emitidas pelo órgão ambiental (IBAMA ou órgão estadual), antes da Portaria de Lavra e a Licença de Operação-LO, após a Portaria de Lavra (GUIA DO MINERADOR, 2014).

O conceito de comissionamento advém da área nuclear, como sendo a autorização para o funcionamento da central nuclear e o descomissionamento – a sua desativação programada (LUZ e DAMASCENO, 1996).

Segundo a Saskatchewan Eco-Network-SEN (2014), desativação de mina consiste no encerramento definitivo da operação de lavra e recuperação do sítio mineiro, retornando ao mesmo, as condições do solo, em termos de produtividade e biodiversidade, mais próximas possíveis daquelas originais. Assim, tem-se a devolução do sítio à comunidade local, minimizando os efeitos de alteração do lençol freático, do estéril da mina e das suas obras de instalação, entre outras.

De acordo com SANCHEZ *et al.* (2013), a desativação ou descomissionamento de mina corresponde ao período que tem início antes do fim da produção mineral, e se encerra com a retirada de todas as instalações desnecessárias, seguido da adoção de medidas que proporcionem a segurança e a estabilidade do sítio mineiro, incluindo a recuperação ambiental e os programas de compensações sociais, de forma a atingir aos objetivos de fechamento da mina.

Um plano para fechamento de mina deve propor as garantias mínimas de padrões de qualidade das águas, do ar, a proteção dos *habitats* naturais e prever quais serão os usos futuros produtivos para a área ocupada pelas atividades da mineração (STEPHEN e VEIGA, 2000).

Segundo FELLOWS FILHO (2000), o tema desativação de mina ou fechamento de mina ou descomissionamento de mina não está ainda bem definido e cada autor de trabalhos nesse assunto tem recorrido à denominação que mais lhe agrada.

No estado da Bahia, a CVRD iniciou, em 1997, com exemplos de desativação de minas de impacto ambiental significativo, destacando-se: a mina de ouro Maria Preta desativada, em 1997, por exaustão de reservas, e a mina de ouro Fazenda Brasileira, com desativação prevista para 2018 (OLIVEIRA JUNIOR, 2001).

A lavra e o beneficiamento de carvão, em Santa Catarina, não foram realizados, até muito recente, com base em planejamento adequado, de forma a preservar a qualidade do meio ambiente, no entorno do seu sítio mineiro. A existência de pirita (FeS_2) nos resíduos (finos e grossos) do beneficiamento do carvão e os estéreis derivados, principalmente, da sua lavra a céu aberto, cujas disposições não evitam a drenagem ácida, com seus metais pesados e outros contaminantes que atingem o solo, os cursos das águas superficiais e subterrâneas (SOARES *et al.* 2008; ZULEICA CASTILHOS *et al.* 2010; UBALDO *et al.* 2007).

A lavra e o beneficiamento do minério de chumbo, no município de Boquira, BA, e no Vale do Ribeira, PR, foram praticados pelo Grupo Multinacional Penarroya, no período de 1960 a 1989. Após esse período, essas unidades foram adquiridas

pelo grupo brasileiro Trevo. No final dos anos noventa, essas minas foram abandonadas deixando um passivo ambiental de resíduos contaminados com metais pesados (Pb, Zn e Cd), caracterizando-se como um mau exemplo para toda mineração brasileira (FERNANDES *et al.* 2012).

Dependendo das características de um jazimento, o minério pode ser lavrado por dois diferentes métodos, cada um destes com as suas peculiaridades, como seguem:

Mina a Céu Aberto – Neste caso, as situações são complexas devido às dimensões das cavas não favorecem, no caso de grandes empreendimentos, a recuperação ou restauração do lençol freático, nem o seu aterramento. Diante disto, buscaram-se soluções alternativas, como exemplo, no fechamento da mina de ferro de Águas Claras, MG, por situar-se no entorno de Belo Horizonte, as bancadas da mina foram utilizadas para construção de um condomínio residencial.

Mina Subterrânea – O rejeito da concentração do minério poderá ser bombeado para as galerias subterrâneas da mina; o lençol freático deverá ser restaurado ou recuperado; suas entradas lacradas, ou então parte das suas galerias poderão ser utilizadas como depósito de outros materiais e, eventualmente, para finalidades turísticas, como a antiga Mina de Ouro da Passagem, em Mariana, MG, após a reabilitação superficial.

Os planos de desativação de minas são específicos para cada mina, nos quais se incluem detalhes, entre estes, destacam-se: como a empresa de mineração irá realizar o encerramento das atividades, como a proteção ambiental será alcançada, até mesmo como o sítio pós-mineração será devolvido ao meio ambiente.

No início da década de 90, com a regulamentação de Lei Federal, os novos projetos de mineração passam a incluir o plano de desativação da mina, no seu planejamento geral. Desse modo, a recuperação planejada do sítio mineiro reproduz um ecossistema estável e autossustentável, análogo àquele existente no período pré-mineração. De modo oportuno e na maioria dos casos, os projetos bem sucedidos, em termos de remediação e reabilitação, resultam num ecossistema funcional por longos períodos de tempo, no pós-mineração.

Com a Constituição de 1988 e o surgimento dos movimentos sociais, inclusive a mobilização da opinião pública, exigências mais restritas para abertura de novas minas tornaram-se necessárias, adotando-se também, por resolução do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), o EIA-RIMA: Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental.

O primeiro Estudo de Impacto Ambiental, no Brasil, data de 1972, advindo da construção da barragem de Sobradinho, BA, por exigência do Banco Mundial que financiou a obra (MOREIRA, 1989).

2 | ASPECTOS DA DESATIVAÇÃO DE MINAS

Vários são os aspectos a serem considerados na desativação de uma mina: corporativos, tecnológicos e sociais (BROIDE, 1965; BROMAN & GRÖRASSON, 1994; CHAVES, 1995; SANCHEZ, 2013).

Aspectos Corporativos (Brode, 1995)

A princípio deverão ser identificados e avaliados os problemas relacionados à desativação da mina, ressaltando-se, como o mais importante, projetar um possível cenário para reabrir a mina. Ao supor que essa premissa dificilmente ocorrerá, o passo seguinte é determinar quando será iniciada a sua desativação. Segundo os princípios da corporação, ou melhor, da empresa, os fatores mais importantes são apresentados, a seguir:

Reservas e Teor Minério – À exceção de um desastre, como rompimento de barragem de rejeito, reservas e teor do minério são os fatores que poderão influenciar, com mais frequência, no fechamento definitivo de uma mina. Normalmente, as suas operações são paralisadas quando ocorre uma queda de preço do produto, a valores abaixo dos custos de produção, ou a exaustão de reservas.

Para exemplificar, num período de vinte anos (1973 a 1993), na Província da Columbia Britânica, Canadá, de quarenta minas fechadas, apenas oito reabriram. Destas, seis já haviam sido fechadas novamente devido à queda no preço do metal e reabriram, principalmente, quando ocorreu uma melhoria de preço. Apenas duas foram reabertas devido à definição de novas reservas.

No Brasil, existe o caso das minas de scheelita, no Rio Grande do Norte, fechadas por razões de mercado. No final do século passado, a China disponibilizou toda sua produção de scheelita ao mercado internacional e a preços muito abaixo daqueles praticados pelo mercado na época. Posteriormente, a China interrompeu sua exportação, o mercado reagiu e os preços subiram; entretanto, as minas de scheelita do Rio Grande do Norte permanecem fechadas, em completo abandono.

Ainda, a mesma China utilizou do mesmo mecanismo de mercado, desta vez com a bauxita refratária. Tal conduta provocou o fechamento de várias minas no Brasil e apenas algumas conseguiram sobreviver.

Redução de Mercado (Sanchez, 2013) – Este poderá ocorrer para certos bens minerais - por razões de risco à saúde humana (como o amianto), pela competição com outros materiais ou por mudanças tecnológicas que, certamente, resultarão na obsolescência dos processos industriais que usavam determinados bens minerais.

Exigências Legais – As minas a serem desativadas, quando situadas em regiões com jurisdições diferentes, terão que atender a todas as exigências legais. No caso do Brasil, isso é feito por meio dos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente, Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA e DNPM.

Segurança e Custos de Manutenção – Contribuem para fechamento de mina, acidentes de operação, como rompimento de barragens de rejeitos, deslizamento de taludes ou desmoronamento de escavações subterrâneas.

Por isso, torna-se necessário garantir que os custos de segurança e manutenção da mina estejam incluídos nos limites aceitáveis para esse tipo de atividade. Caso não seja feita a devida manutenção da mina, os ativos da empresa se depreciarão de forma acelerada, contribuindo, dessa forma, para reduzir o valor recuperável durante o processo de desativação.

Imposto Sobre o Valor das Instalações – Ocorre quando a mina situa-se em algum município, no qual seja cobrado esse tipo de imposto, cuja taxação tem por base os valores decorrentes de melhorias introduzidas na área. Dessa forma, a remoção de instalações e infraestrutura poderão reduzir os impostos. Este caso não ocorre no Brasil; no entanto, é prática utilizada nos países onde os estados e municípios têm total independência na elaboração de suas leis.

Situação Financeira da Empresa

Na desativação de uma mina, há que considerar duas situações distintas:

- A empresa dispõe de recursos financeiros para suprir os custos de desativação;
- A empresa não dispõe de caixa e, com certeza, a desativação da mina será adiada.

No caso da empresa não ter nenhuma outra mina em atividade, talvez venha optar por investir seus recursos financeiros disponíveis, na definição de novas reservas de minério, ao invés de fazer, de imediato, a desativação. Esta poderá resultar apenas numa depreciação do ativo da empresa, tendo como consequência uma queda no valor das ações, caso essa seja de capital aberto.

Política Ambiental da Empresa – A empresa de mineração, com base na sua política ambiental, deverá demonstrar às agências de meio ambiente e à comunidade a sua capacidade e disposição para minimizar o impacto ambiental provocado pelo seu empreendimento mineiro. Por outro lado, a pouca importância atribuída à questão ambiental poderá reduzir a confiança dos investidores na empresa e, como consequência, resultará numa desvalorização das suas ações. Essa indiferença à questão ambiental poderá tornar mais complexa a obtenção de licença ambiental, para outros projetos de interesse da empresa.

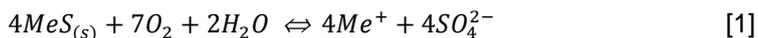
Aspectos Tecnológicos (*Broman & Grörasson, 1994; Saskatchewan Ministry of Environment, 2008*)

Os principais objetivos na desativação da mina:

- Evitar que a área se torne uma fonte de migração de metais ou componentes ácidos;
- Deixar toda a área, que foi impactada durante as operações de lavra e beneficiamento, adequada para usos tradicionais da terra e em condição ecológica consistente com o ambiente físico e biológico do seu entorno;
- A boa prática da desativação e reabilitação preconiza um sítio, no pós-mineração, com atividades mínimas de manutenção;
- É desejável que os critérios de desativação da mina sejam flexíveis, de forma a adaptar-se às transformações circunstanciais, sem comprometer os objetivos acordados sujeitos a problemas de migração de metais e formação de componentes ácidos, contribuindo com sérios impactos ambientais.

A drenagem ácida de minas, pilhas de estéreis e de bacias de rejeito resultam em poluição de águas superficiais e subterrâneas. Como consequência de ordem econômica, tem-se um aumento nos custos de tratamento de água, diminuição na produção de pescado e queda no valor das propriedades circunvizinhas, dentre outros (SANCHEZ, 1994).

Segundo MOREIRA (1969), a oxidação dos sulfetos, derivada da exposição do estéril e do rejeito da mina às condições geoquímicas diferentes daquelas que a formaram, pode ser expressa pela Reação 1:



Nesta, Me corresponde aos metais: ferro, chumbo, zinco ou níquel. A liberação de metais contidos no rejeito ou estéril é influenciada pela precipitação e dissolução dos minerais, abaixo da zona de oxidação. A geração de ácido é um mecanismo complexo e depende da composição química dos rejeitos sólidos e do estéril.

Mesmo considerando que a pirita seja o mineral mais citado nos estudos de drenagem ácida, vários outros sulfetos são frequentemente encontrados em rejeitos de mineração. No Quadro 1 estão relacionados os principais sulfetos minerais e os produtos de sua oxidação (BORMA e SOARES, 2002).

Na desativação de pilhas de rejeito contendo sulfetos, há duas formas de minimizar a alteração química dos mesmos.

A primeira, evitando o acesso do oxigênio e a ação das bactérias sobre a superfície dos sulfetos (BROMAN e GÖRASSON, 1994; FRASER e ROBERTSON, 1994).

A segunda, manipulando a composição do rejeito, para neutralização dos efeitos.

Quadro 1. Sulfetos Minerais mais comuns e seus produtos de oxidação (adaptado de HUTCHINSON; ELLISON, 1992).

Mineral	Espécies aquosas após oxidação completa ⁽¹⁾	Possíveis minerais secundários formados em pH neutro e após completa oxidação ⁽²⁾
Arsenopirita (FeAsS)	Fe ³⁺ , AsO ₄ ³⁻ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺	Hidróxidos de ferro e sulfatos Arsenato de ferro e cálcio, gipsita
Bornita (Cu ₅ FeS ₄)	Cu ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺	Hidróxidos de ferro e sulfatos Hidróxidos de cobre e carbonatos, Gipsita
Calcopirita (CuFeS ₂)	Cu ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺	Hidróxidos de ferro e sulfatos Hidróxidos de cobre e carbonatos, Gipsita
Calcosita (Cu ₂ S)	Cu ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺	Hidróxidos de cobre e carbonatos, Gipsita
Cobalita (CoAsS)	Co ²⁺ , AsO ₄ ³⁻ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺	Hidróxido de cobalto, Carbonatos; arsenatos de ferro e cálcio; gipsita
Esfalerita (ZnS)	Zn ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺	Hidróxido de zinco e carbonato
Galena (PbS)	Pb ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺	Hidróxido e Chumbo, Carbonato e Gipsita
Marcassita (FeS ₂)	Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺	Hidróxidos de ferro e sulfatos, Gipsita
Molibdenita (MoS ₂)	MoO ₄ ²⁻ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺	Hidróxido de ferro e sulfato Molibdatos, óxidos de molibdênio, gipsita
Pirita (FeS ₂)	Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺	Hidróxidos de ferro e sulfatos, Gipsita
Pirrotita (Fe _{1-x} S)	Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺	Hidróxidos de ferro e sulfatos, Gipsita

(1) Espécies intermediárias tais como o íon ferroso (Fe²⁺) e (S₂ O₃²⁻) podem também ocorrer.

(2) Outros minerais podem ser formados, associados ou em alternativa aos listados, em função do ambiente.

Fonte: Borma e Soares, 2002.

Segundo BROMAN e GÖRASSON (1995), as principais técnicas usadas na desativação de rejeitos de mina contendo sulfetos são:

Imersão – Consiste em evitar o acesso do oxigênio ao sulfeto mineral, cobrindo-se a pilha de rejeito com uma lâmina d'água; desse modo não ocorre a oxidação dos sulfetos. Neste caso é necessário construir diques de proteção, transformando as áreas de rejeito em lagos.

Cobertura Seca – A técnica resume-se na cobertura total do rejeito com uma camada impermeável (argila) de forma a evitar a infiltração das águas de chuva e o acesso do oxigênio. Como exemplo, pode ser citada a experiência da Suécia, que tem usado sedimentos de origem glacial (morenas) para cobertura de rejeitos. Outro exemplo que também merece ser citado é a técnica desenvolvida pelo CETEM, em escala protótipo, com o uso de coberturas secas nos rejeitos do beneficiamento e no estéril das minas de carvão de Santa Catarina, contendo o mineral pirita (BORGHETTI *et al.* 2014).

Dessulfuração – Promover a remoção dos sulfetos contidos nos rejeitos, normalmente pirita ou arsenopirita, usando o processo de flotação ou gravítico. Estes concentrados de sulfetos deverão ser dispostos em tanques (bacias) especiais revestidos com argilas ferríferas (latossolo) e, a seguir, a superfície deverá ser coberta com manta plástica tipo Sansuy.

Tamponamento – A técnica fundamenta-se na adição de uma base, em quantidade suficiente para neutralizar os ácidos gerados pelo processo de drenagem ácida. Caso não interfira no processo, esse material tampão já poderá ser adicionado na etapa de moagem da usina industrial. Como exemplo, citamos a olivina [(Mg. Fe)₂SiO₄], usada com bastante sucesso.

Tratamento de Efluentes – Quando estes advêm das bacias de rejeito, poderão ser tratados com a adição de calcário moído ou a própria cal (CaO), objetivando a neutralização dos ácidos gerados e a precipitação dos metais.

Pesquisadores do CETEM desenvolveram estudos de laboratório para a então Rio Paracatu Mineração-RPM (1996), visando avaliar o desempenho de algumas argilas ferríferas (latossolos) da Região de Paracatu-MG como revestimento de barragem, onde serão dispostos os rejeitos do processamento de minério de ouro contendo arsênio nos minerais arsenopirita e escorodita. Foram estudadas três argilas ferríferas da região, constituídas, principalmente, por moscovita, quartzo, caolinita, feldspato, hematita, goethita, mas a fase ferruginosa predominante nas três argilas deve ser a limonita amorfa. A argila denominada de G_1 foi a que apresentou maior capacidade de retenção do arsenato, quando comparada às outras argilas. Essa maior capacidade de retenção do arsênio foi atribuída à maior superfície específica da argila, indicando uma distribuição de partículas com granulometria fina. Por isto, essa argila G_1 foi recomendada à RPM para uso como revestimento das barragens de rejeito e para retenção do arsênio contido nos rejeitos do processamento do minério de ouro (MELAMED *et al.* 2014).

FREITAS *et al.* (2015), ao estudarem os problemas ambientais do arsênio, na Mina Morro do Ouro da Kinross, Paracatu-MG, propuseram um mecanismo de fixação do arsênio, na estrutura da hematita-Al. Segundo esses autores, isto explica a imobilização do As nos hidróxidos de Fe e Al contidos nos latos – solos (argilas férricas), por um período de 10 anos, usados como revestimento de tanques específicos de disposição dos resíduos (rejeitos) do processo hidrometalúrgico dos

concentrados de sulfetos da flotação. Por último, defendem que essa fixação do arsênio pode ser considerada como um processo de remediação natural.

Para utilizar essas técnicas de desativação de rejeitos de mina, recomenda-se uma avaliação econômica da situação. A técnica de imersão, por ser a mais segura e com baixo custo, tornou-se a mais usada.

Avaliando a desativação de mina com enfoque ambiental, o que há de mais avançado é atuar no processo de beneficiamento de forma a minimizar, cada vez mais, a geração de efluentes poluidores, em contraposição ao seu tratamento depois de gerado. Esta técnica é conhecida, conceitualmente, como tratamento no final da tubulação (*end of pipe treatment*) e, apesar de efetiva, é mais onerosa, inclusive pode transferir poluente de um meio para o outro, resultando em efeito nocivo ao meio ambiente (CHIU, 1995).

Aspectos Sociais

A viabilidade de empreendimentos mineiros localizados em áreas remotas requer a implantação de infraestrutura como: vias de acesso, hospitais, escolas, vilas para moradia e serviços, dentre outras. Cabe citar o exemplo do Canadá, que no início do século vinte, usou a mineração em áreas remotas como política de desenvolvimento da indústria de base para abertura de fronteiras e geração de emprego (DIMENT, 1987; WHITE, 1976).

No Brasil, nos anos de 1970, na vigência do regime militar, a mineração foi também considerada uma estratégia de ocupação e interiorização do desenvolvimento de novas fronteiras do país. Nesta conjuntura, parte significativa dos

investimentos foi patrocinada por agências governamentais ou dinheiro público (CHAVES, 1995). A título de exemplo, merecem citações a Mineração Caraíba e o Projeto Ferro Carajás.

O modelo *mina vila-operária* em áreas remotas não é mais atrativo, nem para o empresário nem para o governo, por uma série de motivos:

- Investimentos elevados para implantação de infraestrutura na contraposição dos menores custos de transporte e comunicação, devido aos atuais avanços tecnológicos;
- Os avanços tecnológicos na mecanização e automação dos processos de mineração minimizaram o uso da mão de obra;
- Transtornos sociais decorrentes do isolamento das pessoas, aumentando o alcoolismo, a solidão, a depressão, dentre outros aspectos.

Neste contexto e tomando por base o sistema de trabalho nas plataformas de petróleo, surgiu no Canadá, no início dos anos 1970, um novo modelo de gerenciamento da mineração, em áreas remotas. Com esse novo modelo de planejamento, os operários atuam dias ou semanas seguidas na mina, trabalhando em turnos mais longos (*compressed work schedule*), seguido de um período similar ou mais curto de folga, em suas próprias casas (DIMENT, 1987). Esse novo modelo de planejamento de projetos mineiros tornou desnecessária a implantação de infraestrutura **mina-vila operária**.

Nesse modelo, *mina-vila operária*, o processo de desativação da mina é mais complexo. Exige-se um planejamento mais rigoroso, em particular com o destino da mão de obra, de forma a minimizar os impactos sociais decorrentes. Para este caso, poderia ser citada a expectativa da desativação da Mineração Caraíba, por exaustão de reservas, na qual foi implantado o modelo **mina-vila operária**, no município de Jaguarari, BA. Também cabe lembrar os impactos causados pela desativação da mina de manganês no Amapá (Serra do Navio), na qual foi implantado tal sistema, inclusive ferrovia, porto e outros.

3 | DESATIVAÇÃO DE MINAS NO BRASIL

No Brasil são relativamente poucas as minas de sulfetos minerais, origem da drenagem ácida de mina, como acontece no Chile e Canadá. Por conseguinte, não significa que o país deva isentar das empresas de mineração, o Estudo de Impacto Ambiental-EIA e o respectivo acompanhamento do seu plano de desativação, até a última etapa do processo de fechamento da mina. Entende-se que, a admissão de forma mais racional, desse instrumento de política ambiental, muito contribuirá para minimizar os impactos ambientais, quando da desativação de uma mina.

A produção de carvão no Brasil, em 2012, foi 6,63 milhões de toneladas (DNPM-2013) e está restrita ao sul do País e mais concentrada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Os carvões brasileiros são classificados como de qualidade inferior, devido aos teores elevados de cinza e enxofre (Santa Catarina e Paraná). Segundo CHAVES (2008), a lavra do carvão no estado de Santa Catarina, além de predatória, foi conduzida sem nenhum compromisso com o meio ambiente. Como resultado, deixou um enorme passivo ambiental, com uma área impactada com poucas perspectivas de recuperação, mesmo considerando os esforços despendidos, no entanto localizados.

Carvão – Os principais impactos provocados pela mineração de carvão, em Santa Catarina, estão associados aos seguintes aspectos:

Em primeiro lugar, a drenagem ácida de mina em subsolo e pilhas de estéril associadas à degradação de terras advinda da lavra.

Em segundo lugar, a perda de terras agricultáveis, devido à disposição de rejeito das unidades de beneficiamento. Os altos teores de enxofre e cinza são os responsáveis pelo grande impacto ambiental. O teor de enxofre varia de 2 a 4% e a cinza, da ordem de 65%. De 1960 a 1992, a produção acumulada de rejeito foi de 188 Mt, responsáveis pela drenagem ácida e mobilização de metais. Cerca de 60% dos cursos d'água da região carbonífera estão afetados pela poluição, sendo os principais poluentes, os sedimentos transportados, metais, aumento de acidez das águas superficiais (pH entre 2,5 e 3,2), comprometendo também as águas subterrâneas (SANCHEZ, 1994).

Segundo SCHNEIDER (2008), na década de 90 já existia conhecimento sobre as técnicas convencionais para tratamento da drenagem ácida nas minas de carvão em Santa Catarina; no entanto, a aplicação dessas técnicas era considerada inviável, economicamente. Como forma de gestão e controle da disposição de rejeitos sólidos, algumas minas (Carbonífera Criciúma-Mina Verdinho-UM II, município de Forquilha-SC) passaram a usar a norma técnica NBR 13029, de 30/08/1993, de caracterização de resíduos sólidos, sendo os seus conceitos técnicos adaptados aos depósitos de rejeitos do beneficiamento de carvão já existentes. Dentre outras medidas, foram construídos canais para captação das drenagens oriundas de depósitos de rejeito, que com as águas de escoamento superficial e águas drenadas do subsolo são bombeadas para um sistema de tratamento. Trata-se do uso de reagentes alcalinos (CaO), processo de aeração, floculação e decantação, aproveitando instalações de beneficiamento já existentes. Os sólidos resultantes da decantação são depositados em bacias e o sobrenadante, após passar por um

tratamento passivo, denominado bacia biológica, atinge condições físico-químicas exigidas pelos órgãos reguladores e são descartados para a drenagem.

Na mina Bonito I, da empresa Carbonífera Catarinense, no município de Lauro Muller-SC, como estudo de caso, foi usada a técnica de *back filling* na gestão de resíduos sólidos da mineração de carvão. Os impactos ambientais resultantes do uso dessa técnica estão, diretamente, relacionados ao processo de oxidação da pirita, seguido da geração da drenagem ácida de mina (DAM) em subsolo. Esta, ocorrendo ao mesmo tempo da inundação da mina, após o fechamento ou variações do nível freático, poderá iniciar o processo de contaminação do lençol freático. Os resultados desses estudos podem contribuir para uma alternativa viável às práticas convencionais de disposição subaquática e superficial de rejeitos de carvão, no entanto não são ainda conclusivos (HEEMANN e COSTA, 2008).

O CETEM desenvolveu, em Criciúma-SC, o processo de cobertura seca, usando argila compactada sobre o material piritoso reativo, contido em rejeitos do beneficiamento ou estéril da mina, com o propósito de abater a drenagem ácida de mina. Este processo desenvolvido é usado apenas, parcialmente, pelas minerações de carvão de Santa Catarina (SOARES *et al.* 2014).

Mineração de Ouro – O avanço da mineração de ouro no Brasil, no qual o metal poderá estar associado a sulfetos, principal fonte de drenagem ácida, certamente constitui-se em um impacto ambiental, antes mesmo da desativação da mina.

A esses minérios de ouro, além dos sulfetos mais comuns, ocorre, com frequência, a arsenopirita que além de enxofre contém também o arsênio, elemento nocivo ao meio ambiente.

Urânio – Segundo Amaral, citado por SOUZA (1996), na mina de urânio das Indústrias Nucleares do Brasil-INB, no Planalto de Poços de Caldas-MG, os resíduos sólidos do processamento do minério de urânio e o estéril da mina são depositados em bacias e pilhas de rejeito. Em virtude da existência de sulfetos, principalmente pirita, esses materiais constituem uma fonte permanente de drenagens ácidas carregadas de radionuclídeos ^{228}Ra , ^{226}Ra , Th e ^{238}U , além de outros metais prejudiciais ao meio ambiente, em concentrações acima dos limites permitidos pela legislação vigente.

Por isto, existe na mina de urânio de Poços de Caldas, em processo de desativação, um programa de monitoramento e tratamento de efluentes líquidos, de forma que o meio ambiente não seja impactado.

Bauxita – A Mineração Rio do Norte-MRN implantou a primeira mina de bauxita de grande porte na Amazônia, no final de 1970, sendo considerada como uma das pioneiras na recuperação de áreas degradadas. Como a mina se encontra em área de floresta densa, usa o método de lavra a céu aberto por tiras (Figura 1) (*strip mining*), no qual retira, na etapa de decapeamento da mina, a vegetação arbórea de grande porte; no entanto, essa requer que ações de recuperação ambiental sejam implementadas logo que se encerre a exploração do minério em cada frente de lavra (FECHAMENTO DE MINA, 2014).



Fonte: internet.

Figura 1. Lavra de bauxita por tira (*Strip Mining*).

Brita – A produção de brita em regiões metropolitanas, por ser uma atividade que compete, pelo uso do solo, com as comunidades do entorno, os conflitos são frequentes, com soluções difíceis (SILVA, 2012). Segundo SANTOS (1995) e SINTONI (1994), citados por GOMES FARIAS (2002), a mineração de agregados, principalmente a de brita, a partir de 1990, passou a despende maiores esforços para atender a legislação ambiental, já na fase de planejamento do empreendimento mineiro. Por outro lado, a desativação de pedreiras, nas áreas urbanas, tem ocorrido com frequência, quando surge para a população do entorno, o desconforto urbano resultante dos impactos ambientais provocados por essa atividade, tais como ruídos, vibrações, emissões de poeira, tráfego de caminhões fora de estrada etc. Como consequência, a Prefeitura Municipal não renova mais a licença ambiental e vem o fechamento da pedreira, deixando os impactos visuais provocados pelos elevados volumes de rochas extraídas e as grandes cavas.

Segundo SILVA (2012), em áreas urbanas, há alguns exemplos de utilização dessas cavas para garagens de veículos automotores de grande porte, condomínios, áreas de recreação, depósitos de resíduos inertes como os da construção civil, dentre outros.

Areia para Construção Civil – Segundo SILVA (2012), o grande impacto da exploração de areia, em várzea, é o rebaixamento do nível freático, formando lagos enormes e no caso do município de Seropédica, RJ, não foi encontrada, até o momento, uma destinação para esses lagos (Figura 2), havendo algumas visando ao seu uso como área de recreação.



Fonte: Foto de visita técnica a área.

Figura 2. Exploração de areia em Seropédica, RJ -

4 | PROCEDIMENTOS BÁSICOS PARA DESATIVAÇÃO DE UMA MINA

A desativação de uma mina tem por objetivo a devolução do sítio mineiro ao meio ambiente, em condições de uso que sejam próximas ao período pré-mineração. Ou melhor, uma situação, na qual a área lavrada e reabilitada possa transmitir ao meio ambiente e às comunidades, benefícios sustentáveis.

Pelo código de mineração vigente, para dar início ao processo legal de fechamento de uma mina, deve ser entregue ao DNPM, com o relatório referente ao fechamento da mina, o requerimento de renúncia ao título minerário. Segundo Cabral (FECHAMENTO DE MINA, 2014), esse relatório versa sobre os trabalhos executados, bem como o estado que se encontra a mina e as suas possibilidades futuras. Na sequência, haverá visita ao sítio da mina, por técnico do DNPM que emite parecer sobre o seu fechamento, para publicação no DOU, mediante ato do Diretor Geral do DNPM, com a homologação da renúncia ao título minerário.

A rigor, não há um conjunto de regras ou guias que seja capaz de atender a todos os pré-requisitos na desativação de mina, pois há, em cada caso, situações que lhe são peculiares. Assim, para o sucesso da desativação recomenda-se o estudo das peculiaridades de cada caso, segundo a elaboração e implementação de um plano de desativação, cuja prática inicia-se com as atividades operacionais da mina e se prolonga por toda a sua vida útil, com maior intensidade no período pós-operacional.

A vida útil da mina depende dos investimentos da empresa na área de pesquisa mineral, com o objetivo de ampliar as reservas já conhecidas. O desenvolvimento de novas

tecnologias capazes de aproveitar os minérios marginais, rejeitos ou mesmo os estéreis das minas é também uma forma de prolongar a sua vida útil. Os planos de desativação de minas, em todo o mundo, são exigidos pela maioria das agências reguladoras para se conceder as licenças de instalação e de operação dos empreendimentos mineiros, assegurando ao período pós-fechamento, ausência de ameaças à saúde e do meio ambiente.

No projeto da desativação, insere-se, não só o fim das condições operacionais, remoção de instalações, mas sim descrições de práticas a serem implementadas durante a vida útil da mina e que sejam capazes de assegurar o gerenciamento do pós-mineração das áreas reabilitadas. É também o seu propósito deixar o sítio mineiro em condições seguras e estáveis, minimizando os impactos ambientais, mesmo de longo prazo.

Igualmente, em relação aos aspectos ambientais na desativação, exige-se planejamento, gestão e provisão de recursos financeiros que devem ser garantidos durante a vida útil da mina. Isto caracteriza a desativação como processo e não como ação isolada, negligenciando, assim, as obrigações de conservação ambiental.

A seguir, os autores apresentam os procedimentos básicos para desativação de uma mina, sem a pretensão de exaurir o assunto.

Plano de Desativação de Mina – O resultado satisfatório deste plano requer a contratação de um grupo de profissionais especializados para sua elaboração.

Esse trabalho insere-se no plano geral do empreendimento e torna-se oportuno submetê-lo a uma auditoria técnica e específica da área, para sua análise, hoje uma exigência das regras de mercado, em especial quando se trata de grandes empresas. Também num plano de desativação, os seguintes aspectos devem ser identificados:

- A elaboração do estudo de impactos advindos da desativação, em particular os socioeconômicos e socioambientais;
- A descrição de como os impactos serão mitigados e quais aqueles considerados residuais ou permanentes;
- Uma abordagem geral sobre a desativação do sítio mineiro, que compreende edifícios removidos ou reutilizados, cavas preenchidas ou revegetadas, preservação dos mananciais de água em toda a extensão dos mesmos etc.;
- O monitoramento do sítio mineiro deve ser feito durante a vida útil da mina e se prolongar durante o período pós-mineração.

No âmbito da reabilitação da área degradada criam-se paisagens úteis que abrangem os ecossistemas produtivos para a geração continuada de recursos industriais, agrícolas ou outros. Pode-se atingir o estabelecimento de um ecossistema estável e autossustentável, não necessariamente o mesmo antes do início da mineração. Há situações em que a reabilitação completa parece irreal; todavia, bem sucedida pode resultar no estabelecimento oportuno de um ecossistema funcional, cujo uso do mesmo não se distancia daquele do período pré-mineração. Entretanto, a configuração e as

vocações desses novos ecossistemas são outras e bem distintas daquelas observadas no pré-mineração. Para se atingir essa situação utilizam-se os avanços na reabilitação de áreas degradadas, mediante o uso de técnicas de reprodução das paisagens naturais como o uso de plantas nativas, situação que se perdura por longo período de tempo. Assim, as práticas modernas de reabilitação atenuam, de modo expressivo, as agressões ambientais da mineração, tornando-a cada vez mais sustentável e competitiva.

A implantação do Plano de Desativação – Esta é uma ação a ser posta em execução logo no início das atividades da mina, cuja gestão impõe a formação de um grupo de trabalho específico dentro da própria empresa, com a devida capacitação para gerir o conjunto de operações associadas ao processo de desativação. Essa prática não exclui a participação de todo o grupo gerencial da empresa e a inserção do plano no seu planejamento estratégico. Neste sentido, insere-se o treinamento continuado do pessoal para levar adiante o plano de desativação, entre outras atividades, constando as relações sociais com as comunidades circunvizinhas, somadas aos compromissos inerentes às questões socioeconômicas. À boa prática de gestão de um plano dessa magnitude recomenda suas revisões periódicas, cuja frequência está ligada à natureza e às adversidades inerentes a cada caso. Nestas revisões incluem-se as considerações pertinentes às alterações expressivas do empreendimento, como exemplos a expansão da operação ou a retração da produção por questões de mercado ou outras. Desse modo, evitam-se no plano as indesejadas lacunas advindas de ordens técnicas, operacionais e financeiras.

Instalações e Infraestrutura, usos Alternativos – Neste cenário há um conjunto de fatores que deve ser considerado na implantação de um plano de desativação, alguns dos quais estão relacionados, a seguir:

- Estabelecer os procedimentos alternativos que podem ser utilizados para a desativação das diversas instalações do sítio (acampamentos, edifícios de escritórios, cavas, galerias subterrâneas, barragens de rejeitos e os estoques de estéril etc.);
- Identificação dos métodos mais adequados à desativação das instalações do local e, então, estabelecer uma sequência de atividades para a desativação, com prazos definidos para suas etapas;
- Medidas de mitigação ambiental e recuperação de áreas degradadas, por exemplo, o contorno das pilhas de estéréis e rejeitos, os taludes das cavas, impactos residuais para o sistema de drenagem local, em especial as subterrâneas, no sentido de preservar a utilização de todo o sistema;
- Gestão dos recursos financeiros para a desativação, incluindo-se uma estimativa do custo associado ao plano e monitoramento do local, após a conclusão da desativação e recuperação do sítio mineiro.

Reabilitação das Áreas de Estéréis e de Rejeitos – Após o término da disposição dos rejeitos e estéréis, intensifica-se a reabilitação da área. As atividades dessa fase devem convergir para a revegetação, o controle de erosão, o manejo de águas pluviais e o sistema de drenagem. O sucesso dessa etapa está

vinculado à metodologia utilizada na deposição e na formação das bacias de rejeitos e das pilhas de estéreis. Deste modo, recomenda-se:

- A caracterização dos rejeitos e das pilhas de estéreis e outros, com a finalidade de avaliar o possível aproveitamento das mesmas como subprodutos, inclusive a identificação de material impactante (arsênio, chumbo, zinco, cádmio, sulfetos em geral e outros); por fim, a seleção adequada de local para disposição e que facilite a reabilitação da área no futuro;
- A formação de bacias em áreas que favoreçam a drenagem no pós-mineração e que essa drenagem seja aproveitada na revegetação que se inicia após o nivelamento da área;
- A formação de pilhas de estéreis com coberturas de granulometria fina, procedimento que facilita a revegetação.

A caracterização dos diversos materiais deve começar na fase de exploração e continuar, por toda a vida útil da mina, até a sua etapa de fechamento. Por fim, devem ser caracterizados: os solos, o capeamento, os estéreis, os rejeitos dos processos de concentração; em resumo, os resíduos da mineração. Esse procedimento motiva a elaboração de planos de reabilitação capazes de evitar riscos potenciais e obter sucesso na execução dessa etapa. Sendo assim, a caracterização não se resume à composição mineralógica e química dos materiais, incluem-se, também, as investigações relacionadas aos aspectos físicos e análises biológicas.

Os estudos de caracterização mineralógica permitem a identificação antecipada de minerais contidos nos rejeitos e estéreis que são passíveis de aproveitamento parcial ou total como subprodutos e, ainda, planejar a disposição dos mesmos em locais adequados. Ademais, identificam-se os sulfetos minerais, por acaso existentes, os quais são passíveis de provocar drenagem ácida, que impede a revegetação e provoca a dissolução de minerais que liberam metais como; arsênio, chumbo, zinco, cádmio, sulfetos em geral e outros, capazes de impactar o meio ambiente. Por fim, proceder à seleção adequada do local para disposição desses resíduos, facilitando a reabilitação da área no futuro.

No caso dos estéreis e rejeitos secos, quando não for possível o aproveitamento como subprodutos, após a caracterização, sugere-se a sua utilização no preenchimento de cavas e galerias. Outra opção consiste em dispô-los em camadas nos locais previstos pelo plano de lavra, ou seja, os bota-foras, cuja camada fértil do solo deve ser removida e reservada para uso futuro, em prazo máximo de dois anos (IBAMA 1990).

A caracterização, como parte integrante do planejamento da mina, oferece, entre outras, as seguintes vantagens:

- O planejamento da disposição seletiva desses materiais com a formação de pilhas estáveis, minimizando os riscos de erosão e facilitando a revegetação;
- O planejamento adequado da reabilitação, garantindo a ausência de impacto adverso ou obstar o sucesso da revegetação durante a mineração ou no encerramento; assim tornam-se mais fácil evitar riscos potenciais de

contaminação e impactos ambientais, além disso, obtém-se sucesso na etapa de reabilitação, maximizando os seus benefícios;

- Remover e reservar o solo em locais especiais, para uso posterior durante a recomposição do solo.

A caracterização Física dos materiais resultantes da mineração baseia-se em estudos de laboratório, complementados por testes de campo, para melhor representar as condições resultantes dos efeitos de escala.

No âmbito da revegetação, as investigações físicas são determinantes ao crescimento das plantas, na qual se considera a disponibilidade de água que permite às plantas sobreviverem aos períodos de estiagem. Quanto às pilhas e solos orgânicos (horizonte A), se inclui a drenagem interna adequada, que inibe o crescimento das raízes por falta de aeração. Ademais, existem testes físicos para prever a susceptibilidade de solos e pilhas de rocha à erosão. Estas informações são fundamentais ao projeto das formas dos relevos estáveis no pós-mineração. Por conseguinte, dentre as medidas específicas de propriedades físicas do solo destacam-se:

- Distribuição de tamanho de partículas, até mesmo a plasticidade de rejeitos de grãos finos e dos solos;
- Densidade ou porosidade, bem como, a resistência e a compressibilidade;
- Análise química dos solos para se verificar a necessidade eventual de correção para facilitar a revegetação;

- Capacidade de retenção de água e condutividade hidráulica, tanto em condições saturadas como não saturadas.

O armazenamento de água em um perfil do solo, em geral, consiste na água disponível às plantas, que é função, não apenas, da capacidade de armazenamento de água de um material particular. Portanto, ao elaborar um balanço de água na revegetação de áreas degradadas pela mineração, deve considerar os impactos das propriedades do solo sobre a entrada de água e do crescimento da planta. Em outras palavras, não pode faltar água às plantas, tampouco encharcar o solo com excesso de água, este deve ser devidamente drenado.

Neste sentido, é possível prover o meio ambiente de uma nova área totalmente reabilitada, com outros interesses locais ou regionais diferentes daqueles do pré-mineração; porém, com perspectivas de uso e proveitos mais rentáveis para os seus novos usuários. Por certo, há que considerar outras predisposições, ou mesmo cultura para esse fim, todos relacionados a um novo ecossistema funcional.

A Drenagem favorece o escoamento da água do topo das pilhas e o controle da erosão, com uso de técnicas de construção de canais para coleta dos fluxos de água. Quando a pilha de estéril ou de rejeitos contém materiais que, potencialmente causam drenagem ácida ou transporte de alguns poluentes, (metais pesados e outros) aconselha-se a drenagem da mesma desde o topo, em vez de retê-lo, favorecendo a drenagem no interior da pilha. Do mesmo modo, o plantio de árvores com raízes profundas irá minimizar a infiltração. Portanto, é essencial o controle da drenagem

profunda dessas pilhas, isto é, as infiltrações indesejadas do topo para o interior da pilha. Além disso, minimizar ou anular o efeito da erosão que poderá, em última instância, expor o material nocivo existente no interior da pilha. A descarga indesejada de material do topo da pilha acarreta riscos expressivos. Essa descarga deve convergir para uma linha de fluxo estável, ou seja, direcionando o fluxo de água ao nível do solo e daí ao ponto de descarga previsto no projeto de drenagem. A cobertura vegetal bem planejada é fator complementar na drenagem da água do topo da pilha sobre suas encostas, até o nível do solo, sem causar danos ao formato da pilha.

Nestas situações, os altos níveis de cobertura de superfícies de contato são essenciais. No entanto, o escoamento em forma de descarga também reduz a água disponível para sustentar tal vegetação, particularmente em climas secos, ou seja, a sazonalidade.

Na drenagem de pilhas de estéril ou de rejeitos, é essencial considerar o efeito da formação de poças no topo da pilha. Há efeitos potenciais sobre a revegetação ou ao penetrarem no interior da pilha podem provocar subsidência, ou seja, a formação de buracos ou crateras. Por estas razões, a profundidade e duração desses pequenos lagos no topo da pilha devem ser minimizados ou anulados por meio da construção de diques devidamente drenados e pela revegetação com espécies adequadas de plantas para esse fim.

Monitoramento – Atualmente, o monitoramento é utilizado em todos os ambientes relacionados aos empreendimentos industriais, com a finalidade de avaliar a eficácia das medidas de recuperação, identificar qualquer ação corretiva que possa ser necessária. Assim, os projetos realizam monitoramento do ar, água, efluentes, plantas, entre outros. No caso da desativação de minas, esta fase se ocupa do monitoramento do sítio minerado, com o objetivo de propiciar ao operador do plano com as informações sobre as condições dos ecossistemas que serão potencialmente afetados pelo projeto, incluindo os impactos socioeconômicos positivos ou negativos, dos avanços na reabilitação das áreas degradadas.

É um consenso que o uso da terra após o encerramento da mina pode exigir, em alguns casos, longos períodos de tempo para ser atingida a estabilização química. Tal fato está associado às adversidades de fatores inerentes à natureza do tema; por isso, torna-se oportuno pensar em solução específica. Todavia se busca um conjunto de técnicas ou artifícios que possa abreviar o tradicional reuso da terra. Com este pensamento, a elaboração de indicadores específicos de desempenho mede o avanço no cumprimento dos critérios de desativação e reabilitação. Esses indicadores ambientais irão destacar o quanto a reabilitação segue o estabelecido no projeto, permitindo a intervenção quando houver tendências negativas no operacional do plano. Os itens programados para serem monitorados não consistem de uma lista extensa com abrangência total, vez que, avançam tanto em relação às atividades de mineração como àquelas de reabilitação. Assim, relatórios ambientais de acompanhamento devem ser elaborados como exigências dos órgãos de controle ambiental. Neste sentido, a medição da qualidade do ar,

emissões atmosféricas, qualidade das águas e efluentes líquidos são alguns dos indicadores utilizados. Ao grupo operacional cabe o dever de realizar o acompanhamento e manutenção do sítio, ou seja, o monitoramento, com a finalidade de assegurar o cumprimento do plano na sua totalidade. Além disso, deve-se negociar um fundo financeiro contingenciado para eventos imprevistos no contexto do plano.

5 | COMENTÁRIOS GERAIS

Por ser uma atividade extrativista, a mineração, em muitos casos, é considerada impactante. Tal interpretação se deve, em parte, ao fato da indústria mineral ter o efeito local, no entanto, há que considerar os acidentes de operação como o rompimento recente das barragens de rejeito da mineração de ferro da SAMARCO, no município de Mariana-MG, causando o maior impacto ambiental já registrado na mineração do país, afetando a bacia do Rio Doce, nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, numa extensão de 600 km. Via de regra, não se verifica na mineração a degradação de extensas áreas, pois aquelas que são lavradas restringem-se ao corpo mineralizado, ou seja, a área da mina. Neste cenário, negligencia-se o entendimento de que a mineração, ao fornecer a matéria-prima para todos os demais setores da economia, tornou-se a base da sociedade industrial contemporânea, ou seja, um aporte essencial ao desenvolvimento. No Brasil, a sexta mineração do mundo, este setor da economia faz parte substancial do seu desenvolvimento ao lado de outros, também extrativistas, como agricultura. Os efeitos ambientais e socioeconômicos podem ser mitigados, desde que as atividades das indústrias extrativistas estejam embasadas num planejamento realizado com profissionalismo; desta forma, este setor da indústria brasileira pode desenvolver-se corretamente.

O acesso às tecnologias, tanto convencionais como avançadas, por razões diversas, não está disponível às empresas de pequeno e médio porte no Brasil. Essas organizações possuem baixa capacidade organizacional e de investimentos, o que limita o conhecimento das suas jazidas, o planejamento de lavra, as tecnologias de processamento dos seus recursos minerais e, o mais importante, a formação de

recursos humanos capazes de absorver os avanços tecnológicos disponíveis. Na área ambiental, em especial, não há inserção do plano de desativação de suas minas no planejamento dos seus empreendimentos. Assim, dá-se origem a um ambiente propício à clandestinidade associada à falta ou à deficiência no licenciamento ambiental. Em contraposição, essas empresas desenvolvem uma atividade com múltipla geração de emprego e renda, ao produzir os insumos básicos, em especial para a construção civil. Tal fato se deve à distribuição dessas organizações em todo o território nacional. Por outro lado, falta um mecanismo de orientação e assistência técnica capaz de promover o acesso aos avanços tecnológicos disponíveis, uma das poucas alternativas para reverter esse quadro de escassez do conhecimento. Desse modo, a desativação de minas no Brasil tornou-se uma tarefa específica das grandes empresas. Neste tema são predominantes os seus estudos, as elaborações de guias e outros; entretanto, a aplicação prática pouco se constata.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORGHETTI, A.; FRANGELA, J.; BORMA, L. S.; POSSA, M. V. SOARES, P. S. M; SOUZA, V. P. Desempenho de coberturas secas no abatimento de drenagem ácida de min. In: CETEM 35 Anos: Criatividade e Inovação, p. 248-253, CETEM/MCTI/2014.
- BORMA, L. S.; SOARES, P. S. M. (2002). Drenagem Ácida e Gestão de Resíduos Sólidos de Mineração. In: Extração de Ouro: Princípios, Tecnologia e Meio Ambiente, Roberto de Barros E. Trindade e Olavo Barbosa Filho (Editores), p. 253-276, Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2002
- BROIDIE, M. J.(1995) Corporate considerations in mine decommissioning. CIM Bulletin, p. 50-54, April/1995.
- BROMAN, P. G.; GÖRASSON, T.(1994). Decommissioning of tailing and waste rock areas at Stekenjokk, Sweden. In: International Land Reclamation and Mine Drainage Conference and the Third International Conference on the Abatement of Acid Drainage, Pittsburg, PA, April 1994.
- CASTILHOS, Z. C.; BIDONE, E. D.; CESAR, R. G.; EGLER, S. G.; ALEXANDRE, N. Z., BIANCHINI, M.; NASCIMENTO, T. (2010). Metodologia para o monitoramento da qualidade das águas da bacia carbonífera sul catarinense: ferramenta para gestão em poluição ambiental, Série Gestão e Planejamento Ambiental, nº 13, CETEM/MCT, 2010.
- CHAVES, A, P, Managerial aspects of mining projects in remotes areas. In: Second Swedish-Brazilian Workshop on Mineral Technology. Sala-Sweden, p. 58-62, May1995, Editors Villas Boas and Forsberg, CETEM/CNPq/LULEA.
- CHAVES, A. P. (2008). Os Carvões em Geral e do Carvão Brasileiro. In: Carvão Brasileiro: Tecnologia e meio ambiente, Paulo S. M. Soares, Maria D. C. Santos e Mario Valente Possa (Editores), p. 14-24, Rio de Janeiro CETEM/MCT, 2008.

- CHIU, S. Analysis of industrial pollution prevention programs in selected Asian Countries. Environmental assessment division, Argonne National Laboratory, Argonne Illinois, 60439 USA, 1995.
- CODIGO DO MINERADOR (2014). http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/Guia/Guia_6.htm#61, (05/06/2014).
- DIMENT, W. D.(1987). Fly in Fly out Practice at Canadian Mines. Gold mining 87; First International Conference on Gold Mining, 23-34. Nov, 1987, Vancouver, Canada, Chapter 11, p. 142-155, Ed. by C. O. BRAWNER.
- DNPM 2013 – Sumário Mineral.
- FECHAMENTO DE MINA (2014). In: Mineração & Sustentabilidade, Edição 15 – Ano 3, abril 2014, p. 34-39.
- FELLOWS FILHO, L. (2000). Prefácio. In: Cierre de Minas-experiências en iberoamerica, Roberto C. Villas Bôas e Maria Laura Barreto (Editores), CYTED/IMAAC/UNIDO, 581p, 2000.
- FERNANDES, F. R. C.; BERTOLINO, I. C.; EGLER, S. G. (2012). Projeto Santo Amaro-BA: aglutinando ideias, construindo soluções – Diagnóstico, Rio de Janeiro, 252p, CETEM/MCTI, 2012.
- FRASER, W. W; ROBERTSON, J. D. (1994). Subaqueous disposal of reactive mine waste: An overview and up date of case studies MEND/CANADA. In International Land Reclamation and Mine Drainage Conference and the Third International Conference on the Abatement of Acid Drainage. Pittsburg, PA, p. 250-259, April/1994.
- FREITAS, E. T. F.; MONTORO, L. A.; GASPARON, M.; CIMINELLI, V. S. T. Natural attenuation of arsenic in the environment by immobilization in nanostructured hematite., Chemosphere 138 (2015) 340-347.

- GOMES FARIAS, C. E. (2002). Mineração e Meio Ambiente no Brasil. Relatório preparado para o CGGE-PNUD, Contrato 2002/0021604, outubro/2002. www.cgee.org.br/arquivos/estudo_011_02.pdf (24/06/2014).
- HEEMANN, R.; COSTA, J. C. F. (2008). Emprego de tecnologia de *backfilling* na gestão de resíduos sólidos de mineração de carvão. In: Carvão Brasileiro: tecnologia e meio ambiente, Paulo S. M. Soares, Maria D. C. Santos e Mario Valente Possa (Editores), p. 57-74, Rio de Janeiro CETEM/MCT, 2008.
- IBAMA 1990 – Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração: Técnicas de Revegetação.
- LUZ, A. B.; DAMASCENO, E. C. Desativação de Mina, Série Tecnologia Ambiental 14, 18p, CETEM/CNPq, 1996.
- MELAMED, R.; NEUMANN, R.; CARAGEORGOS, T. (2014). Imobilização de arsênio oriundo de rejeitos do processamento de ouro. In: CETEM 35 ANOS-Criatividade e Inovação, Carmen Lucia da Silveira Branquinho (Editora-organizadora), p. 88-95, CETEM/2014.
- MOREIRA, I. V. D. Avaliação de impacto ambiental – instrumento de gestão. Caderno FUNCAP –S.. Paulo- Ano 9, nº16, p. 54-63, junho/1969.
- OLIVEIRA JUNIOR, J. B. Desativação de empreendimentos mineiros: estratégias para diminuir o passivo ambiental, Tese de doutorado em engenharia, USP, 2001.
- SANCHEZ, L. E. *et al.*, Cumulative impacts and environmental liabilities in the Santa Catarina Coal Field in Southern Brazil. In: Third International Conference on Environmental Issues and Waste Management Energy and Mineral Production, p. 75-85, Perth, Western Australia, Sep/1994.
- SANCHEZ, L. E.; SILVA SANCHEZ, S. S.; NERI, A. C.(2013) Guia para planejamento do fechamento de mina, Instituto Brasileiro de Mineração, 1ª Edição, 224p, Brasília 2013.

- Saskatchewan Ministry of Environment (2008). Guidelines for Northern Mine Decommissioning and Reclamation, November 30, 2008, EPB 381, www.environment.gov.sk.ca (12/06/2014).
- SCHNEIDER, C. H. (2008). Evolução da gestão ambiental na indústria carbonífera em Santa Catarina: um caso de sucesso. In: Carvão Brasileiro: tecnologia e meio ambiente (Paulo S. M. Soares, Maria D. C. Santos e Mario Valente Possa (Editores), p. 39-55, Rio de Janeiro CETEM/MCT, 2008.
- SEN (2014) <http://econet.ca/issues/mining/decom.html> (03/06/2014).
- SILVA, J. P. M.(2012). Agregados e Sustentabilidade. In: Manual de Agregados para a Construção Civil, Adão B. Luz e Salvador Almeida (Editores), Cap. 13, p.235-255, Rio de Janeiro, CETEM/MCTI/2012.
- SOARES, P. S. M.; SANTOS, M. D. C.; POSSA, M. V. (2008). Carvão Brasileiro: Tecnologia e Meio Ambiente, Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2008.
- SOUSA, V. P. (1996). Drenagem ácida de estéril piritoso da mina de urânio de Poços de Caldas, interpretação e implicações ambientais. Dissertação de mestrado apresentada no Departamento de Engenharia de Minas, UPUS/1996.
- STEPHEN, R. e VEIGA, M. M. (2000) Preenchendo o Vazio: A Mudança da Fisionomia da Reabilitação de Áreas Mineradas nas Américas. In: Cierre de Minas: experiências em iberoamerica, Roberto C., Villas Bôas e Maria Laura Barreto (Editores), CYTED/IMAAC/INIIDO, p. 11-45, 2000.
- UBALDO, M. O.; BORMA, L. S.; BARBOSA, M. C. (2007). Gestão de resíduos sólidos geradores de drenagem ácida de minas com o uso de coberturas secas, Série Gestão e Planejamento Ambiental n°.4, Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2007.
- WHITE, J. C. Commuting to work at Mattabi Mine. CIMM Bulletin, p. 81-83, December, 1976.

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2014, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 280 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

Últimos números da Série Tecnologia Ambiental

STA-78 - Parâmetros Físico-Químicos e Geoquímicos na Mitigação de Drenagem Ácida de Mina Utilizando Método de Cobertura Seca: Estudos em escala piloto. Vicente Paulo de Souza, Mario Valente Possa, Anderson Borghetti Soares e Paulo Sérgio Moreira Soares, 2014.

STA-77 - Uso de Espumas na Remediação de Solos Contaminados por Hidrocarbonetos e Metais Pesados: Uma revisão. Regina Coeli Casseres Carrisso, 2014.

STA-76 - Construção e Operação da Estação Experimental Juliano Peres Barbosa: Estudo em escala piloto para avaliação do desempenho de coberturas secas na mitigação da drenagem ácida de mina – DAM. Mario Valente Possa, Anderson Borghetti Soares, Vicente Paulo de Souza e Paulo Sérgio Moreira Soares, 2014.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ

Geral: (21) 3865-7222

Biblioteca: (21) 3865-7218 ou 3865-7233

Telefax: (21) 2260-2837

E-mail: biblioteca@cetem.gov.br

Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOVAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



Missão Institucional

A missão do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é desenvolver tecnologia para o uso sustentável dos recursos minerais brasileiros.

O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m² de área construída, que inclui 22 laboratórios, 3 usinas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 37 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 720 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.