

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais
Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais

MONOGRAFIA

**Aspectos Ambientais Aplicáveis a uma Pilha de Disposição de Estéril de Minério
de Ferro**

Aluno: Efraim Max dos Reis

Orientador: Prof. José Ildelfonso Gusmão Dutra

Setembro/2014

RESUMO

Sabe-se que a disposição de estéril em pilhas é uma questão complexa e deve ser analisada e avaliada caso a caso. Por se tratar de atividade de risco, fica evidente que esta disposição deve ser planejada e seu monitoramento geotécnico realizado com regularidade. O presente trabalho consiste em apresentar os aspectos ambientais aplicáveis a uma pilha de disposição de estéril de minério de ferro, de modo a conferir às pilhas estabilidade física e biológica, e seu objetivo específico é descrever técnicas e metodologias de reabilitação aplicáveis às áreas desses depósitos. Com esse estudo pode-se concluir que para a elaboração de um projeto de pilha de disposição de estéril devemos considerar os aspectos econômicos, técnicos, ambientais e as premissas estabelecidas na NRM nº 19 e ABNT nº 13.029/2006. Na implantação, para maior segurança recomenda-se construir o dreno de fundo e para evitar o assoreamento dos cursos hídricos à jusante da pilha, deve-se construir o dique de contenção de sedimentos. Já na operação, sugere-se que a pilha seja executada de forma ascendente, para que haja possibilidade de acompanhar seu comportamento geotécnico e para garantir maior controle ao longo das próximas disposições. Concluiu-se também que a operação deve ser realizada concomitantemente com as atividades de reabilitação seguindo o modelo proposto por Sanchez *et al.* (2013), e que essa reabilitação quando executada de forma progressiva traz ao empreendimento mais informações e conhecimento técnico para a execução do Plano Ambiental de Fechamento de Mina (PAFEM).

Palavras-chave: aspectos ambientais, pilha de disposição de estéril de minério de ferro, reabilitação.

ABSTRACT

It is known that the disposal of waste rock in piles is a complex issue and it must be assessed and evaluated on a case-by-case basis. Since it involves risk, it is evident that the disposal must be planned and there must be regular geotechnical monitoring. The present paper addresses the environmental aspects related to an iron ore waste rock pile, as to make them physically and biologically stable. The specific objective of the work is to describe the rehabilitation techniques and methodologies applicable to these piles. The results of this work indicate that, in order to design a waste rock pile, the economic, technical and environmental issues must be considered, as well as the guidance from NRM N. 19 and ABNT N. 13.209/2006 standard. When building the pile, for safety reasons, it is recommendable that an underground drainage be built and, in order to avoid silting of the water bodies downstream from the pile, a settling pond must be built. During operations, it is suggested that the pile be expanded from bottom up, so that it is possible to evaluate its geotechnical characteristics and as a means to secure greater control for the subsequent layers of the pile. Another conclusion of the work is that, during the operational phase, the raising of the pile must be concurrent with the rehabilitation works, which is in accordance with the guidance from Sanchez *et al.* (2013) and that the rehabilitation done progressively results in more information and technical knowledge that will be used in the Environmental Plan for Mine Closure (PAFEM).

Keywords: environmental aspects, iron ore waste rock pile, rehabilitation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVO E RELEVÂNCIA	9
2.1. Objetivo Geral	9
2.2. Objetivo Específico	9
2.3. Relevância	9
3. DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA	10
3.1. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL	10
3.2. DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL	11
3.2.1. Estudo de Alternativa Técnica Locacional	11
3.2.2. Implantação de Pilha de Disposição de Estéril.....	12
3.2.2.1. Dreno de Fundo	12
3.2.2.2. Dique de Contenção de Sedimentos	15
3.2.3. Operação de Pilha de Disposição de Estéril	17
3.3. REABILITAÇÃO DE PILHA DE DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL	18
3.3.1. PRÁTICAS DE ORDEM FÍSICA	19
3.3.1.1. Práticas Topográficas e Geotécnicas (ii)	19
3.3.1.2. Práticas Hídricas (iii)	20
3.3.2. PRÁTICAS DE ORDEM BIOLÓGICA	22
3.3.2.1. Práticas Edáficas (i)	22
3.3.2.1.1. Solo Orgânico – <i>Top Soil</i>	23
3.3.2.2. Práticas Ecológicas (iv)	25
3.3.2.2.1. Preparo do Solo e Semeio.....	25
3.3.2.2.2. Hidrossemeadura	26
3.3.2.2.3. Aplicação da Tela Vegetal.....	26
3.3.2.2.4. Efeitos Negativos da Implantação de Vegetação no Talude	27
3.3.2.2.5. Efeitos Positivos da Implantação de Vegetação no Talude.....	27
3.3.3. Execução de Práticas e Resultados	28
4. CONCLUSÃO	29
5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	31
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Tipos de disposição de estéril (ARAGÃO, 2008).	12
Figura 02: Dreno de fundo de PDE do tipo espinha de peixe.	13
Figura 03: Seção esquemática do dreno de fundo de PDE (CENTAURUS, 2012).	14
Figura 04: Detalhe da construção do dreno de fundo com enrocamento (VALE, 2002).	15
Figura 05: Detalhe do enrocamento protegendo a base da PDE (VALE, 2002).	15
Figura 06: Seção geotécnica do dique com remoção da argila mole a montante (CENTAURUS, 2012).	16
Figura 07: Dique de contenção de sedimentos de uma PDE (CENTAURUS, 2012)...	16
Figura 08: PDE de Minério de Ferro (CASTRO <i>et al.</i> , 2011).	17
Figura 09: Detalhe das dimensões dos taludes com ângulos de 26,5° e bermas com largura mínima de 6 metros (CENTAURUS, 2012).	18
Figura 10: Detalhe dos taludes apresentando sulcos erosivos (VALE, 2002).	19
Figura 11: Detalhe do acerto e regularização dos taludes e bermas (VALE, 2002).	19
Figura 12: Detalhe das canaletas de drenagem nas bermas dos taludes de PDE (CENTAURUS, 2012).	21
Figura 13: Detalhe da descida d'água em escada de PDE (CENTAURUS, 2012).	21
Figura 14: Detalhe do dissipador de energia no local de restituição da água pluvial (DER/MG, 2008).	22
Figura 15: Solo orgânico disposto sobre o talude e berma (VALE, 2002).	24
Figura 16: Talude totalmente coberto por vegetação (VALE, 2002).	24
Figura 17: Detalhe do micro coveamento (DEFLOS, 2014).	25
Figura 18: Micro coveamento realizado nos taludes e bermas (VALE, 2002).	25
Figura 19: Detalhe da aplicação da tela vegetal (SEOANE, 2011).	26
Figura 20: Taludes e bermas da PDE regularizados, sistema de drenagem implantado, pronto para receber as técnicas e práticas ecológicas – Antes (VALE, 2002).	29
Figura 21: Taludes e bermas da PDE totalmente coberto por vegetação, dando início a sucessão ecológica – Depois (VALE, 2002).	29

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

APP – Área de Preservação Permanente

ART – Anotação de Responsabilidade Técnica

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

INA – Indicador de Nível de Água

LI – Licença de Instalação

NRM – Norma Reguladora de Mineração

PAFEM – Plano Ambiental de Fechamento de Mina

PDE – Pilha de Disposição de Estéril

PIB – Produto Interno Bruto

SIBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

TFSA – Terra Fina Seca ao Ar

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que a mineração trouxe e continua proporcionando vários benefícios para a sociedade humana, e no Brasil, a indústria minerária cada vez mais tem sido muito importante para o desenvolvimento do país.

Estudo realizado pela Secretaria Nacional de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, do Ministério de Minas e Energia, mostram que o efeito multiplicador de emprego no setor mineral é de 1:13, ou seja, para cada posto de trabalho na mineração são criadas outras 13 vagas (empregos diretos) ao longo da cadeia produtiva (IBRAM, 2012). E dados do SINOPSE (2014) mostram que o setor gera cerca de 0,73% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil.

A mineração não representa grande parcela em extensão, se comparada aos demais agentes degradadores. Sua ocorrência é pontual, limitando-se a pequenas áreas, se comparada à agricultura, por exemplo. Entretanto, os minerais encontram-se em camadas heterogêneas, em veios ou associados a outros minerais sem ou de baixo valor econômico. Isso implica na necessidade de remoção do solo, gerando um grande volume não consolidado, susceptível à erosão. Assim, o regime hidrológico quando não controlado, pode causar grandes problemas de ordem física, química e biológica (KOBAYAMA, 2001).

Segundo Oldeman (1994), citado por Tavares (2008), os fatores de degradação do solo, em ordem decrescente de participação relativa nas áreas degradadas no mundo, são:

1. Superpastejo da vegetação (34,5%);
2. Desmatamento ou remoção da vegetação natural para fins de agricultura, florestas comerciais, construção de estradas e urbanização (29,4%);
3. Atividades agrícolas, incluindo ampla variedade de práticas agrícolas, como uso insuficiente ou excessivo de fertilizantes, uso de água de irrigação de baixa qualidade, uso inapropriado de máquinas agrícolas e ausência de práticas conservacionistas do solo (28,1%);
4. Exploração intensa da vegetação para fins domésticos, como combustível, cercas etc., expondo o solo à ação dos agentes de erosão (6,8%); e

5. Atividades industriais ou bioindustriais que causam poluição do solo (1,2%).

A recuperação ambiental é um conjunto de procedimentos dos quais são feitas a recomposição de uma área degradada para o restabelecimento da função original do ecossistema. Já reabilitação, comumente utilizados na maioria dos casos em mineração, são procedimentos dos quais se propicia o retorno da função produtiva da área e/ou dos processos naturais, visando alguma adequação ao seu uso futuro (ABNT, 1999).

Geralmente a reabilitação está associada a áreas degradadas como: solos contaminados, solos sem os horizontes superficiais, as áreas de disposição de estéril e de rejeito de mineração, onde não existem camadas orgânicas. Nestas áreas o principal problema é a falta de pesquisa com espécies capazes de suportar tais extremos e que funcionam como catalisadoras da sucessão. Para estas situações normalmente se usam poucas espécies, principalmente leguminosas com altas taxas de deposição de matéria orgânica e fixadoras de nitrogênio, e gramíneas (FRANCO & FARIA, 1997).

O estéril constitui comumente o material de decapeamento da jazida, escavado e removido de forma a permitir o acesso ao corpo de minério. Os materiais constituintes são representados por solos e rochas de naturezas diversas, com diferentes granulometrias, que são transportados por caminhões e estocados sob a forma de pilhas em sucessivos alteamentos. Uma vez que o lançamento e a disposição final dos materiais escavados ocorrem segundo a sequência errática, da liberação a novas frentes de lavra. Uma pilha de estéril constitui, por princípio, uma estrutura extremamente heterogênea e naturalmente complexa (GOMES, 2004).

As etapas de planejar, construir e operar pilhas de estéril são consequências naturais de uma empresa de mineração. As pilhas de estéril constituem uma das maiores estruturas geotécnicas feitas pelos homens, sendo de fundamental importância seu planejamento. Atualmente existem várias metodologias aplicáveis à construção, operação e reabilitação de pilha de estéril que podem ser utilizadas de acordo com as características de cada área, solo e/ou estéril, e com os recursos disponíveis.

O presente estudo visa apresentar os aspectos ambientais aplicáveis a uma pilha de disposição de estéril (PDE) de minério de ferro, de modo a conferir as pilhas estabilidade física e biológica.

2. OBJETIVO E RELEVÂNCIA

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho será apresentar os aspectos ambientais aplicáveis a uma PDE de minério de ferro, de modo a conferir às pilhas estabilidade física e biológica.

2.2. Objetivo Específico

Já o objetivo específico será apresentar as técnicas de reabilitação em áreas de disposição de estéril, sendo:

- Práticas edáficas;
- Práticas topográficas e geotécnicas;
- Práticas hídricas; e
- Práticas ecológicas.

2.3. Relevância

A execução das quatro práticas descritas justifica-se, na medida em que as adoções das metodologias conservacionistas nelas recomendadas resultam na atenuação dos impactos ambientais negativos oriundos de um empreendimento minerário, de minério de ferro.

3. DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA

Freire e Martins (2009) classificam estéril como: substância natural (solo, subsolo, rocha) em que o minério está ausente ou, presente com teores muito baixos para ser aproveitado economicamente.

Segundo McCarter (1985 e 1990) citado por Aragão (2008), no passado, pouca orientação era dada em projetos e construção de PDE. Em alguns casos, o estéril removido nos trabalhos de lavra era simplesmente basculhado em ponta de aterro, nas encostas ou terrenos no entorno das minas, formando pilhas de maneira desordenada, em condições precárias de estabilidade. Esses locais ficaram conhecidos por “*bota-foras*”. As aplicações dessa prática resultaram em dispendiosos remanejamentos, questionável estabilidade, desastres ecológicos, perda de equipamentos, instalações, e até fatalidades.

A seleção do local para a construção de um depósito de estéril envolve algumas considerações de ordem econômica, técnica e ambiental. Esses fatores devem ser primeiramente analisados em separado, e em seguida avaliados em conjunto, a fim de se determinar um local, no qual os objetivos econômicos e técnicos sejam maximizados e os impactos ambientais minimizados (BOHNET, 1985).

3.1. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

Para a construção e operação de uma PDE, deve-se cumprir com a Norma Reguladora de Mineração – NRM nº 19 (Disposição de Estéril, Rejeitos e Produtos) do DNPM, e no estado de Minas Gerais, deve-se consultar a Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 09 de Setembro de 2004 (MINAS GERAIS, 2004), que estabelece a sua classificação segundo o porte e potencial poluidor, classificando-a como uma atividade modificadora do meio ambiente passível de Licenciamento Ambiental, sendo:

- Atividade Código: 05-04-05 - Pilhas de Estéril/Rejeito;
- Potencial Poluidor/Degradador:
 - Ar: Pequeno Água: Grande Solo: Grande
 - Geral: Grande

- Porte:
 - Área útil $\leq 5,0$ hectares: Pequeno;
 - $5,0$ hectares $<$ Área útil $< 40,0$ hectares: Médio; e
 - Área útil $> 40,0$ hectares: Grande.

Para a elaboração de um Projeto de Pilha de Disposição de Estéril, devem-se seguir as premissas descritas na ABNT nº 13.029, de 04 de Setembro de 2006. Norma esta que estabelece os requisitos mínimos para a elaboração e apresentação de projeto de pilha para disposição de estéril, gerado por lavra de mina a céu aberto ou de mina subterrânea, visando atender às condições de segurança, operacionalidade, economicidade e desativação, minimizando os impactos ao meio ambiente (ABNT, 2006).

3.2. DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL

3.2.1. Estudo de Alternativa Técnica Locacional

O estudo de alternativa técnica locacional tem como objetivo definir o melhor local para as diversas estruturas de um empreendimento minerário. Este estudo só é feito depois de definidas as tecnologias que serão utilizadas. Além disso, em um empreendimento minerário, as cavas são a única estrutura que tem rigidez locacional, ou seja, não há opção de outra localização, pois a jazida mineral foi definida pelos processos geológicos naturais. Desta forma, a localização de outras estruturas como planta de beneficiamento, a disposição de estéril e a barragem de rejeito, devem ser avaliadas e posicionadas ao redor da cava, de modo a otimizar os custos, a segurança dos trabalhadores, e causando o mínimo de impacto ambiental possível.

O estéril pode ser disposto em: um vale, transversalmente a um vale, em encostas, em crista ou em pilha (Figura-01). A disposição em vales tem a vantagem de ocupar uma área menor, uma vez que o volume de estéril fica “encaixado” em espaço naturalmente confinado do relevo, mas, por outro lado, essa alternativa pode interferir em curso d’água permanente ou intermitente. A disposição do estéril transversalmente aos vales se aplica prioritariamente a volumes menores, que podem ser acomodados em parte de um

vale. As encostas e cristas também podem ser usadas para dispor o estéril, sendo a crista menos comum. Pilha também é uma alternativa como destino do estéril e não afeta diretamente curso d' água, dependendo do local escolhido, mas requer áreas maiores no caso de adoção de taludes com ângulos menores, para garantia da sua estabilidade e segurança da PDE. Então, em função do volume de estéril a ser gerado no projeto, é escolhida a melhor alternativa de disposição de estéril, normalmente contígua às cavas.

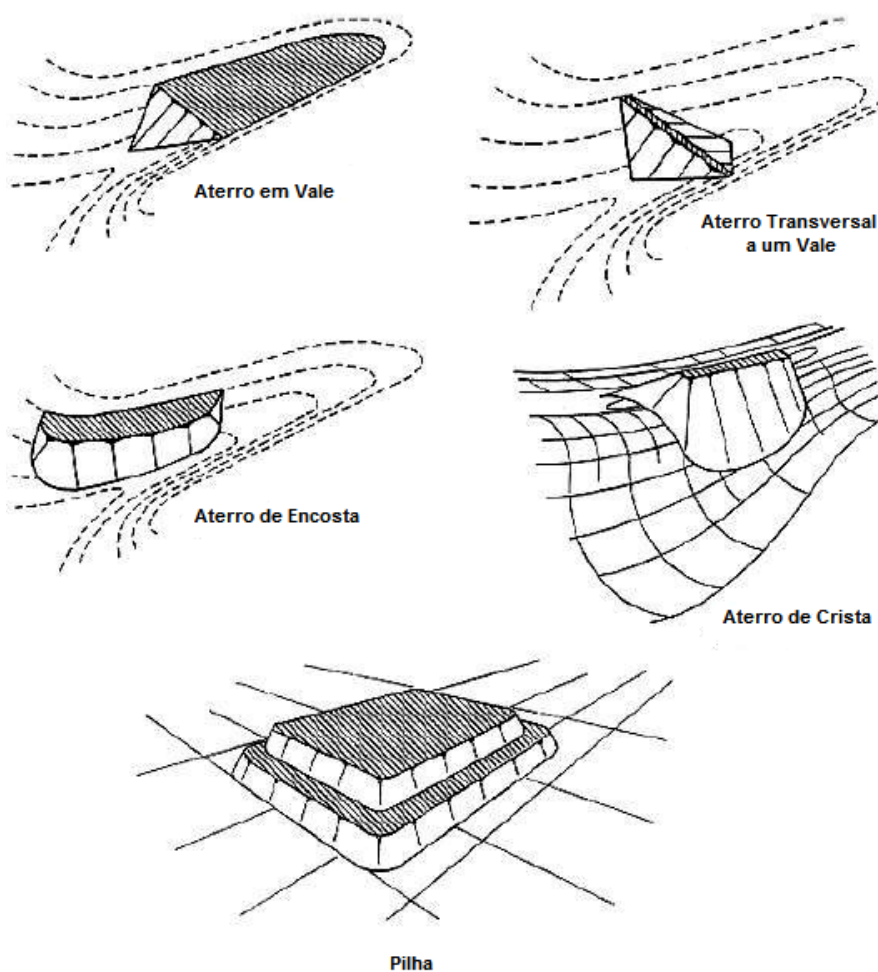


Figura 01: Tipos de disposição de estéril (ARAGÃO, 2008).

3.2.2. Implantação de Pilha de Disposição de Estéril

3.2.2.1. Dreno de Fundo

Sabe-se que dreno é um dispositivo que se destina a recolher e conduzir os fluidos existentes nos terrenos, servindo como um elemento drenante, construído por uma

combinação de camadas de materiais permeáveis e furos capazes de coletar a água e conduzi-la para o local de esgotamento. E que colmatção, é um processo pelo qual ocorre o preenchimento dos vazios de uma rocha, maciço, ou de discontinuidades, pela deposição de materiais transportados, ou pela precipitação de substâncias em solução.

É comum as PDE possuírem um sistema de drenagem na base, do tipo espinha de peixe (Figura-02) com material granular disposto de forma a construir uma transição granulométrica, podendo ser utilizada membrana geotêxtil na camada do dreno que fica em contato com o estéril, a fim de prevenir a colmatção do dreno.

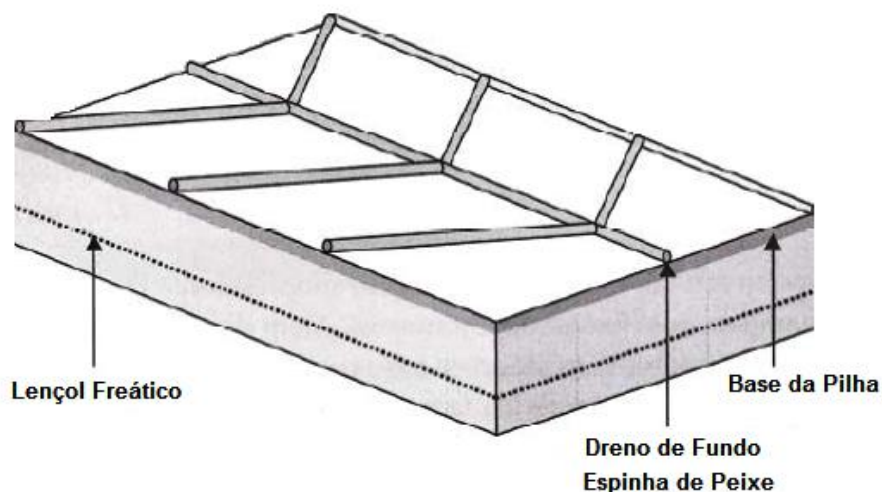


Figura 02: Dreno de fundo de PDE do tipo espinha de peixe.

Quando a água percola em um solo com grãos relativamente finos para um material grosso existe o perigo de que as partículas finas do solo sejam transportadas pela água para dentro do material grosso. Ao longo do tempo, esse processo pode obstruir os espaços vazios neste material. Tal situação pode ser evitada por meio da utilização de um filtro ou filtro de proteção entre os dois tipos de solo. O material a ser depositado nestas pilhas tem características de solo, e o material inicialmente selecionado para a construção dos drenos de fundo é o enrocamento. Portanto, se faz necessário à implantação de um filtro para evitar a colmatção dos vazios do enrocamento pelo material fino carreado do maciço. Para a seleção dos materiais adequados para o filtro, duas condições devem ser atendidas:

- Condição 01: As dimensões dos vazios no material do filtro devem ser suficientemente pequenas para reter as partículas maiores do material protegido;
- e
- Condição 02: O material do filtro deve ter uma alta condutividade hidráulica para impedir a geração de grandes forças de percolação e pressão hidrostáticas aplicadas aos filtros.

A Figura-03 mostra a seção esquemática de dreno de fundo que pode ser implantado nas PDE. As dimensões dos drenos de fundo variam de acordo com cada pilha, uma vez que se levam em consideração as áreas de recarga de terreno natural, área superficial das pilhas, entre outros aspectos.

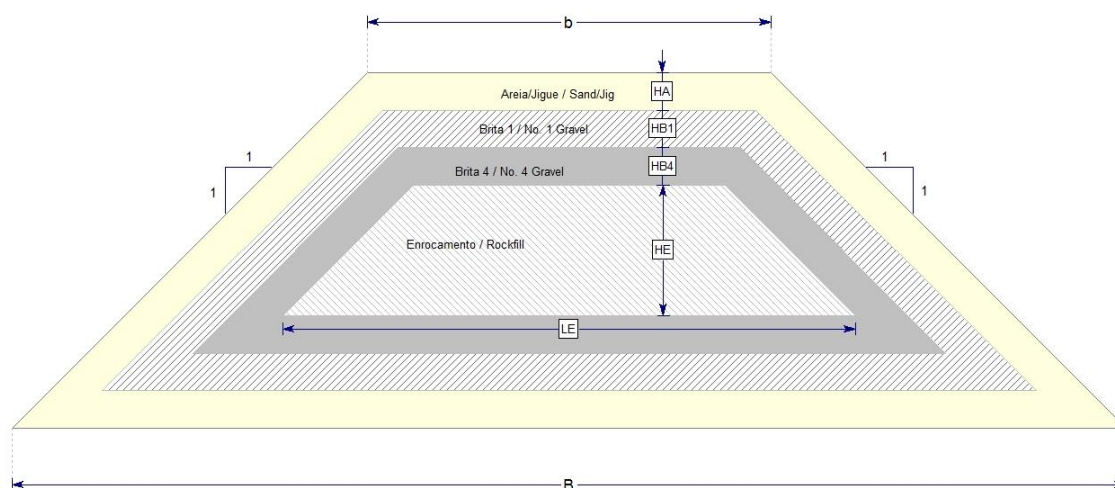


Figura 03: Seção esquemática do dreno de fundo de PDE (CENTAURUS, 2012).

Neste modelo a sequência dos materiais a serem empregados no dreno e na transição, do interior para o exterior, é: Enrocamento → Brita Grossa nº 4 → Brita Fina nº 1 → Areia → Solo/Estéril.

No estado de Minas Gerais, o dreno de fundo para PDE é passível de outorga. Portanto, o empreendimento deverá formalizar um processo junto ao Instituto Estadual de Gestão das Águas (IGAM) e obter a licença ambiental para realizar tal obra.

Dreno de fundo de enrocamento (Figuras-04 e 05) é uma alternativa viável e econômica frente a canais de desvios de superfície, que são construções caras e de difícil

manutenção. Os drenos de fundo de enrocamento são geralmente aceitáveis, no fluxo de até 20 m³/s (EATON *et al.*, 2005).



Figura 04: Detalhe da construção do dreno de fundo com enrocamento (VALE, 2002).



Figura 05: Detalhe do enrocamento protegendo a base da PDE (VALE, 2002).

De acordo com Eaton *et al.* (2005), depósitos de solos orgânicos ou turfosos na fundação devem ser removidos (ou previamente estabilizados), de forma a garantir a estabilidade da pilha e o terreno de fundação. A formação de um aterro para adensar o solo de fundação é uma outra alternativa à remoção e à drenagem de solos frágeis e saturados.

Drenos de areia e/ou pedregulhos podem ser uma alternativa viável nos casos de áreas com surgências ou solos úmidos, direcionando as águas para uma vala coletora. Os drenos de fundo podem consistir em colchões ou valas preenchidas de pedregulhos e, no caso de grandes vazões, tubos perfurados podem ser instalados no núcleo destes dispositivos drenantes. Em qualquer caso, os benefícios e o desempenho dos drenos devem ser avaliados, sempre que possível, e acompanhados no tempo por meio de monitoramento sistemático.

3.2.2.2. Dique de Contenção de Sedimentos

O dique de contenção de sedimentos é construído em solo compacto e possui um dreno no interior do maciço, em formato de “L” (Figura-06). Desse modo, é necessário monitorar o desempenho deste dreno ao longo da vida útil do dique. Para tanto, recomenda-se a instalação de um indicador de nível d’ água (INA) à jusante do dreno e acima da parte horizontal do mesmo. Desta forma é possível verificar se o dreno está

funcionando corretamente, ou seja, se não foi colmatado pelo material do maciço, avaliando a possível formação de *piping* (erosão regressiva) no maciço, o que pode causar seu colapso.

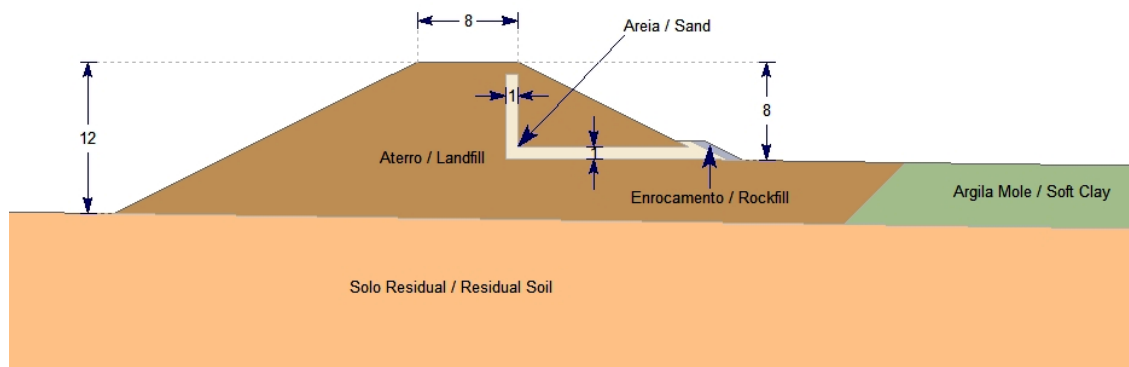


Figura 06: Seção geotécnica do dique com remoção da argila mole a montante (CENTAURUS, 2012).

Para a contenção de sedimentos que eventualmente são carregados pelas chuvas e para evitar o assoreamento dos recursos hídricos, é implantado a jusante da pilha e a montante do dique um *sump*. O sedimento acumulado deve-se periodicamente conduzido à sua pilha de origem.

Em caso de PDE localizada a montante da barragem de rejeito do empreendimento, não há a necessidade de instalação de dique de contenção de sedimentos, o próprio reservatório da barragem fará a contenção dos sedimentos carregados, a fim de evitar o assoreamento dos recursos hídricos.

Na Figura-07 é apresentado um desenho de uma PDE com um dique de contenção de sedimentos.

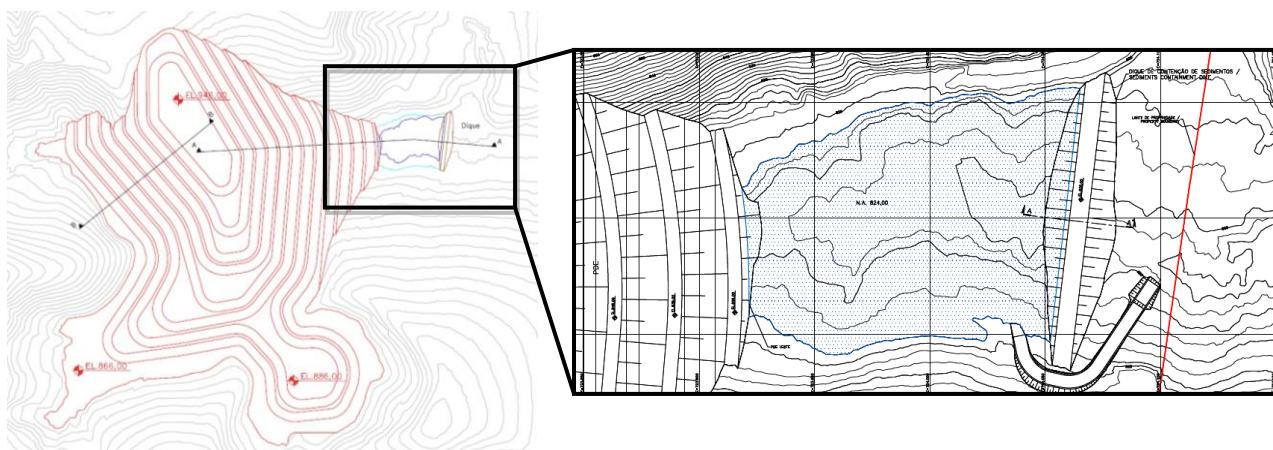


Figura 07: Dique de contenção de sedimentos de uma PDE (CENTAURUS, 2012).

No estado de Minas Gerais, o dique de contenção de sedimentos também é passível de outorga. Portanto, o empreendimento deverá formalizar um processo junto ao Instituto Estadual de Gestão das Águas (IGAM) e obter a licença ambiental para realizar tal obra.

3.2.3. Operação de Pilha de Disposição de Estéril

O estéril proveniente da frente de lavra é disposto na forma de pilha construída em local selecionado no estudo de alternativa técnica locacional (Figura-08). A operação de conformação das PDE é realizada utilizando-se de caminhões, que fazem o trajeto para as áreas de disposição de estéril através de acessos internos do empreendimento. Normalmente são utilizados acessos já existentes e, em alguns pontos, são abertas variantes para desvios de outras estruturas, sempre levando em consideração a minimização dos aspectos ambientais e os custos.



Figura 08: PDE de Minério de Ferro (CASTRO *et al.*, 2011).

Para garantir uma maior estabilidade geotécnica dos taludes da pilha recomenda-se que sua construção seja feita de modo ascendente, sendo o estéril compactado diretamente pelo equipamento de transporte durante o seu espalhamento/empilhamento, obedecendo sempre os critérios descritos no projeto executivo de engenharia (Figura-09), normalmente sendo:

- Inclinação de 2,0 (H): 1,0 (V);
- Bancos entre bermas com altura máxima de 10 metros; e
- Bermas intermediárias com largura mínima de 06 metros.

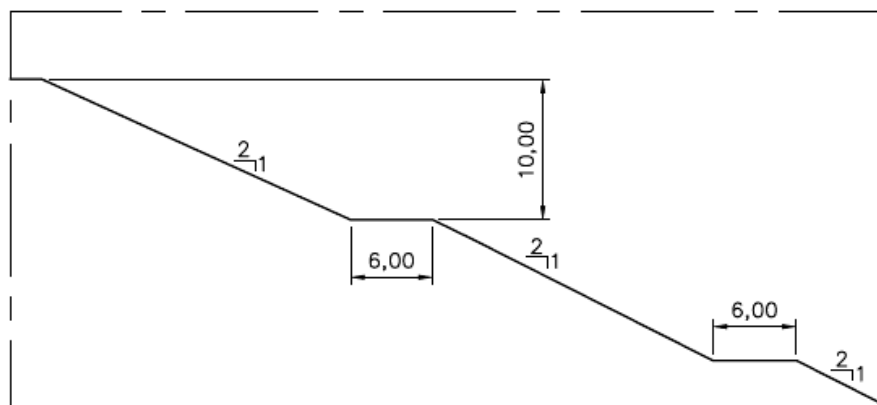


Figura 09: Detalhe das dimensões dos taludes com ângulos de 26,5° e bermas com largura mínima de 6 metros (CENTAURUS, 2012).

3.3. REABILITAÇÃO DE PILHA DE DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL

Segundo Sánchez *et al.* (2013), a reabilitação de áreas degradadas pela mineração normalmente envolve trabalhos que podem ser classificados em quatro grupos: (i) práticas edáficas, (ii) práticas topográficas e geotécnicas, (iii) práticas hídricas e (iv) práticas ecológicas, sendo (i) e (iv) de ordem biológica e (ii) e (iii) de ordem física.

A reabilitação destas áreas engloba um conjunto de medidas que são executadas concomitantemente com as obras de implantação e com a operação do empreendimento minerário. Essa ação, também conhecida por reabilitação progressiva, pode incluir, entre outras, ações como a reposição de solo orgânico, plantio de vegetação em taludes e bermas de PDE, recomposição de vegetação nativa as margens de rios (APP) e em outras áreas.

A reabilitação progressiva de áreas degradadas traz diversas vantagens para o fechamento de uma mina. Ela possibilita que a empresa adquira experiência, crie e armazene conhecimento para o uso em outras ações de reabilitação, tornando mais eficientes e eficazes suas ações futuras de reabilitação ambiental, conforme afirma Sánchez *et al.* (2013).

3.3.1. PRÁTICAS DE ORDEM FÍSICA

3.3.1.1. Práticas Topográficas e Geotécnicas (ii)

É essencial que a superfície do talude esteja a mais regularizada possível. O acerto e regularização podem ser feitos manualmente ou mecanicamente, buscando sempre a eliminação dos sulcos erosivos, o preenchimento dos espaços e a ancoragem dos sedimentos soltos (Figuras-10 e 11). As concavidades do terreno e as negatividades dos taludes devem ser removidas ou minimizadas, para evitar a formação de novos sulcos erosivos, desmoronamentos e escorregamentos (DEFLOR, 2014).



Figura 10: Detalhe dos taludes apresentando sulcos erosivos (VALE, 2002).



Figura 11: Detalhe do acerto e regularização dos taludes e bermas (VALE, 2002).

O monitoramento geotécnico da PDE deve ser realizado, devendo sempre contemplar no mínimo os seguintes aspectos:

- Controle do nível freático nos maciços das pilhas, utilizando-se piezômetro e indicadores de nível d'água distribuídos ao longo das bermas;
- Controle topográfico durante a construção da pilha para verificar as dimensões de projeto;
- Controle das possíveis deformações topográficas decorrentes de recalques diferenciais, por meio de marcos topográficos georreferenciados; e
- O empreendimento deverá apresentar com frequência laudos de estabilidade da PDE, com respectiva ART do profissional habilitado ao órgão ambiental responsável pela emissão da Licença Ambiental.

As práticas topográficas e geotécnicas têm como objetivo manter a PDE estável e sem a presença de sulcos erosivos.

3.3.1.2. Práticas Hídricas (iii)

A mudança do regime de escoamento superficial e subterrâneo, consequência do desmatamento e das diversas formas de uso do solo, é apontada como principal causa dos processos erosivos.

Essa mudança implica na maior velocidade de escoamento superficial e, ao menos nos primeiros anos após os desmatamentos, num aumento de infiltrações que elevam os gradientes e desencadeiam o *piping*.

Segundo McCarter (1990), as PDE frequentemente cobrem grandes áreas e certos cuidados precisam ser estabelecidos no sentido de controlar a água superficial. A água superficial deve ser manejada de modo a impedir a saturação dos taludes expostos, prevenindo o desenvolvimento de superfície freática dentro da pilha, protegendo a estrutura contra a perda de finos por *piping*, além de minimizar erosões superficiais que, em estágios avançados, podem mobilizar ou induzir mecanismos de ruptura ao longo das superfícies dos taludes.

Para conduzir as águas pluviais drenadas no vale a montante da pilha, pode se utilizar um canal lateral que captará águas a montante e as conduzirá ao canal natural à jusante da pilha. Neste caso, o empreendimento deverá obter uma outorga de desvio parcial de curso d' água junto ao IGAM.

A água superficial proveniente da precipitação ou de outras fontes deve ser coletada e direcionada para canais de escoamento ao redor da estrutura, ou conduzida por drenagem interna. Dependendo das características do local onde se encontra instalada a PDE, o sistema de drenagem superficial deve contemplar a execução de canais periféricos visando à interceptação das águas pluviais oriundas das vizinhanças externas da pilha e o redirecionamento das mesmas até o sistema extravasador final.

As PDE contam com um sistema de drenagem superficial com o objetivo de coletar e direcionar as águas provenientes das precipitações. Essa drenagem é construída por canaletas de concreto (Figura-12) e essas devem ser projetadas com um declínio de 1% na direção longitudinal (do centro para as ombreiras) e de 3% na direção transversal, no sentido do pé da bancada.

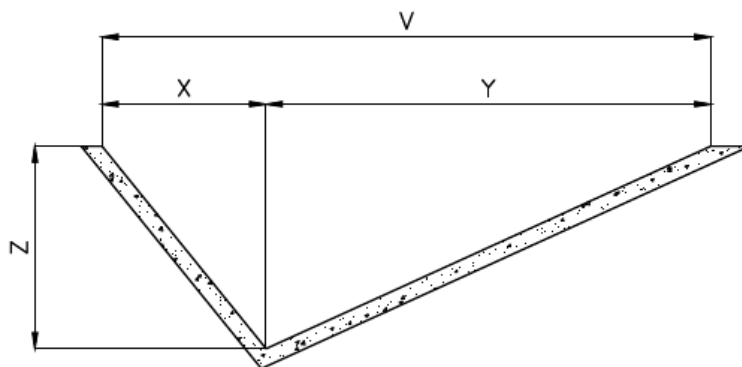


Figura 12: Detalhe das canaletas de drenagem nas bermas dos taludes de PDE (CENTAURUS, 2012).

Esse sistema de drenagem também é constituído por descidas d' águas em escadas de concreto para reduzir a sua velocidade (Figura-13) e dissipadores de energia no local da restituição das águas pluviais ao sistema natural de drenagem (Figura-14).

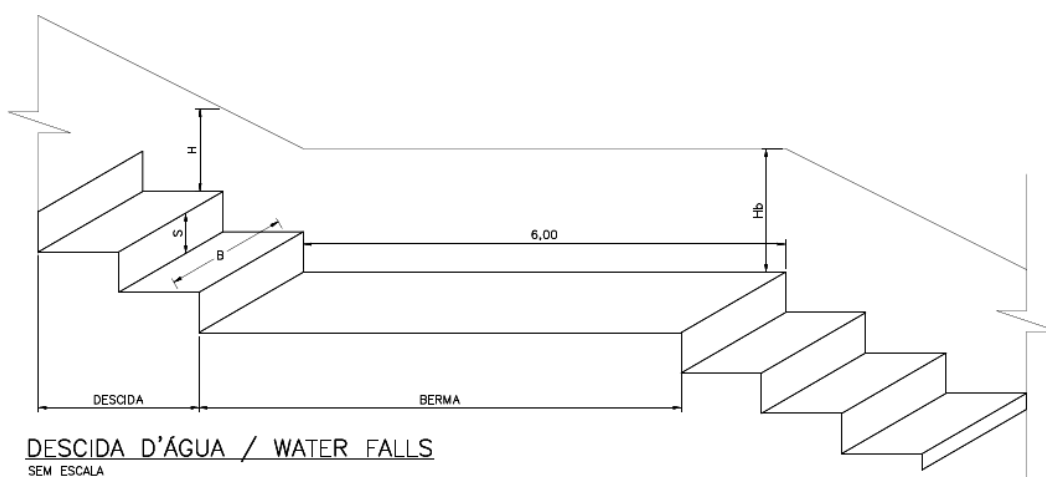


Figura 13: Detalhe da descida d'água em escada de PDE (CENTAURUS, 2012).

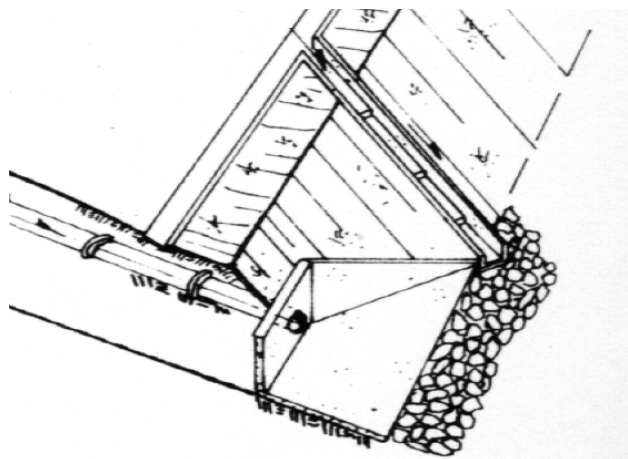


Figura 14: Detalhe do dissipador de energia no local de restituição da água pluvial (DER/MG, 2008).

As práticas hídricas têm como objetivo captar as águas provenientes das precipitações e as direcioná-las para o sistema natural de drenagem a jusante da PDE, evitando a formação de sulcos erosivos nos taludes e bermas da pilha.

3.3.2. PRÁTICAS DE ORDEM BIOLÓGICA

3.3.2.1. Práticas Edáficas (i)

O principal impacto de um projeto de mineração sobre a fauna e flora é aquele decorrente da supressão de vegetação, uma vez que a cobertura vegetal é o fator mais importante de defesa natural do solo contra erosão. Seu papel é essencial no escoamento superficial e nas infiltrações.

Quando não há alternativa técnica locacional para exploração dos recursos minerais, esta supressão de vegetação ocorre normalmente na fase de implantação de um empreendimento mineiro, porém, esta supressão é executada seguindo sempre as diretrizes descritas no Programa Ambiental de Supressão de Vegetação, elaborado para obtenção da Licença Instalação (LI).

Essa mudança implica em maior velocidade de escoamento superficial e, ao menos nos primeiros anos após os desmatamentos, num aumento de infiltração que aumentam os

gradientes e podem desencadear o *piping*, sendo esta atividade apontada como a principal causa dos processos erosivos.

Para minimizar estes impactos sobre a fauna e flora decorrentes desta supressão, algumas ações são executadas durante esta etapa como: o afugentamento e resgate da fauna, o aproveitamento do material lenhoso e o armazenamento do solo orgânico (*top soil*) oriundo da destocagem, terraplenagem e decapeamento para o início das atividades (fase do desenvolvimento da mina). Este solo orgânico será utilizado posteriormente nas atividades de reabilitação das PDE.

3.3.2.1.1. Solo Orgânico – *Top Soil*

Segundo Oliveira (2011), o material orgânico é aquele constituído por compostos orgânicos, podendo comportar proporções variáveis de material mineral. O material do solo é considerado orgânico quando o teor de carbono é igual ou maior que 80 g/kg avaliado na TFSA (Terra Fina Seca ao Ar), enquanto, o material mineral é todo aquele que não preenche os requisitos de material orgânico.

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS) define material orgânico como horizontes hístico e da ordem dos Organossolos. Os Organossolos devem apresentar material orgânico com espessura igual ou superior a 40 cm (ou menor que 20 cm quando estiver assente sobre rocha), quer em seção única ou cumulativamente, dentro de 80 cm da superfície.

As práticas edáficas estão relacionadas ao manejo e proteção do solo, recursos escassos e de grande importância. Este grupo de práticas inclui a remoção seletiva da camada de solo orgânico, seu armazenamento ou reutilização imediata, assim como ações de prevenção da contaminação por produtos químicos e de prevenção da erosão, entre outras (SÁNCHEZ *et al.*, 2013).

Todo esse material orgânico, também conhecido por *top soil*, e a serrapilheira presente na área suprimida, sujeito a destocagem, terraplenagem e decapeamento, devem então

ser armazenados em pátios de estocagem. Esta camada normalmente é removida com as mesmas máquinas disponíveis em campo para os serviços de escavações.

O solo orgânico armazenado nos pátios de estocagem é disposto sobre o terreno preparado para iniciar a reabilitação. Esta disposição é realizada em uma única camada, recobrendo toda a superfície do estéril (taludes e bermas) liberado para a reabilitação. Este solo orgânico deverá ser basculado sobre os taludes e bermas por meio do uso de pá-carregadeira ou caminhões, sendo a distribuição final do material realizada de forma manual (Figuras-15 e 16).



Figura 15: Solo orgânico disposto sobre o talude e berma (VALE, 2002).



Figura 16: Talude totalmente coberto por vegetação (VALE, 2002).

A camada remanescente da aplicação deste solo sobre os taludes não deve ser superior a 10 cm por motivos técnicos e de estabilidade, e quando houver excedente de material orgânico, este terá que ser mantido em locais de estoque ou pátios de armazenamento para seu uso posterior, desde que não sejam por períodos longos e sempre em áreas próximas as áreas a serem reabilitadas, diminuindo os custos operacionais.

Esta etapa consiste em preservar as características superficiais do solo, como: o banco de sementes, a matéria orgânica vegetal e animal, a micro e mesofauna com o objetivo de melhorar as condições para espécies subsequentes, conferindo a essa camada especial valor para o reaproveitamento na reabilitação de forma rápida e eficiente.

3.3.2.2. Práticas Ecológicas (iv)

A cobertura vegetal é o fator mais importante de defesa natural do solo contra erosão. Em todos os casos, o solo dispõe de uma certa cobertura vegetal superficial que exerce uma função, maior ou menor, de proteção contra as intempéries. Em alguns casos a vegetação em taludes e bermas podem atuar negativamente na estabilidade global da PDE, principalmente quando há uma infiltração excessiva das águas oriunda das precipitações.

Nos taludes caracterizados por um ângulo de repouso acentuado ou mesmo, sobre material de estéril pouco compactado, é necessário à utilização de técnicas de bioengenharia para a sua reabilitação e estabilidade. Nestes casos são aplicadas telas vegetais e/ou biomanta antierosiva, semeio manual ou por meio de hidrossemeadura. Essas telas vegetais quando aplicadas ao solo, mudam imediatamente o aspecto visual do local, proporciona uma rápida instalação da vegetação, prevenindo erosões e retendo os sedimentos.

3.3.2.2.1. Preparo do Solo e Semeio

Essa atividade consiste em efetuar o micro coveamento, ou seja, covas pequenas umas próximas as outras (10 centímetros) e de profundidade suficiente (5 centímetros), de maneira a reter todos os insumos a serem aplicados, tais como: fertilizantes, corretivos, mulch, adesivos e sementes (Figuras-17 e 18). Estes insumos são aplicados manualmente ou por meio de hidrossemeadura (DEFLOR, 2014).

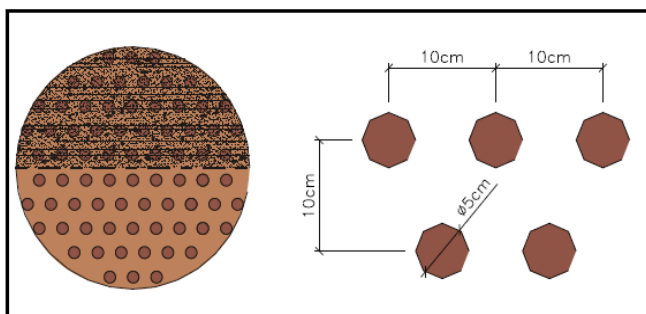


Figura 17: Detalhe do micro coveamento (DEFLOR, 2014).



Figura 18: Micro coveamento realizado nos taludes e bermas (VALE, 2002).

3.3.2.2. Hidrossemeadura

A hidrossemeadura é o lançamento do composto (fertilizantes, corretivos, mulch, adesivos e sementes) por meio de hidrojateamento (via aquosa). O composto é lançado ao solo, o qual virá a recobrir a superfície com espécies que promoverão à proteção do mesmo, dando início à sucessão ecológica. Este composto contém uma mistura de sementes de espécies gramíneas e leguminosas que garantirá a fixação, umidade, germinação e estabilidade do terreno protegendo-o contra a erosão.

3.3.2.3. Aplicação da Tela Vegetal

Segundo Seoane (2011), a aplicação das telas vegetais devem seguir as seguintes instruções técnicas (Figura-19):

- A tela vegetal deve seguir sempre a direção da declividade do talude (1);
- Os rolos devem ser fixados ao solo do talude com grampos metálicos em forma de U. Na sua fixação, o espaçamento entre os grampos devem ser de aproximadamente 30 cm (2);
- Nas emendas das mantas, os espaçamentos dos grampos devem ser de no mínimo 40 cm (3);
- As fixações dos rolos deverão ser realizadas no patamar entre a linha da crista e a borda e o fundo da canaleta. Em seguida faz-se o reaterro da canaleta (4).

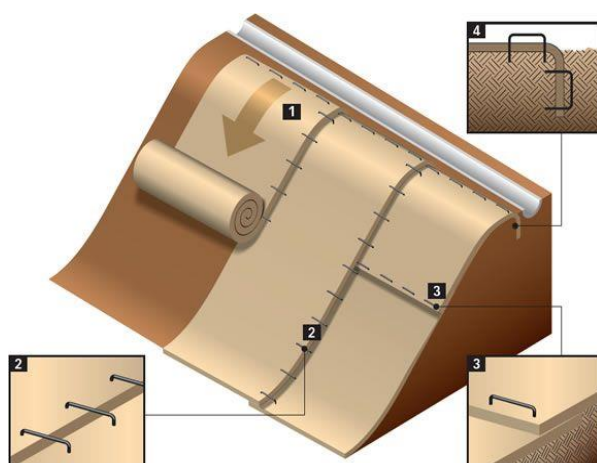


Figura 19: Detalhe da aplicação da tela vegetal (SEOANE, 2011).

3.3.2.2.4. Efeitos Negativos da Implantação de Vegetação no Talude

Segundo Pereira (2008) a vegetação quando implantada inadequadamente, pode causar instabilidade em áreas estáveis e causar o surgimento de erosões. Esses efeitos indesejáveis são apresentados a seguir:

- Redução da umidade do solo: quando se utilizam espécies que necessitam de grande consumo de água, elas podem causar trincas e aberturas, principalmente em solos expansivos;
- O peso das árvores aumenta as forças atuantes, provocando deslizamentos;
- O vento, atingindo as árvores, produz forças sobre as massas de solo, podendo ativar deslizamentos;
- As raízes podem contribuir para danificar estruturas cimentadas superficialmente, nos canais, revestimentos e sistema de drenagem em taludes;
- As raízes e as árvores podem contribuir para concentrar o fluxo de água pluvial e provocar sulcamentos e ravinamentos;
- As raízes superficiais podem contribuir para a desagregação do solo, quando muito concentradas, em grande volume e superficiais;
- Plantas de raízes finas e superficiais impedem a infiltração e desagregam partículas do solo; e
- Plantas altas e de folhas largas podem causar a erosão, pois concentram água nas folhas, em consequência, as gotas d'água oriundas das plantas serão maiores que as gotas da chuva.

3.3.2.2.5. Efeitos Positivos da Implantação de Vegetação no Talude

A escolha correta de plantas para uso em áreas degradadas, erosões e áreas instáveis permite obter o sucesso da revegetação e até mesmo estabilizar áreas que apresentam instabilidade (PEREIRA, 2008). A seguir são apresentados os efeitos positivos das plantas nos taludes:

- Reduzem o transporte de sedimentos: as raízes agregam partículas e aumentam a resistência do solo. Os caules das plantas aumentam a rugosidade, reduzindo a energia potencial da água;
- Reduzem o *run-off* (escoamento): as raízes aumentam a taxa de infiltração da água no solo, a porosidade do solo e os canais de sucção, bem como o tempo de infiltração;
- Reduzem a erosão pelo efeito *splash*: as plantas interceptam a chuva, reduzindo a erosão laminar, evitando a erosão pelo fecho das gotas da chuva, que não atingem diretamente o solo;
- No controle de erosão, as plantas mais eficientes são as de folhas curtas e espessas, de raízes profundas, que apresentam grandes níveis de tolerância, e aumentam os efeitos de atirantamento do solo;
- Plantas rasteiras apresentam cobertura do solo mais eficiente, por estarem em contato direto com o solo; e
- Quando usamos plantas de compatibilidade ecológica, ou seja, plantas genericamente diversificadas, com várias espécies, há maior capacidade de resistência a mudanças no meio ambiente do que em uma monocultura.

3.3.3. Execução de Práticas e Resultados

Depois de executadas as práticas de ordem física (ii e iii), dá-se início a execução das práticas de ordem biológicas (i e iv).

As Figuras-20 e 21 apresentam os resultados da reabilitação de uma PDE utilizando-se a execução de práticas (i) edáficas, (ii) topográficas e geotécnicas, (iii) hídricas e (iv) ecológicas em uma Mina de Minério de Ferro, localizada no Quadrilátero Ferrífero, estado de Minas Gerais, Brasil.



Figura 20: Taludes e bermas da PDE regularizados, sistema de drenagem implantado, pronto para receber as técnicas e práticas ecológicas – Antes (VALE, 2002).



Figura 21: Taludes e bermas da PDE totalmente coberto por vegetação, dando início a sucessão ecológica – Depois (VALE, 2002).

4. CONCLUSÃO

A disposição de estéril em pilhas é uma questão complexa e deve ser analisada e avaliada caso a caso. Devido a esta grande complexidade, fica evidente que a disposição deve ser planejada e seu monitoramento geotécnico realizado periodicamente.

A partir da pesquisa realizada pode-se concluir que para elaboração de um projeto de PDE devem-se considerar os aspectos econômicos, técnicos, ambientais e as premissas estabelecidas na NRM nº 19 e ABNT nº 13.029/2006. Esses fatores devem ser primeiramente analisados em separado, e em seguida avaliados em conjunto, a fim de se determinar um local no qual: os objetivos econômicos e técnicos maximizados se somam aos impactos ambientais minimizados, para ser apresentado ao órgão ambiental como Estudo de Alternativa Técnica Locacional.

Na implantação, para maior segurança e estabilidade da PDE, deve-se construir o dreno de fundo, e para evitar o assoreamento dos recursos hídricos à jusante da pilha, deve-se construir o dique de contenção de sedimentos. Ambos são passíveis de Outorga junto ao Instituto Estadual de Gestão das Águas (IGAM). Já na operação, recomenda-se que a construção da PDE seja executada de forma ascendente, para que haja possibilidade de se acompanhar seu comportamento geotécnico e se ter maior controle ao longo das futuras deposições.

A operação da PDE deve ser realizada concomitantemente com as atividades de reabilitação, ação conhecida também por reabilitação progressiva. A reabilitação progressiva traz diversas vantagens para o empreendimento, possibilitando mais experiência, criando e armazenando conhecimentos para a execução do Plano Ambiental de Fechamento de Mina (PAFEM). A reabilitação de PDE quando executada seguindo o modelo de Sánchez *et al.* (2013), envolve trabalhos que são classificados em quatro grupos: (i) práticas edáficas; (ii) práticas topográficas e geotécnicas; (iii) práticas hídricas e (iv) práticas ecológicas; cujos resultados têm se mostrado eficientes e eficazes. Assim, cumprindo o modelo de Sánchez *et al.* (2013) será possível enquadrar as áreas de PDE reabilitadas ao mesmo domínio natural existente no local e região.

Enfim, os impactos ambientais causados pelas pilhas de disposição de estéril existem e são inerentes às atividades minerárias. Este impacto é minimizado quando o estéril torna-se útil a outros fins como um subproduto, por exemplo, ou quando é depositado em cavas já exauridas. Porém, os recursos minerais são imprescindíveis para a sociedade, sendo substâncias sem nenhuma valia para o homem, enquanto encontram-se inertes no subsolo, mas de grande importância proporcionando, após suas extrações, uma melhor qualidade de vida para a sociedade.

Cabe ao setor de mineração buscar conhecimento técnico para desenvolver cada vez mais os processos minerários, respeitando desta forma, os direitos e anseios que a sociedade tem por um meio ambiente saudável. Sendo assim, a extração mineral gerará maiores ganhos tanto para as empresas quanto para a sociedade.

5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para futuros trabalhos sugiro aos autores que abordem os seguintes temas:

- Armazenamento e transposição do solo orgânico (*top soil*) em PDE;
- Estudo de espécies vegetais adequadas para vegetação de PDE de minério de ferro; e
- Abordar separadamente as práticas citadas por Sánchez *et al.* (2013):
 - Edáficas;
 - Topográficas e geotécnicas;
 - Hídricas; e
 - Ecológica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO, G. A. S. **Classificação de Pilhas de Estéril na Mineração de Ferro**. Dissertação de Mestre em Engenharia Mineral – Área de Concentração: Lavra de Minas, UFOP. Ouro Preto, MG, 117p, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR n° 13.030. **Elaboração e Apresentação de Projeto de Reabilitação de Áreas Degradadas pela Mineração**. Rio de Janeiro, RJ, 1999. 02p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NBR n° 13.029; **Elaboração e apresentação de Projeto de Disposição de Estéril em Pilha**. Rio de Janeiro, RJ, 2006. 04p.

BOHNET, E. L.; KUNZE, L. **Waste Disposal – Planning and Environmental Protection Aspects**. Source: Surface Mining, p. 485 – 494, 1990.

CASTRO, P. T. A., JÚNIOR, H. A. N., LIMA, H. M. **Entendendo a Mineração no Quadrilátero Ferrífero – Understanding Mining Around the Quadrilátero Ferrífero**. Belo Horizonte, MG, 1ª Edição, p. 64, 2011.

CENTAURUS BRASIL MINERAÇÃO LTDA. **Relatório Técnico - Hidrológico e Hidráulico do Projeto Jambreiro**. Bankable Feasibility Study – BFS. Belo Horizonte, MG, 2012, 134p.

DEFLOR Bioengenharia – **Guia de Instalação de Biomantas Antierosivas, Retentores de Sedimentos e Hidrossemeio**. Catálogo de Produtos e Serviços. Belo Horizonte, MG, 2014.

DER/MG – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais. **Manual de Procedimentos Ambientais em Empreendimentos Rodoviários**. Figura-19. Belo Horizonte, MG, 2008.

EATON, T., BROUGHTON, S., BERGER, K. C. Piteau Associates Engineering Ltd. **Course Introduction Design and Operation of Large Waste Dumps**. Under Licence from the British Columbia Ministry of Energy and Mines – Mine Dump Committee, 2005.

FRANCO, A.A.; FARIA, S.M. **The contribution of N₂-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics**. Soil Biol. Biochem., V. 29, N° 5/6, P. 897-903, 1997.

FREIRE, W.; MARTINS, D. L. **Dicionário de Direito Ambiental e Vocabulário Técnico do Meio Ambiente**. 2ª Edição, Jurídica Editora, Belo Horizonte, MG, 2009.

GOMES, R. C. (2004). **Núcleo de Geotecnia Aplicada**, Escola de Minas, UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**. 7ª Edição, página 10. Brasília, DF, 2012.

MCCARTER, M. K. **Design and Operating Considerations for Mine Waste Embankments**. Source: Surface Mining, p. 890-899, 1990.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM nº 74 de 09 de Setembro de 2004**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SISEMA. Belo Horizonte, MG, 2004.

KOBYAMA, M.; MINELLA, J. P.G.; FABRIS, R. **Áreas Degradadas e sua Recuperação**. Informe Agropecuário, Maio/Junho, v. 22, n. 210, pág. 10-17 Belo Horizonte, MG, 2001.

OLIVEIRA, J.B. **Pedologia Aplicada**. 4ª Edição. FEALQ. Piracicaba, SP, 2011.

PEREIRA, A. R. **Como Selecionar Plantas para Áreas Degradadas e Controle de Erosão**. 2ª Edição. Belo Horizonte, MG, 2008.

SÁNCHEZ, L.E.; SILVA SÁNCHEZ, S.S.; NERI, A.C.; **Guia para o Planejamento de Fechamento de Mina**. 1ª Edição. Instituto Brasileiro de Mineração-IBRAM. Brasília, DF, 2013.

SEOANE, T. Fundações e Contensões. Mantas Contra Erosão. **Especificações para Aplicação de Geomantas e Biomantas na Proteção e Estabilização Superficial de Solos**. Edição nº 14. Artigo, Dezembro, 2011. Disponível em: <http://www.infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/14/artigo256243-1.aspx>

SINOPSE. Ministério de Minas e Energia – MME. **Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM**. Diretoria de Planejamento e Desenvolvimento da Mineração DIPLAM. Brasília, DF, 2014.

TAVARES, S.R.L. **Áreas Degradadas: Conceitos e Caracterização do Problema**. Curso de Recuperação de Áreas Degradadas; A Visão da Ciência do Solo no Contexto do Diagnóstico, Manejo, Indicadores de Monitoramento e Estratégias de Recuperação. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2008. Vol. 01, Cap. 01, pág. 01-08.

VALE – **Meio Ambiente e Mineração - Recuperação Ambiental na Mina de Piçarrão**. Nova Era, MG. Apresentação, 2002. Disponível em: www.ibram.org.br/sites/700/784/00001536.pdf