



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



BRUNO DOS SANTOS BRETAS

**AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE REVEGETAÇÃO PARA PILHAS DE
REJEITO ARENOSO. ESTUDO DE CASO: PILHAS DE REJEITOS DE UMA
MINA DE MINÉRIO DE FERRO**

TRABALHO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Ouro Preto, 2019

BRUNO DOS SANTOS BRETAS

**AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE REVEGETAÇÃO PARA PILHAS DE REJEITO
ARENOSO. ESTUDO DE CASO: PILHAS DE REJEITOS DE UMA MINA DE
MINÉRIO DE FERRO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da
Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos
para a obtenção de Grau em Engenharia Ambiental.

Orientador: José Fernando Miranda

Ouro Preto, dezembro de 2019

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

B844a Bretas, Bruno Dos Santos .

Avaliação das técnicas de revegetação para pilhas de rejeito arenoso. Estudo de caso [manuscrito]: pilhas de rejeitos de uma mina de Minério de Ferro. / Bruno Dos Santos Bretas. Bruno Bretas. - 2019.
60 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Me. José Miranda.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.

1. Bioengenharia - Revegetação - Biomanta. 2. Degradação ambiental - Revegetação - hidro-semeadura. 3. Rejeitos (Metalurgia) - Minérios de Ferro. 4. Bioengenharia - Revegetação - topsoil. 5. Degradação ambiental . I. Bretas, Bruno. II. Miranda, José. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 502/504

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB:1716

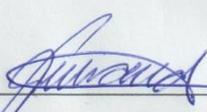
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas
Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental - CEAMB
Campus Universitário Morro do Cruzeiro-S/N - CEP:35400-000 Ouro Preto – MG
Brasil - Tel.: (31) 3559.1542 – e-mail: ceamb@em.ufop.br

Folha de Aprovação

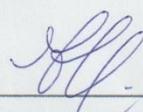
Bruno dos Santos Bretas

**AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE REVEGETAÇÃO PARA PILHAS DE REJEITO
ARENOSO. ESTUDO DE CASO: PILHAS DE REJEITOS DE UMA MINA DE
MINÉRIO DE FERRO**

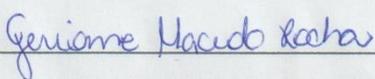
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 16/12/2019 pela
comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof.MSc. José Fernando Miranda – EM/UFOP (Orientador)



Prof.Dr. Hernani Mota de Lima – EM/UFOP



Eng.De Minas Geriane Macedo Rocha

Campus Universitário Morro do Cruzeiro-S/N - CEP:35400-000 Ouro Preto – MG
Brasil - Tel.: (31) 3559.1542 – e-mail: ceamb@em.ufop.br

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela saúde e por ter me guiado até aqui.

Aos meus pais, Neumar e Edina, pelo amor, confiança, paciência, puxões de orelha e por todo suporte. Eu sou muito grato por serem tão especiais em minha vida.

Aos meus irmãos, Gabriela, Daniela, Mariana e Lucas, pela união, carinho e por compartilharem o significado verdadeiro do que é ser irmão.

Aos meus avós e familiares por todo carinho e apoio.

Aos meus amigos, Thiago, Gabriel, Rato, Toka, Mustela, Mari, Sabrina, Yuri, Bomba, Laurinha, Hagnes, Juninho, Carlinha e Thais, pela amizade, momentos marcantes em minha vida e pelo suporte quando precise de vocês.

A Raíssa por todo apoio e incentivo durante este trabalho.

Agradeço aos irmãos da Republica Babilônia, atuais moradores e ex-alunos, pela boa fase que compartilhamos juntos, por todos ensinamentos e amizades ali adquiridos.

Agradeço ao Prof. José Fernando Miranda, pela orientação de forma objetiva, pela pronta disponibilidade sempre que precisei e por compartilhar seus conhecimentos comigo.

Agradeço ao Marangon, César e Atila por todo suporte durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal de Ouro Preto pelas oportunidades oferecidas durante a graduação.

Ao departamento de Engenharia de Ambiental pelo conhecimento transmitido. Em especial, a professora Lia pelos ensinamentos e conselhos.

Agradeço a todos que estiveram presentes de alguma forma em toda essa jornada.

RESUMO

Os rejeitos de mineração são gerados a partir do beneficiamento dos minérios. Segundo dados da Agência Nacional de Águas existem cadastradas cerca de 839 barramentos para a contenção de rejeitos. A utilização de barragens como sistema único de disposição de rejeitos, vem sendo utilizada de forma cautelosa, a fim de minimizar sua utilização, considerando as restrições e acidentes ambientais recentes, gerando vítimas pelos rompimentos das barragens de rejeitos. Com o passar dos anos, e com a evolução social inerente em uma sociedade, os anseios de uma população interferem nas atividades que aquela comunidade está relacionada, direta ou indiretamente, ocasionando uma reestruturação naquele setor, a fim de atender as necessidades e segurança. Algumas mineradoras já vêm estudando e utilizando técnicas de filtragem de rejeito e posteriormente a disposição em pilhas. Estas pilhas requerem alguns cuidados específicos como estabilidade, sistemas drenagem, controles de processo erosivo.

O presente trabalho fundamenta um estudo de caso de um experimento de revegetação no empilhamento de rejeitos arenosos de minério de ferro. O objetivo desta pesquisa é a análise comportamental prática de três metodologias de revegetação das pilhas de rejeitos filtrados, propondo um método de revegetação mais adequado para o empilhamento de rejeito, minimizando os processos erosivos destes materiais. Nesta pesquisa avaliou-se um experimento realizado em uma unidade industrial de beneficiamento de minério típica do Quadrilátero Ferrífero, onde foram aplicadas as seguintes metodologias de revegetação de taludes e pilhas: a aplicação da hidro-semeadura diretamente na pilha de rejeito, a aplicação de uma biomanta sobre a pilha e posteriormente a aplicação da hidro-semeadura e a terceira situação que é a aplicação de uma camada de *topsoil* sobre a pilha e depois a aplicação da hidro-semeadura.

O experimento durou um período de um ano e após análises dos resultados nas áreas de teste constatou-se que o melhor custo benefício obtido foi no método utilizando biomanta associado a aplicação de hidro-semeadura. O melhor resultado de vegetação dos métodos aplicados foi o de combinação de *topsoil* e hidro-semeadura, porém, descartado pela carência de *topsoil* para grandes áreas e o custo mais elevado.

Palavras chaves: Biomanta, disposição de rejeito, hidro-semeadura, pilhas, revegetação, *topsoil*.

ABSTRACT

The mining tailings are generated from the ore beneficiation processes. According to the available data from the National Water Agency, there are around 839 ponds containing mining tailings. The construction and usage of such dams is a trending topic of research, considering the recent environmental restrictions and accidents with casualties, due to tailing dam failures. Over the last years, the health and safety standards in this sector are aiming to raise the bar in order to fulfill the society needs. Some mining companies are already studying and applying tailings filtering techniques and dry stacking. Such works require in-depth knowledge in terms of stability, drainage systems and erosion process controls.

The present work is the basis for a revegetation case study on the stacking of siliceous ore tailings. The objective of this research is to understand the behavior analysis of three revegetation methodologies of filtered tailing piles, in order to propose a more suitable revegetation method for the tailings stacking, hence, minimizing the erosive processes. This research evaluated an experiment carried out in a typical iron ore beneficiation plant located in the Iron Quadrangle. The following sludge and pile revegetation methodologies were applied: the application of hydroseeding directly on the tailing piles; the application of a soil biomantle on the piles followed by hydroseeding; and the application of a topsoil layer on the stack followed by hydroseeding.

The experiments were conducted within one year and after analysis of the results in the sampled areas, it was found that the best cost-benefit obtained was when applying the biomass followed by hydroseeding method. The best revegetation result was obtained with the combination of topsoil and hydroseeding, however, it was discarded due to higher capital costs and the absence of topsoil for larger areas.

Keywords: Biomantle, hydroseeding, hydroseeding, piles, revegetation, tailings disposal, topsoil.

Sumário

LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	14
2.1. Objetivos Específicos	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
<u>3.1. Rejeitos minerais</u>	15
3.2. Geração de barragens de rejeito na mineração	17
3.3. Recuperação de barragens	18
<u>3.4. Formas de disposição de rejeito</u>	19
3.4.1 Disposição dos rejeitos espessados	21
3.4.2 Disposição dos rejeitos filtrados	22
3.5. Técnicas de revegetação de pilhas	23
3.5.1 Gramíneas e leguminosas	24
3.5.2 Hidro-semeadura	25
3.5.3 Biomanta	26
3.5.4 <i>Topsoil</i>	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.4. Atividades realizadas	30
4.5. Região do experimento	30
4.6. Plano de ação	31
4.7. Dados das pilhas de rejeito do teste	34
4.7.1 Parâmetros de compactação	34
4.7.2 Classificação granulométrica	35
4.7.3 Inclinação da pilha e inclinação da face do talude	35

4.8.	Seleção de adubos e sementes.....	37
4.9.	Aplicação direta no rejeito, biomanta e <i>topsoil</i>	38
4.9.1	Aplicação direta no rejeito	38
4.9.2	Aplicação de biomanta combinada com hidro-semeadura.....	39
4.9.3	Aplicação de <i>topsoil</i> combinada com hidro-semeadura.....	40
4.10.	Análise de custo	41
4.11.	Análise estética.....	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1.	Comparação das áreas de teste após um ano	42
5.1.1	Resultado das aplicações diretamente no rejeito.....	44
5.1.2	Resultado das aplicações de biomanta conjunto a hidro-semeadura.....	47
5.1.3	Resultado das aplicações de <i>topsoil</i> com hidro-semeadura	48
5.2.	Cálculos de custo	51
5.2.1	Custo estimado do teste.....	51
5.2.2	Custo de cada técnica por m ²	53
5.3.	Discursão dos resultados.....	53
6	CONCLUSÃO.....	54
	REFERÊNCIAS	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Resumo dos parâmetros de compactação do rejeito arenoso.	344
Tabela 4.2: Sementes utilizadas na hidro-semeadura.	377
Tabela 4.3: Fertilizantes e insumos usados na hidro-semeadura.	388
Tabela 5.1: Resultados de acordo com cada área.	42
Tabela 5.2: Custo da aplicação de hidro-semeadura diretamente no rejeito.	51
Tabela 5.3: Custo da aplicação de biomanta + hidro-semeadura... ..	52
Tabela 5.4: Custo <i>topsoil</i> + hidro-semeadura.	52
Tabela 5.5: Custo total do experimento.	53
Tabela 5.6: Custo/ m ² de cada metodologia aplicada no experimento.. ..	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Fluxograma típico de tratamento de minério.	16
Figura 3.2. Ilustra a formação geométrica de uma pilha de rejeitos espessados com o ponto de lançamento da pasta no centro da estrutura.	21
Figura 3.3. Ilustra uma pilha com rejeito filtrado.	222
Figura 3.4. Aplicação de Hidrossemeadura.	25
Figura 3.5. Instalação da biomanta no solo já preparado.	288
Figura 4.1. Mapa esquemático do Quadrilátero Ferrífero destacando a localização da mina.	31
Figura 4.2. Pilha de rejeito arenoso da área 1.	32
Figura 4.3. Pilha de rejeito arenoso da área 2.	32
Figura 4.4. Pilha de rejeito arenoso da área 3.	33
Figura 4.5. Imagem da pilha com o dimensionamento.	33
Figura 4.6. Distribuição granulométrica do rejeito arenoso.	35
Figura 4.7. Ilustra o método construtivo dos taludes.	36
Figura 4.8. Geometria típica de um empilhamento.	36
Figura 4.9. A pilha preparada e dividida com estacas, como mostra os círculos vermelhos. .	38
Figura 4.10. Aplicação de hidrossemeadura no rejeito.	39
Figura 4.11. Aplicação da hidrossemeadura sobre a biomanta.	40
Figura 4.12. <i>Topsoil</i> sendo preparado para receber a hidro-semeadura.	41
Figura 5.1. Área 1 após um ano da aplicação da hidro-semeadura.	43
Figura 5.2. Área 2 após um ano da aplicação da hidro-semeadura.	43
Figura 5.3. Área 3 após um ano da aplicação da hidro-semeadura.	44
Figura 5.4. Processo erosivo avançado.	45
Figura 5,5. Princípio de ravinamento durante a aplicação da hidro-semeadura.	45
Figura 5.6. Vista da parte onde a aplicação foi direta no rejeito.	46

Figura 5.7. Região hidrossemeadura aplicada no rejeito da área 3.	46
Figura 5.8. Biomanta com presença de processos erosivos da área 1.	47
Figura 5.9. Biomanta mais hidrossemeadura da área 2.	48
Figura 5.10. Biomanta com revegetação da área 3.....	48
Figura 5.11. <i>Topsoil</i> vegetado da área 1.....	49
Figura 5.12. <i>Topsoil</i> mais hidrossemeadura da área 2.....	50
Figura 5.13. <i>Topsoil</i> vegetado da área 3.....	50

1. INTRODUÇÃO

Os produtos minerários são recursos indispensáveis para atender às necessidades da população, principalmente quando relacionadas à alimentação, saúde, moradia e vestuário. Dessa forma, a atividade minerária seguirá ocorrendo, porém, deve-se procurar conciliar seu desenvolvimento com a minimização de impactos ambientais.

Na atividade minerária, os processos tecnológicos associados à extração do minério envolvem a movimentação de grandes volumes de materiais, causando alterações na paisagem, modificando seu equilíbrio e resultando no desenvolvimento de novos ecossistemas (SILVA *et al.*, 2010; DONTALA *et al.*, 2015; DE QUADROS *et al.*, 2016).

Os primeiros processos de recuperação de áreas mineradas observados se preocupavam com a revegetação, visando ao rápido recobrimento da cobertura vegetal, controle da erosão e cumprimento da legislação (DIAS; ASSIS, 2011), ou mesmo para minimizar o impacto visual (MECHI; SANCHES, 2010).

Recuperar uma área degradada resultante da atividade minerária é uma obrigação das empresas mineradoras, a partir da elaboração do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), que deve prever medidas de revegetação, com vistas a estabelecer ou restabelecer a cobertura vegetal, porém, muitas vezes não se observa coerência entre as medidas praticadas e aquelas preconizadas nesse plano (MECHI; SANCHES, 2010; ALMEIDA; SÁNCHEZ, 2005).

Entretanto, existem casos em que a vegetação não consegue se estabelecer em decorrência das características da área que se pretende recuperar, havendo necessidade de outras técnicas para que isso possa ocorrer. Um exemplo claro dessa situação é a recuperação de taludes de pilhas de estéril e recentemente as pilhas de rejeito.

Uma das maiores preocupações nos dias de hoje nas unidades de mineração que possuem processos de concentração a úmido e geram rejeitos são as barragens de rejeitos, principalmente após os rompimentos das barragens em Bento Rodrigues e em Brumadinho. Segundo Boccamino (2017), novas possibilidades para diversos aspectos e soluções vêm sendo estudadas. Entre as principais diretrizes destas novas ideias está a redução de custo, o aumento da capacidade de aporte de cada estrutura, maior aproveitamento da água, aumento de

segurança, vantagens para o fechamento e menores chances de contaminação do meio ambiente. Neste cenário tem-se como alternativa a disposição de rejeitos desaguado, dispostos no meio ambiente na forma de uma pilha.

Entretanto não se pode afirmar que a pilha formada com rejeitos desaguados seja mais segura que uma dada barragem de rejeito, pois a segurança de um sistema de disposição de rejeitos está diretamente ligada ao projeto, a implantação e a operação do sistema projetado. Deve-se prever as premissas e parâmetros técnicos construtivos e operacionais do sistema e a equipe que irá realizar tais atividades deverão fazê-las com disciplina e rigor técnico, pois se o projeto falhar e não se prever todas as interferências ou se for previsto, mas não for executado de maneira correta, seja lá qual for a técnica adotada para a disposição, o risco de falha existirá (BOCCAMINO, 2017).

Entende-se que a estrutura formada com os rejeitos desaguados, espessados e ou filtrados, dispostos no meio ambiente na forma de uma pilha, apresenta um menor dano potencial ao meio ambiente, quando comparado com o dano potencial de uma barragem, consideradas as mesmas proporções de massa de rejeito disposta e a mesma localização das estruturas (BOCCAMINO, 2017).

Nesses casos, a recuperação por meio da revegetação sugere grandes dificuldades em virtude das granulometrias e o solo pobre em nutrientes orgânicos. No processo de recuperação dessas pilhas, a aplicação da adubação, utilizando espécies leguminosas, com base na sua periodicidade e na racionalização de sua aplicação, em longo e médio prazos, pode trazer imensuráveis benefícios ao solo (RIBEIRO, 2005). Essas espécies são fixadoras de carbono e nitrogênio, maximizam a ciclagem de nutrientes, favorecem a atividade biológica do solo, apresentam elevado potencial de produção de fitomassa e maior ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares. Contribuem com a biodisponibilidade de nutrientes, promovendo a estruturação de agregados do solo, dando início ao processo de sucessão natural (CHAER *et al.*, 2011; NOGUEIRA *et al.*, 2012; BOLDT-BURISCH *et al.*, 2015; NUSSBAUMER *et al.*, 2016; RASHID *et al.*, 2016; SOUZA *et al.*, 2016; VERGANI; GRAF, 2016).

O sucesso da recuperação de uma área degradada pela mineração não depende somente das características da área a ser recuperada. A escolha correta das espécies, as fontes de propágulos, polinizadores e dispersores de sementes e seus efeitos benéficos sobre o solo é que irá definir sua capacidade de melhorar o solo da área que está sendo recuperada (CHAER *et al.*,

2011; MUKHOPADHYAY *et al.*, 2013). Dessa forma, em projetos de recuperação, faz-se necessário conhecer os métodos e as técnicas a serem aplicados com vistas a criar condições básicas para revegetação nas pilhas de rejeito filtrado. Assim, considera-se que a área degradada pela atividade minerária possa ser recuperada, utilizando técnicas alternativas das usualmente praticadas e preconizadas nos planos de recuperação de áreas degradadas (PRADs).

A literatura traz alternativas técnicas de recuperação, em diferentes contextos de degradação, passíveis de serem aplicadas em áreas degradadas pós-mineração. Nesta perspectiva, evidencia-se a bioengenharia de solos, tecnologia contextualizada no subdomínio da engenharia civil, com os mesmos objetivos e fundamentos técnicos, aliados à percepção ecológica por meio de soluções construtivas criativas, na medida em que faz uso de materiais vivos (SCHIECHTL, 1980).

De caráter multidisciplinar, a bioengenharia de solos emprega materiais naturais, vivos ou mortos, isolados ou conjugados com materiais inertes e é usada tradicionalmente para estabilizar margens de cursos d'água e taludes naturais ou construídos (DURLO; SUTILI, 2005). Essa combinação forma sistemas vivos, conjugando funcionalidade estrutural e ecológica, podendo ser utilizada para recuperar diferentes situações de degradação (GRAY; SOTIR, 1996; SUTILI, 2007; EVETTE *et al.*, 2009; FERNANDES; FREITAS, 2011). Nesse contexto, o objetivo deste estudo é discutir o potencial de aplicabilidade de modelos estruturais de bioengenharia de solos para promover a recuperação de talude das pilhas de rejeito filtrado em uma mineradora, localizada na região de Itabirito- MG.

2. OBJETIVOS

Esse estudo tem como objetivo geral avaliar as técnicas de revegetação de pilhas de rejeito arenoso.

2.1. Objetivos Específicos

Para atender o objetivo geral, foram estabelecidos como objetivos específicos:

- Definir as possíveis técnicas de revegetação de pilha, aplicáveis a uma pilha de rejeito de minério de ferro;
- Estudar a aplicação das técnicas de revegetação de pilhas no estudo de caso;
- Avaliar, mediante análise de custos e eficiência de vegetação, o melhor procedimento a ser adotado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Rejeitos minerais

Espósito (2000) conceituou rejeitos como “resíduos resultantes de processos de beneficiamento, a que são submetidos os minérios visando extrair os elementos de interesse econômico (produto final)”. Araújo (2006) afirmou que sua constituição é caracterizada pela presença de uma fração líquida e sólida, com concentração de 30% a 50% em peso. Estes materiais apresentam propriedades que são características do minério bruto e do processo industrial utilizado no beneficiamento.

Espósito (2000) comentou que os processos de beneficiamento têm como finalidade a regularização dos tamanhos dos fragmentos, remoção de minerais associados sem valor econômicos e melhora da qualidade.

Araújo (2006) afirmou que os rejeitos podem variar de materiais arenosos não plásticos (rejeitos granulares) até solos de granulometria fina e alta plasticidade (lamas). Quanto a composição granulométrica e consistência, geralmente os rejeitos de caráter granular são constituídos por areias finas a médias não plásticas, já as lamas são constituídas por siltes e argilas com alta plasticidade, difícil sedimentação e alta compressibilidade.

A Figura 3.1 ilustra toda a fase de tratamento de minério de ferro. Luz e Lins (2004) e Lozano (2006) explicam que o minério é extraído da jazida por meio de operações de lavra (a céu aberto ou subterrânea) na mina. O produto da mina, o minério lavrado, é frequentemente denominado *run-of-mine* (ROM), que vem a ser a alimentação da usina de beneficiamento.

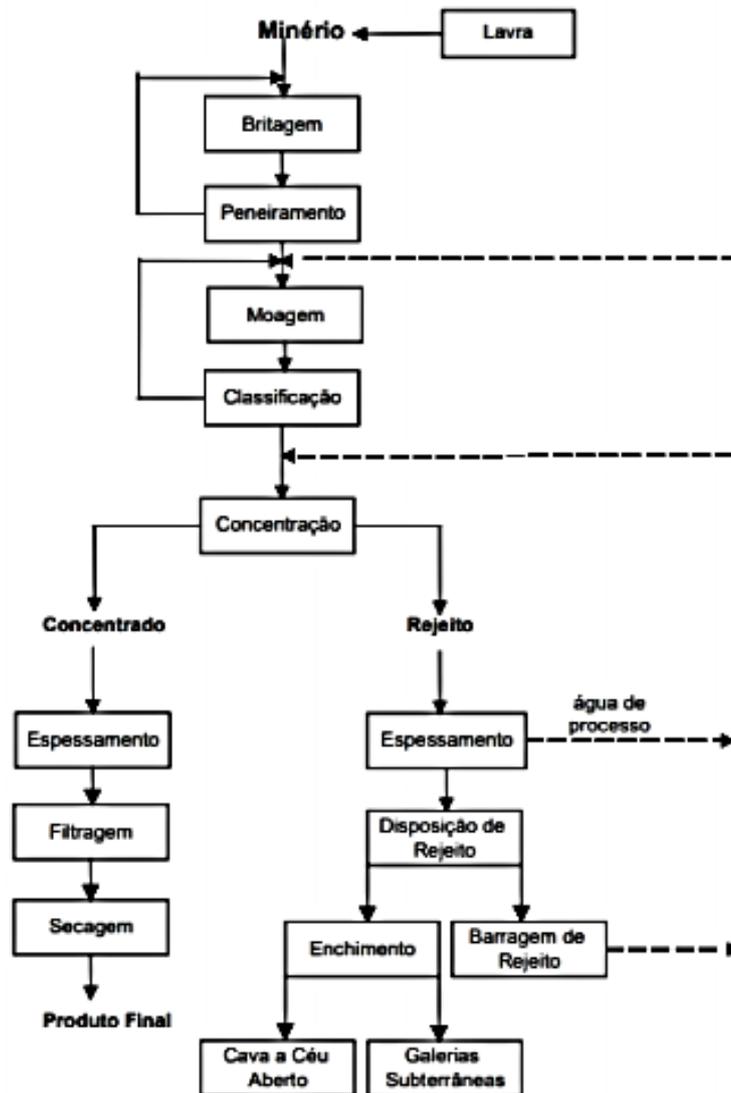


Figura. 3.1. Fluxograma típico de tratamento de minério.

Fonte: LUZ; LINS, 2004.

Antes de se ter um produto para ser transportado ou mesmo adequado é necessário eliminar parte da água do concentrado. Estas operações compreendem desaguamento (espessamento e filtragem) e secagem (LUZ E LINS ,2004). Araújo (2006) descreveu o processo de espessamento como uma remoção da água do rejeito para posterior recirculação na fase do beneficiamento.

É importante que o rejeito seja depositado na barragem de rejeitos minerais atendendo alguns critérios, pois segundo Wang et al. (2014) nesta etapa forma-se um sedimento saturado

em água e, na maioria das vezes, faz-se necessário expelir essa água em excesso para maior redução de volume e aumento da resistência mecânica do sedimento, satisfazendo as especificações regulatórias para deposição segura do rejeito. Niguyen e Borger (1998) afirmaram que a resistência mecânica referente a suspensão de sólidos finos pode ser caracterizada em termos de tensão de cisalhamento (resistência ao fluxo) e tensão de cedência compressiva (resistência à compressão). Portanto, o processo de eliminação da água possibilita que o depósito de rejeitos atinja condições de estabilidade em menor tempo.

3.2. Geração barragens de rejeito na mineração

O setor minerário gera um volume na faixa de milhões de metros cúbicos de rejeitos no processo de beneficiamento do minério. A quantidade de rejeito depende do processo utilizado na extração, da concentração da substância mineral estocada, muito embora a quantificação exata seja complexa devido à diversidade de operações e tecnologias utilizadas no processo de extração e beneficiamento.

Atualmente, no Brasil existem 839 barragens de rejeitos registradas, sendo a maioria (66%) de pequeno porte (com volume total de reservatório inferior a 0,5 hm³) e concentrada no estado de Minas Gerais (43,5%). No que tange aos critérios de riscos existentes, a maioria (aproximadamente 77%) se encontra em categoria de risco baixo. Quanto ao dano potencial associado (DPA) 56,5% encontram-se baixo, porém 26,58% estão com dano potencial associado (DPA) elevado (ANA, 2017).

A elevada produção dos rejeitos minerais advindos da etapa de beneficiamento do minério torna viável a construção de barragens para estocagem deste material, formando então as barragens de rejeitos. Entretanto, se construídas ou concebidas de forma inadequada, essas estruturas representam um grande risco para sociedade, tragédia ambiental e também para a economia. Visto os impactos causados pelos recentes rompimentos das barragens localizadas em Mariana (2016) e Brumadinho (2019).

A mineração compreende um conjunto de atividades destinadas a pesquisar, descobrir, mensurar, extrair, tratar ou beneficiar e transformar recursos minerais de forma a torná-los benefícios econômicos e sociais. Destinar de forma adequada os rejeitos gerados tem sido um dos maiores desafios para as mineradoras.

3.3. Recuperação de barragens

A mineração iniciou suas atividades lavrando depósitos com materiais de alto teor e sem necessidade de sofisticação no beneficiamento. Consequentemente, os rejeitos de minério de ferro, contido em barragens antigas, apresentam hoje recursos minerais que devem ser avaliados para fins de aproveitamento. Ainda com o aumento do consumo dos bens minerais e consequente exaustão desses depósitos, surgiu a necessidade de melhores e modernas técnicas para tratamento de minérios de baixo teor e consequente maximização das reservas minerais. Materiais de granulometria mais fina, que outrora eram descartados para o meio ambiente, hoje são considerados materiais aproveitáveis, visto que podem gerar receitas positivas à indústria, bem como ganhos de produção (ROCHA; PERES, 2009).

As empresas de mineração que atuam no ramo do minério de ferro estão evoluindo para processos de beneficiamento que visam o aumento da recuperação metálica para minérios de baixo teor. Portanto, o aproveitamento de minérios de baixo teor, bem como o aproveitamento de rejeitos dispostos nas barragens, surge como grandes oportunidades e desafios para a indústria da mineração.

A reutilização de finos de minério de ferro, oriundos das barragens de rejeito, não possui como objetivo somente a maximização das reservas, mas também a minimização dos impactos que estão relacionados com a disposição desses rejeitos em barragens.

A exaustão de recursos minerais com teores elevados e a crescente restrição e exigência ambiental corroboram com a recuperação em larga escala de antigos rejeitos e chama a atenção para a necessidade de investir na eficiência da produção. A recuperação da fração valiosa de bens minerais contida nos rejeitos depende da técnica disponível e dos custos associados, considerando-se as características do rejeito e do “minério” como distribuição granulométrica, teor do metal útil e teor dos contaminantes (ZHANG *et al.*, 2006). Além dos resultados positivos relativos ao ganho de produção, aumento de vida útil da mina e a receita gerada, uma maior recuperação de finos de minério de ferro das barragens de rejeito implica em um acréscimo na vida útil das barragens, o que segundo Ghose e Sen (1999) trata-se de uma boa estratégia para a gestão ambiental de rejeitos, uma vez que reduz a demanda por uso da terra.

3.4 Formas de disposição de rejeito

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (2002), na resolução N° 29, de 11 de dezembro de 2002, em seu artigo primeiro define:

- Estéril: qualquer material não aproveitável como minério e descartado pela operação de lavra antes do beneficiamento, em caráter definitivo ou temporário;
- Rejeito: material descartado proveniente de plantas de beneficiamento de minério;
- Sistema de disposição de estéril: estrutura projetada e implantada para acumular materiais, em caráter temporário ou definitivo, dispostos de modo planejado e controlado em condições de estabilidade geotécnica e protegidos de ações erosivas;
- Sistema de disposição de rejeitos: estrutura de engenharia para contenção e deposição de resíduos originados de beneficiamento de minérios, captação de água e tratamento de efluentes.

O Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM, dispõe de Normas Reguladoras – NRM 19 para a Disposição de Estéril, Rejeitos e Produtos. O artigo 19.3.1 determina que a construção de depósitos de estéril, rejeitos e produtos deve ser precedida de estudos geotécnicos, hidrológicos e hidrogeológicos. Já o artigo 19.3.3 estabelece que no tratamento dos efluentes líquidos, incluindo as águas da mina, da usina e de drenagem, devem ser esgotadas todas as possibilidades técnicas e econômicas de forma a maximizar a quantidade de água a ser recirculada.

No Brasil, os rejeitos de beneficiamento são normalmente dispostos em forma de polpa em estruturas de contenção denominadas barragens. Em outros países, existe uma tendência para o adensamento dos rejeitos. A disposição de rejeitos na forma de polpa de alta densidade, pastas minerais ou tortas apresenta vantagens consideráveis e representa alternativas às práticas convencionais (SOUZA; AMARANTE; ARAÚJO, 2005).

Os rejeitos podem ser descartados sob a forma sólida (pasta ou granel), ou líquida (polpa de água com sólidos ou lama), podendo sua disposição ser feita em superfície, em cavidades subterrâneas ou em ambientes subaquáticos, esta última com algumas restrições do ponto de vista ambiental. A forma de disposição dos rejeitos está relacionada diretamente ao tipo de minério e de processo empregado para o seu beneficiamento. Ou seja, em princípio, seu estado

de disposição (pasta, granel ou polpa) está condicionado às etapas do processo e às características da planta, e podem, posteriormente, ser alterado conforme a metodologia proposta para a sua disposição final. Entretanto, a alteração do estado do rejeito para atendimento à metodologia de disposição compreende, única e exclusivamente, mudança no seu estado de concentração e não de suas características intrínsecas físico-químicas e mineralógicas. Além disso, as diversas metodologias existentes e os procedimentos de disposição de rejeitos resultam em depósitos com propriedades de engenharia substancialmente diferentes (FIGUEIREDO, 2007).

Quanto aos métodos construtivos de barragens de rejeitos, construídas por alteamentos sucessivos, três tipos clássicos podem ser citados: Método de Montante, Método de Jusante e Método de Linha de Centro. O método de montante é considerado o mais econômico e de maior facilidade executiva. Entretanto, neste caso, apesar das vantagens apresentadas e da necessidade de menores áreas para disposição, estas estruturas, principalmente quando alteadas com o próprio rejeito do processo, merecem maior controle no acompanhamento durante a etapa construtiva, uma vez que apresentam algumas desvantagens relacionadas à dificuldade de controle da superfície freática, susceptibilidade ao piping, maior propensão a processos erosivos nas superfícies e probabilidade de liquefação (ESPÓSITO, 2000). O método de alteamento de jusante é considerado mais seguro que o de montante, entretanto, de custo construtivo maior. No de alteamento de linha de centro, por sua vez, busca-se maximizar as vantagens oferecidas pelos métodos de jusante e de montante.

Visando minimizar os altos custos com a disposição de rejeitos em bacias de contenção, as empresas do setor de mineração vêm procurando alternativas para dispor este material de maneira mais econômica e sustentável. Diversas alternativas têm sido estudadas e adotadas e segundo Guimarães (2011), a filtragem e a disposição dos rejeitos em pilhas pode ser uma alternativa viável dentro deste contexto.

Outro método de disposição de rejeito utilizado, principalmente nas empresas do setor de minério de ferro, é o método de disposição através de empilhamento drenado. Este método é utilizado com rejeitos granulares, originados do processo de beneficiamento que não incluem a fase de tratamento de finos.

Segundo Portes (2013) na técnica de disposição de rejeito por empilhamento drenado, os rejeitos granulares são depositados sob a forma de pilha, através da técnica de aterro hidráulico. A pilha deve ser dotada de um sistema de drenagem interna eficiente e os rejeitos

devem ter coeficiente de permeabilidade tal que permitam a drenagem da camada lançada de forma otimizada com a área operacional disponível e a produção diária.

3.4.1 Disposição dos rejeitos espessados

Rejeitos espessados são uma realidade para preenchimento de cavidades há décadas. Comumente, utiliza-se aditivos químicos para melhorar o comportamento destes materiais, como ligantes, floculantes e desidratantes (DAVIES, 2011).

A Figura 3.2 ilustra a metodologia usualmente aplicada para a disposição dos rejeitos espessados em superfície. Neste exemplo mantém-se o eixo do ponto de lançamento mudando apenas a cota de elevação à medida que a pilha evolui, formando uma pilha em forma de cone.

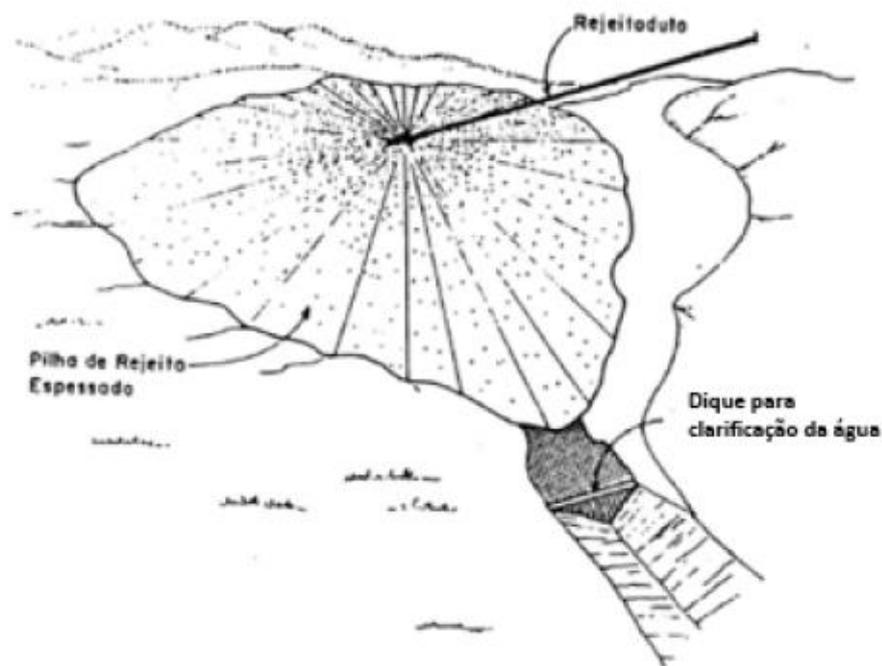


Figura 3.1. Ilustra a formação geométrica de uma pilha de rejeitos espessados com o ponto de lançamento da pasta no centro da estrutura.

Fonte: GOMES, 2016

O ângulo de repouso, das pastas minerais quando são dispostas em uma superfície plana ou inclinada, está relacionado com a consistência da pasta, e pode estar compreendido na faixa de 5 até 30% de inclinação. (BRACKEBUSCH, 2000). O manejo estratégico dos pontos de disposição, é feito mudando-se o eixo do ponto de lançamento, formando diversos cones até se

atingir a geometria final planejada. Se executado de maneira correta, tal disposição pode trazer ganhos para a segurança, pois a alternância de lançamento dos pontos possibilita o controle de ressecamento da pasta com maior rigor.

Segundo Boccamino (2017), a estrutura formada pela disposição da lama espessada, se necessário pode ser confinada pelo material estéril, ou pelo rejeito arenoso filtrado, ou apenas ser protegida com vegetação.

3.4.2 Disposição dos rejeitos filtrados

Conforme Boccamino (2017), a disposição de rejeitos filtrados tende a ser mais simples que a disposição de rejeitos espessados e, geralmente, é feita com o auxílio de equipamentos convencionais de terraplanagem. A pilha deve ser construída em camadas com espessuras pré-dimensionadas, prevista em projeto, determinadas de forma a se obter um adensamento mínimo necessário para garantir a estabilidade do arranjo proposto para a formação da pilha. O arranjo proposto para a disposição de rejeitos desaguados de minério de ferro é padrão, assumindo uma formação em “bolo de noiva”, conforme pode ser observado na Figura 3.3.

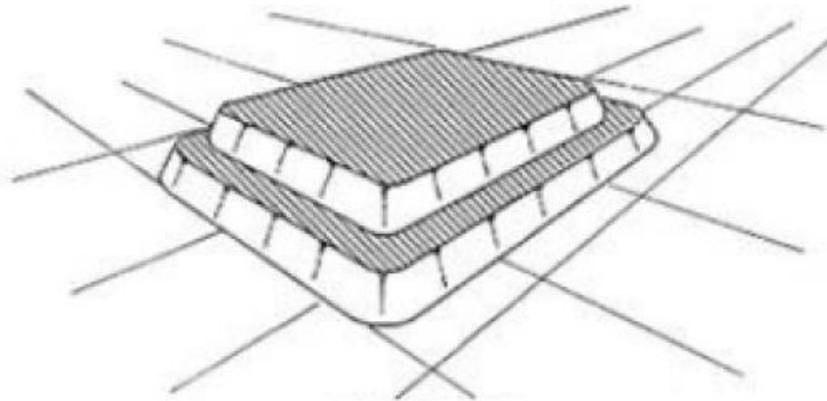


Figura 3.2. Ilustra uma pilha com rejeito filtrado.

Fonte: BOCCAMINO ,2017

O plano de disposição sequenciado para o desenvolvimento da pilha deve ser desenvolvido adotando-se como premissa o método ascendente de construção, ocupando o terreno do ponto de menor cota até se atingir o topo da pilha.

A fim de minimizar os processos erosivos, a superfície dos bancos deverão ser revegetadas, com a configuração final de uma pilha típica formada com material estéril, na sua etapa de fechamento.

3.5 Técnicas de revegetação de pilhas

Dentro do conceito de Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) moderno a revegetação de pilhas não é uma simples atividade de lavoura (Munshower, 1994). Embora os primeiros esforços de recuperação das áreas degradadas tenham se desenvolvido a partir de práticas agrônômicas convencionais e sejam, ainda, influenciadas por elas, a revegetação tem progredido além das práticas de lavoura. O autor esclarece que, hoje em dia, as técnicas de revegetação estão fortemente influenciadas por processos como nivelção do terreno, aplicação do solo superficial, manipulação correta da superfície e o plantio de espécies vegetais selecionadas.

Segundo EINLOFT (1997) as maiores dificuldades para a recuperação dos taludes são: a falta de solo de superfície, a deficiência de nutrientes, a alta declividade do talude, a própria dificuldade em selecionar as espécies a serem utilizadas e, os impedimentos químicos e físicos que o talude apresenta em função de ser composto por resíduo resultantes do processo de beneficiamento do minério de ferro. Por esse motivo, é recomendado o uso de gramíneas e leguminosas, que além de serem capazes de se desenvolverem neste ambiente, também possuem a capacidade de formarem uma nova camada superficial de solo (PLANTHA PLANEJAMENTO E TECNOLOGIA LTDA, 2006).

Para amenizar e/ou controlar os impactos erosivos, a vegetação entra como um importante agente de impedimento físico dos processos erosivos sobre os taludes, impedindo a ação direta da chuva sobre o solo através da folhagem e dos resíduos vegetais que formam uma camada protetora que acaba por absorver o impacto da chuva, prevenindo a dissociação e o carreamento de partículas provocadas pelas gotas, reduzindo o escoamento superficial e aumentando o tempo de absorção da água pelo solo,. As raízes, juntamente com resíduos vegetais, criam um sistema de retenção e retardamento de ação da água no solo, funcionando então como um retentor de partículas, criando uma manta que aumenta a superfície de contato, diminuindo a velocidade de ação da água no solo que recobre o talude. Elas ainda promovem a manutenção da umidade do solo, evitando assim a saturação e o escoamento superficial (GOMES; SILVA, 2002).

Outra função que a vegetação apresenta, além de evitar a erosão e promover a sustentabilidade mecânica, é a promoção da reconstituição paisagística do local.

A atividade que envolve revegetação de taludes requer uma vegetação específica, possuidora de características específicas da região, topografia, clima, pedologia e drenagem, que possam favorecer seu desenvolvimento nesses locais. Essas características são: tolerância à seca, crescimento vigoroso, disponibilidade de sementes, facilidade na propagação, sobrevivência em condições de baixa fertilidade e eficácia no revestimento do solo (EINLOFT *et al.*, 1997). Na maioria das vezes, somente uma espécie não contém todas as características desejáveis. Então, se opta por espécies que tenham características em comum, buscando a melhor forma de uso para estas espécies.

3.5.1 Gramíneas e leguminosas

Dentre as várias espécies de vegetação, encontram-se as leguminosas e as gramíneas que possuem como característica a facilidade de se estabelecerem facilmente em solos cuja constituição química, física e biológica são impróprias para o rápido crescimento e estabelecimento de outras plantas (SOUZA, 2003). E por isso, são as espécies mais indicadas para a revegetação de taludes, sejam sozinhas, ou juntas a outras espécies.

As leguminosas são descritas como espécies que apresentam uma alta capacidade reprodutiva, baixa exigência em fertilidade, e que melhoram as características do substrato, através de fixação biológica do nitrogênio, em associações simbióticas com bactérias, sendo está a grande justificativa para seu uso, pois disponibilizam para outras plantas o nitrogênio. Além disso, apresentam raízes com arquitetura e profundidade que permitem estabilizar solos com pouca instabilidade, como nos casos de talude. As gramíneas podem ser descritas como espécies que apresentam um crescimento rápido, baixa exigência de fertilidade do substrato e uma alta capacidade de perfilhamento e pelas características de seu sistema radicular que proporciona um melhor suporte mecânico para o talude e pelo aproveitamento de cerca de 80% do nitrogênio incorporado ao solo pelas leguminosas, acelerando ainda mais seu crescimento. O seu perfilhamento contribui para a sustentabilidade do sistema através do fornecimento de matéria orgânica, devido a sua grande capacidade de produção de biomassa. Os usos destas duas espécies em consórcio desempenham então um papel fundamental na revegetação, pois as leguminosas através da sua associação com bactérias, funcionam como condicionadoras das

propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e, as gramíneas como um suporte mecânico para o sistema (PEREIRA, 2006).

Uma característica que justifica o uso de leguminosas e gramíneas é o seu rápido crescimento e desenvolvimento, uma vez que o principal objetivo da revegetação dos taludes é promover o rápido recobrimento como uma maneira de minimizar os impactos ambientais e sociais que podem ser causados por um talude sem revegetação.

3.5.2 Hidro-semeadura

Hidro-semeadura é um tipo de solução vegetal para proteção da superfície de taludes. Neste processo são utilizadas sementes de gramíneas e leguminosas, que em mistura aquosa com elementos aderentes e fertilizantes são lançadas no talude por meio de jateamento de alta pressão, no qual utiliza-se um conjunto moto bomba, tal como verificado na Figura 3.4.



Figura 3.3. Aplicação de Hidrossemeadura.

Fonte: Relatório interno da empresa

A sequência a ser seguida para se executar a hidrossemeadura são:

- Preparação do solo;
- Preparo da solução aquosa;
- Jateamento por alta pressão;
- Manutenção periódica.

A aplicação da técnica em superfícies planas (normalmente em taludes) e com o uso de espécies arbustivo-arbórea em regiões degradadas na região da Serra do Mar, mostrou a

versatilidade do método e a adaptação de tipos diferentes de sementes. Mesmo utilizando apenas sementes de baixa densidade, a hidro-semeadura mostrou-se viável, contribuindo para o desenvolvimento da revegetação (Basso, 2008).

No caso de o terreno ter sofrido total remoção da camada de solo original e esta não poder ser recolocada, deve-se fazer a análise do solo e incorporar adubação corretiva, considerando as necessidades das espécies vegetais (DNIT, 2019).

O seu emprego requer um estudo prévio das condições climáticas da região, aliado à escolha correta das espécies com potencial favorável ao efetivo desenvolvimento em substrato de natureza diversa (DNIT, 2019).

Via de regra, utiliza-se uma mistura de sementes de gramíneas e leguminosas, normalmente perenes, com a finalidade de provocar um revestimento vegetal permanente sobre as superfícies dos solos. O plantio de leguminosas facilita a fixação do nitrogênio do ar, para favorecer o desenvolvimento das gramíneas, impondo-se, em alguns casos, a adubação de cobertura que, com o decorrer do tempo, provoca o melhoramento do substrato, tornando-o apto a receber outras sementes nativas (DNIT, 2019).

A hidrossemeadura oferece melhores resultados quando executada nos períodos chuvosos, observando-se sempre boas condições de umidade do substrato. A proteção das bermas é particularmente menos crítica, em função de a área exposta ser plana e normalmente menos atingida pelos processos erosivos. É importante atentar para o valor cultural das sementes, realizando-se os testes de germinação, que comprovam a forma de se atingir 100% de cobertura da área, podendo-se, para tanto, aumentar a quantidade de sementes por hectare (DNIT, 2019).

3.5.3 Biomanta

A proteção de taludes e encostas com utilização da biomanta visa a ação imediata contra o efeito de agentes erosivos e processos de deslocamento de partículas finas do solo, que danificam ou reduzem a capacidade do sistema de drenagem superficial de proteção do corpo estrutural, ou ainda favorecem a instabilidade geotécnica destes locais (LINHARES, 2011).

A aplicação destas mantas sobre o solo de fraca estrutura e grande fragilidade ao processo erosivo tem sido bastante útil, pois, insere na superfície do mesmo uma nova estrutura que permitirá o desenvolvimento das espécies vegetais selecionadas, como também, o restabelecimento do sistema de drenagem natural (LINHARES, 2011).

As biomantas antierosivas, fazem parte de um grupo de materiais denominado pelos especialistas de controle de erosão como Produtos em Rolo para Controle de Erosão, ou ainda geocinéticos (COUTO, 2010). As primeiras biomantas foram desenvolvidas nos Estados Unidos, utilizando-se fibras de juta (PEREIRA; COELHO, 1998 apud COUTO, 2010).

As biomantas têm por objetivo proteger o solo nos períodos iniciais dos projetos de contenção da erosão em taludes, atuando assim antes da vegetação se estabelecer. Estas são parte essencial da engenharia ambiental 30 para recomposição de vegetação em áreas degradadas, porque estas:

- Protegem o solo imediatamente contra erosão superficial;
- Atuam como cobertura seca de solo na germinação de sementes;
- Reduzem a evaporação da água no solo e a insolação direta sobre o mesmo;
- Favorecem a infiltração da água no solo;
- Eliminam a emissão de particulados para a atmosfera sujeitas ao carregamento eólico;
- Maior permeabilidade do solo;
- São facilmente moldáveis e com isso adaptam em muitos tipos de solos, de acordo com as diversas situações;
- E de baixo custo material e de instalação.

É necessário que o talude esteja o mais regular possível, sendo feito manual ou mecanicamente a manutenção da estrutura, eliminando as concavidades ou partes negativas do talude, objetivando com isto que as biomantas fiquem totalmente aderidas a superfície. Após, deve ser feito o preparo do solo para receber as sementes ou as mudas e posteriormente a esse preparo é colocado a biomanta.

A partir, aplica-se a manta, desenrolando as bobinas como é mostrado na Figura 3.5, iniciando sempre do topo do talude. Fixando estas com grampos de aço, bambu ou madeira, distanciados aproximadamente 40 cm entre si no início do talude. Também é necessário ao longo da superfície do talude e das sobreposições executar fixações utilizando grampos, a quantidade de grampos e distância entre eles deve se levar em conta a inclinação do talude. Apesar de diferentes desempenhos e características, as biomantas são fixadas da mesma maneira. A partir daí resta esperar a natureza fazer seu trabalho e as sementes germinarem e começar a crescer (DNIT, 2006).



Figura 3.4. Instalação da biomanta no solo já preparado.

Fonte: Relatório interno da empresa

É importante salientar que a segurança do projeto está diretamente ligada a fixação da biomanta no solo, sua fixação inadequada gerará dificuldade para que a vegetação a ultrapasse, além disso, poderá causar focos erosivos no local de má aderência, devido ao escoamento livre da água (GALAS, 2006).

3.5.4 *Topsoil*

A camada mais superficial do solo florestal, que contém o horizonte A e pelo menos parte do horizonte B, é chamada de *topsoil* (Tacey & Glossop, 1980). Ela contém além de altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, o banco de sementes florestal, podendo ser uma fonte valiosa de sementes de espécies nativas (Carrol & Ashton, 1965; Rokich *et al.*, 2000). O resgate e transposição do *topsoil*, ou seja, de propágulos de diferentes espécies e formas de vida, de nutrientes, de matéria orgânica e da microfauna presentes no solo florestal, pode ser um meio de restabelecer a integridade de áreas degradadas. Espera-se que o grupo de espécies regenerantes do banco de sementes, em sua maioria, pioneiras, atue como cicatrizador do ambiente (Denslow & Gomes-Dias, 1990) e junto com o solo orgânico introduzido, promovam mudanças das condições edáficas e microclimáticas da área a ser recuperada, criando condições para a chegada e desenvolvimento de outras espécies (Potthoff, 2005). Avaliações deste método têm demonstrado sua eficiência em promover a regeneração de uma comunidade de espécies nativas com estrutura florestal (Tacey & Glossop, 1980; Koch & Ward, 1994; Gisler, 1995; Rokich *et al.*, 2000; Holmes, 2001; Viani *et al.*, 2006).

Atualmente, os manuais de recuperação de áreas degradadas pela mineração (IBRAM, 1992) recomendam o uso do *topsoil* como prática de recuperação de áreas de lavra, de modo que esta técnica é mais conhecida e utilizada por atividades de mineração, principalmente de bauxita. A técnica consiste da retirada do *topsoil* no momento da mineração e armazenamento deste para que seja recolocado na mesma área após o fim das atividades de mineração (Tacey & Glossop, 1980). Apesar desta prática já ser comum em áreas degradadas pela mineração, em diferentes ecossistemas (Tracey & Glossop, 1980; Koch & Ward, 1994; Walli 1999; Rokich, 2000; Holmes, 2001; Grant, 2006), poucos são os estudos que descrevem as experiências de utilização do *topsoil* em medidas de recuperação no Brasil (Gisler, 1995; Ozório 2000; Parrota & Knowles, 2003; Moreira, 2004; Viani, *et al.* 2006).

Apesar da utilização do *topsoil* já estar sendo realizada há algum tempo com sucesso, a sua aplicação ainda está restrita a áreas planas. Dentro do atual quadro de degradação ambiental, o resgate do banco de sementes florestal deve ser incorporado como mais uma alternativa de conservação da diversidade específica e genética da flora ameaçada. Dessa forma, sua utilização em medidas de recuperação deve ser encorajada e suas possibilidades de uso ampliadas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.4 Atividades realizadas

Este estudo pode ser classificado como descritivo e explicativo. Descritivo, pois apresenta os principais processos de revegetação de pilhas de rejeito. Explicativo por ter sido realizado a partir da coleta de dados, junto a uma empresa mineradora de minério de ferro, localizada na região de Itabirito, referentes aos experimentos de revegetação de pilhas.

Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica no sentido de buscar conhecimentos e práticas modernas referentes às técnicas de recuperação de pilhas de rejeitos. Sendo adotados como principais documentos, para compor o referencial teórico, artigos relacionados ao tema, teses, dissertações, livros e sites especializados.

Posteriormente foi feita uma pesquisa documental na empresa, estudo de caso, procurando analisar, nos documentos internos da mesma, algumas práticas gerenciais ou manuais de conduta com relação ao empilhamento de rejeitos.

Já a parte experimental, foi realizada com o acompanhamento de estudos de uma empresa de consultoria ambiental, no período de abril de 2017 a abril de 2018, e, também em consulta a trabalhos acadêmicos sobre disposição de rejeitos em pilhas e revegetação de taludes.

A necessidade dos experimentos refere-se à demanda de revegetar as pilhas de rejeito oriundos do processo de descomissionamento de barragens e da futura adequação da usina de beneficiamento de minério da empresa. A fim de evitar processos erosivos, e consequentes arrastes eólicos de particulados, além da preocupação estética.

4.5 Região do experimento

A área de estudo localiza-se na região de Itabirito MG inserida nos limites do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais (Figura 4.1).

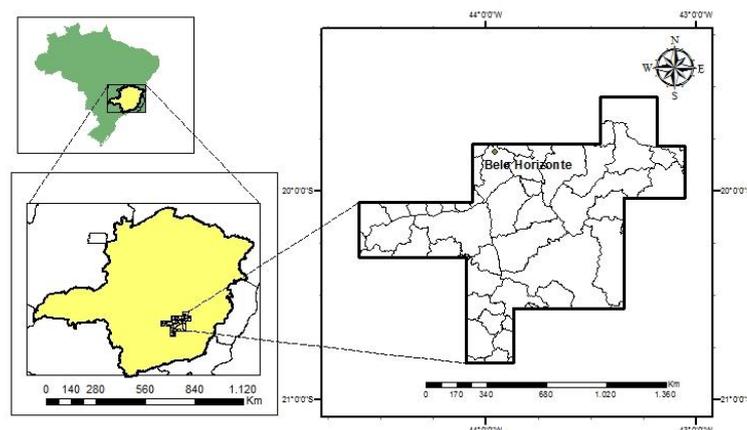


Figura 4.1. Mapa esquemático do Quadrilátero Ferrífero destacando a localização da mina.

Fonte: <http://mesosaurus.blogspot.com/2016/01/mapa-do-quadrilatero-ferrifero.html>

4.6 Plano de ação

A elaboração do plano de ação foi feita pela equipe de infraestrutura e equipe de meio ambiente com base nos projetos de lavra de médio prazo da empresa mineradora. De posse das informações, foi realizada uma consulta à equipe de planejamento de curto prazo que ratificou o teste para revegetação das pilhas formadas com o rejeito filtrado oriundo das barragens. A definição dos métodos utilizados baseou nas metodologias já usadas para recuperação das áreas aptas para receberem os trabalhos de revegetação, ou seja, pilhas, bancos, bermas, e demais áreas comuns na atividade mineral com conformação e drenagem adequada.

Para a realização do teste a equipe de infraestrutura junto com a equipe de meio ambiente da mineradora, elaborou um plano de ação, no qual foram escolhidas três pilhas, com dimensões parecidas. Estas pilhas foram construídas com rejeitos de três áreas distintas, que originaram as denominações das pilhas como sendo: a primeira com rejeitos da área 1 (Figura 4.2), a segunda com rejeitos da área 2 (Figura 4.3) e a terceira com rejeitos da área 3 (Figura 4.4). Cada pilha foi dividida em três em faixas de 30 m, com áreas de mesma dimensão, e em cada uma dessas faixas foi aplicado um método de revegetação diferente, para fins de comparação da evolução dos mesmos. Os métodos escolhidos foram: 1 hidro-semeadura diretamente no rejeito, 2 aplicações de hidro-semeadura sobre uma camada de biomanta e, 3 hidrossemeadura sobre uma camada de *topsoil*.



Figura 4.2. Pilha de rejeito arenoso da área 1.

Fonte: Relatórios internos da empresa.



Figura 4.3. Pilha de rejeito arenoso da área 2.

Fonte: Relatórios internos da empresa.



Figura 4.4. Pilha de rejeito arenoso da área 3.

Fonte: Relatórios internos da empresa.

Para a realização dos testes foram construídas três pilhas de 90 m de comprimento por 10 m altura (com o talude correspondendo a 22 m de altura), como mostra na Figura 4.5.

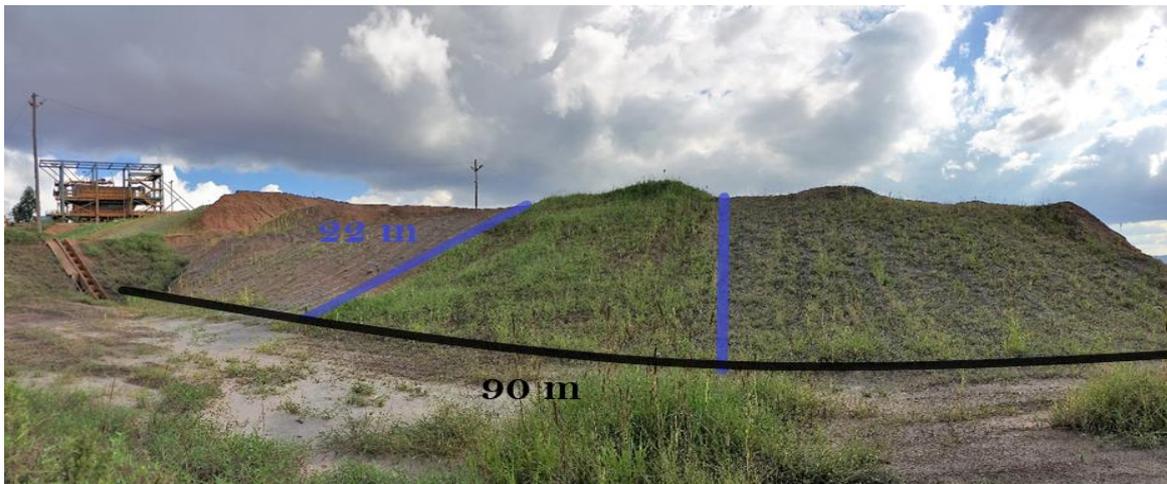


Figura 4.5. Imagem da pilha com o dimensionamento.

Fonte: Relatórios internos da empresa, adaptado pelo autor.

As metodologias de execução foram repassadas a uma empresa contratada através de recomendações técnicas e especificações das quantidades mínimas de sementes, fertilizantes e corretivos para a execução dos diversos plantios solicitados.

As etapas para o desenvolvimento de quadro comparativo em recuperação de pilhas de rejeito de barragem foram:

- Preparo das pilhas de rejeito com o trator esteira;
- Drenagem e escoamento superficial das pilhas;
- Adubação e ajustes para receber a hidro-semeadura;
- Aplicação da camada de topsoil em parte da pilha;
- Aplicação de tela vegetal (biomanta) de fibra de coco em parte da pilha;
- Aplicação de hidrossemeadura;
- Acompanhamento do desenvolvimento do teste comparativo;
- Conclusão do teste.

4.7 Dados das pilhas de rejeito do teste

As três pilhas de rejeito do experimento possuem mesmos parâmetros de compactação, distribuição granulométrica, ângulos de inclinação e face.

4.7.1 Parâmetros de compactação

Os aterros experimentais foram formados com o rejeito arenoso filtrado, disposto nas pilhas experimentais em camadas até atingir uma altura do aterro de 10m. A Tabela 4.1 mostra os parâmetros de compactação verificados pela aplicação de ensaios em laboratório e no aterro, realizados pela própria empresa (BOCCAMINO, 2017).

Tabela 4.1: Resumo dos parâmetros de compactação do rejeito arenoso.

Pilha experimental construída com rejeito arenoso filtrado em camadas	
Umidade ótima	13,40%
Densidade máxima seca	2kg/m ³
Grau de compactação do aterro	98,1%
Umidade" in situ"	13,9
Desvio de umidade	0,5

Fonte: Boccamino, 2017.

4.7.2 Classificação granulométrica

Com os dados de análises laboratoriais feitas pela empresa, foi montada a curva de distribuição granulométrica do rejeito (Figura 4.6), destacando a proporção dos materiais como sendo de 61,3% areia, 36,7% silte e 2% de argila. Com isso o material foi classificado como arenoso.

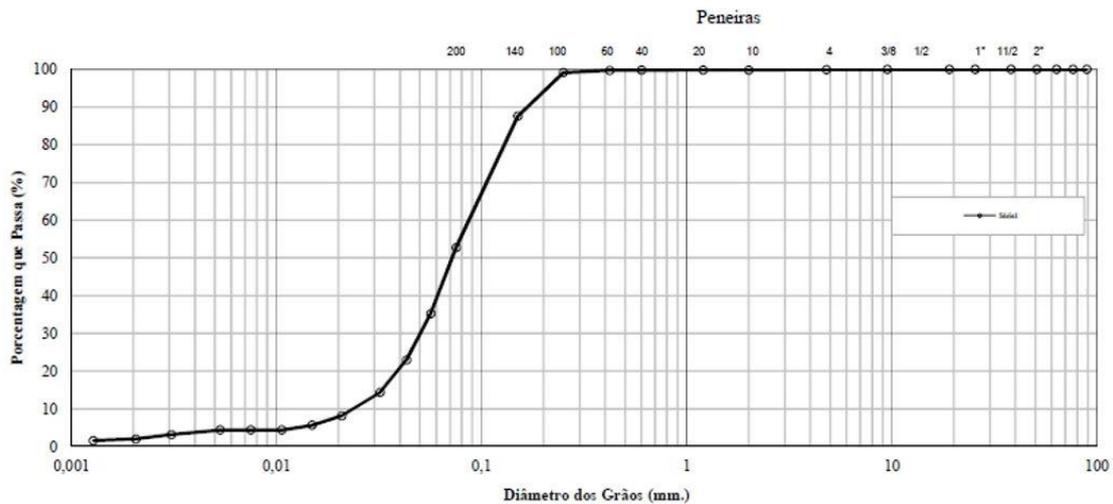


Figura 4.6. Distribuição granulométrica do rejeito arenoso.

Fonte: Boccamino, 2017.

4.7.3 Inclinação da pilha e inclinação da face do talude

Segundo Boccamino (2017) o ângulo de repouso natural dos rejeitos de minério de ferro é da ordem de 34° a 37° , inclinação relativamente elevada para os taludes, sendo então indicado pelo autor a redução do ângulo de inclinação das pilhas. Esta providência visa garantir a estabilidade dos taludes individuais, além de facilitar a sua revegetação (SILVA, 2016).

A Figura 4.7 exibe o método construtivo dos taludes, prevendo um espaço entre o talude operacional e o limite geométrico da pilha, para possibilitar a conformação do talude com a inclinação da face de acordo com o projeto de empilhamento de rejeito da mineradora.

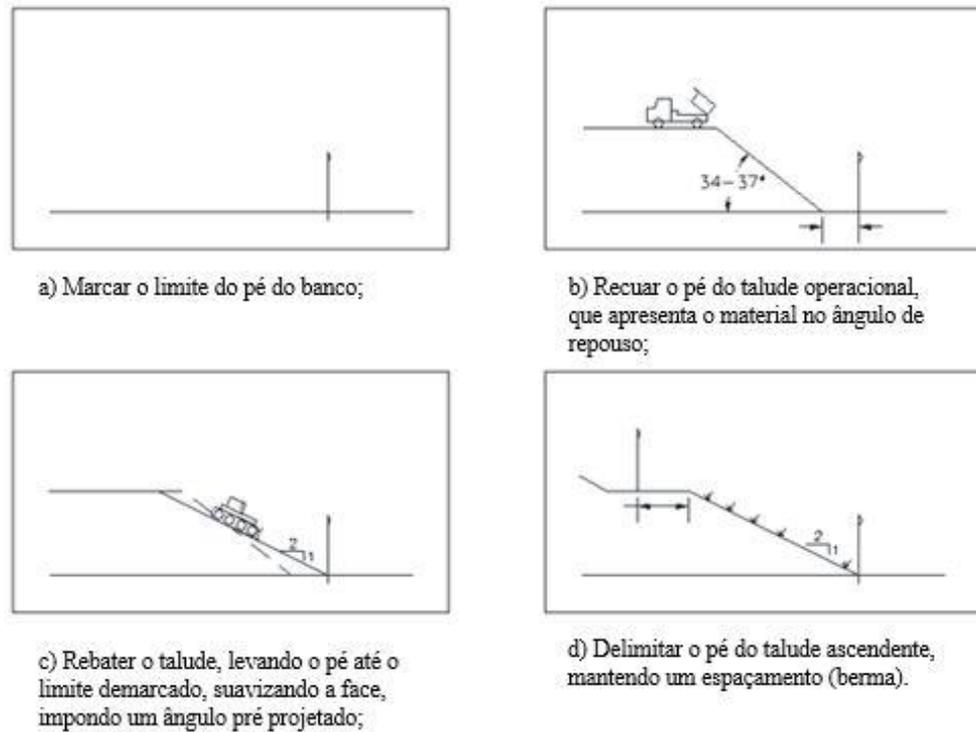


Figura 4.7. Ilustra o método construtivo dos taludes.

Fonte: Boccamino, 2017.

A Figura 4.8 ilustra as componentes que compõem a geometria típica de uma pilha: a altura dos bancos (A), o ângulo de face dos taludes (i), a largura da berma (B) e o ângulo geral da pilha, que é determinado pela combinação das três primeiras variáveis e que tem relação direta com o volume e o fator de segurança da geometria.

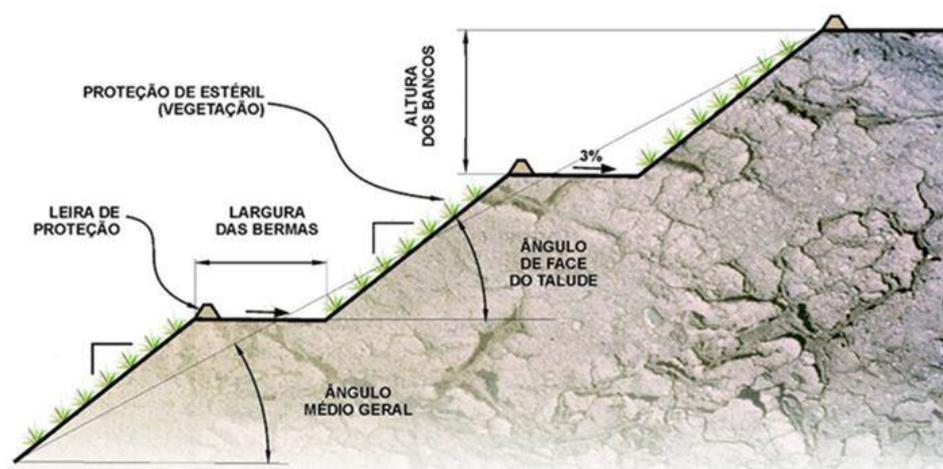


Figura 4.8. Geometria típica de um empilhamento.

Fonte: Boccamino, 2017.

4.8 Seleção de adubos e sementes

Em todos os processos de revegetação, as superfícies a serem tratadas foram previamente preparadas, recebendo sistemas de drenagem compatíveis com a situação, além de preparo do solo através de regularização e inclinação adequada do talude.

Em seguida foram aplicadas as misturas de sementes (Tabela 4.2) e fertilizantes (Tabela 4.3), através de equipamento de hidro-semeadura, formando uma fina camada sobre a superfície anteriormente preparadas. A escolha do mix de sementes e fertilizantes foi determinada pela equipe de meio ambiente, que mediante um banco de dados internos estabeleceu quais insumos deveriam ser usados nas revegetações de taludes e pilhas.

Foram utilizadas nos experimentos os mesmos insumos, fertilizantes e mix de sementes (cerca de 150 kg), que foram empregados pela empresa durante os processos de recuperação de taludes.

Tabela 4.2: Sementes utilizadas na hidro-semeadura.

Nome popular	Espécie	Quantidade
Aveia forrageira	<i>Avena strigosa</i>	15 kg
Azevém	<i>Lolium multiflorum Lam</i>	23 kg
Capim Apaga Fogo	<i>Alternanthera tenella</i>	13 kg
Capim Custódio	<i>Pennisetum setosum</i>	25 kg
Capim Gordura	<i>Melinis minutiflora</i>	50 kg
Crotalária	<i>Crotalaria juncea</i>	5 kg
Estilosantes	<i>Stylosanthes</i>	2 kg
Feijão Guandu	<i>Cajanus cajan</i>	15 kg
Girassol	<i>Helianthus annuus</i>	1 kg
Lab-lab	<i>Lablab purpureus</i>	12 kg
Milheto	<i>Pennisetum americanum</i>	23 kg

Fonte: Relatório interno da empresa.

Tabela 4.3: Fertilizantes e insumos usados na hidro-semeadura.

<u>Fertilizantes e corretivos de plantio</u>
P2O5 = 90 kg
K2O = 50 kg
Sulfato de Cálcio= 400 kg
Nitrogênio = 12 kg
magnésio = 40 kg
FTE BR 12 = 50 kg
Fertilizante orgânico = 1000 kg

Fonte: Relatório interno da empresa.

4.9 Aplicação direta no rejeito, biomanta e *topsoil*

Após o rebatimento das pilhas por um trator esteira e a demarcação com estacas dos limites de cada método, foram realizados os testes. A Figura 4.9 mostra uma das áreas preparadas para receber as aplicações de teste, já com as estacas de marcação de divisão da pilha em três faixas.



Figura 4.9. A pilha preparada e dividida com estacas, como mostra os círculos vermelhos.

Fonte: Relatórios internos da empresa.

4.9.1 Aplicação direta no rejeito

Para a aplicação direta no rejeito foi necessário somente o preparo do talude e a aplicação da hidro-semeadura, como mostra a Figura 4.10.



Figura 4.10. Aplicação de hidro-semeadura no rejeito.

Fonte: Relatório interno da empresa.

4.9.2 Aplicação de biomanta combinada com hidro-semeadura

Para as partes que foram aplicadas biomantas, o processo não é muito diferente do método anterior. Coloca-se uma biomanta com fibras de coco sobre a face da pilha, para posteriormente aplicar a hidrossemeadura Figura 4.11.



Figura 4.11. Aplicação da hidro-semeadura sobre a biomanta.

Fonte: Relatório interno da empresa.

4.9.3 Aplicação de *topsoil* combinada com hidro-semeadura

O *topsoil* é retirado de uma região com vegetação, através de uma raspagem superficial e, em seguida, distribuído sobre a faixa correspondente no talude Figura 4.12, para depois ser aplicada a hidrossemeadura. O *topsoil* é um material rico em nutrientes, matéria orgânica, algumas raízes e plântulas de algumas espécies vegetais.



Figura 4.12. *Topsoil* sendo preparado para receber a hidro-semeadura.

Fonte: Relatório interno da empresa.

4.10 Análise de custo

A partir de informações internas da empresa, foi possível estimar qual o custo do teste e o custo do metro quadrado de cada método de revegetação usado.

Para isso, inicialmente, foi calculada a área aproximada total das pilhas, que, conjuntamente com as informações fornecidas pela equipe técnica, permitiu obter os custos de aplicação da hidrossemeadura, do uso de biomantas e a quantidade usada desses produtos nos testes. Através da área encontrada e dos dados coletados em visitas a empresa, também foi possível estimar o custo com maquinário para o rebatimento do talude.

4.11 Análise estética

Durante o período de um ano, de abril de 2017 a abril de 2018, os testes comparativos foram realizados. Após a conclusão do quadro comparativo as pilhas foram incorporadas num novo sistema de disposição de rejeito.

Neste intervalo de tempo não foram realizadas operações de controle erosivo e nem de adubação, ou novas hidrossemeaduras nas pilhas. Afim, de verificar os resultados da germinação e do poder de revegetação em cada situação proposta nos testes.

Normalmente em processos de revegetação de taludes, a empresa mineradora executa etapas de monitoramento, reparo e quando necessário, aplicam uma segunda hidro-semeadura nos taludes, para corrigir falhas e ou enriquecimento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão expostos os resultados obtidos a partir do estudo de caso e serão feitas discussões sobre os mesmos.

5.1 Comparação das áreas de teste após um ano

Ecossistemas artificiais precisam necessariamente de intervenções humanas para iniciarem seu processo de estabilização a partir da própria força dos seus ecossistemas, sendo necessário a intervenção no sentido de provocar o estágio inicial de germinação desse novo ecossistema. Leguminosas e gramíneas, combinadas, têm grande potencial para enriquecerem um solo pobre e, com isso, atingirem bons resultados de revegetação nos testes, além de reduzirem os processos erosivos, o que é uma grande preocupação das empresas mineradoras.

Após o período de um ano de acompanhamento dos testes de revegetação em pilhas de rejeito arenoso, foram obtidos os seguintes resultados das três áreas, conforme demonstrado na Tabela 5.1 e nas Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 respectivamente.

Tabela 5.1: Resultados de acordo com cada área.

ÁREA 1	RESULTADO	Observação
FAIXA A.D.R	PÉSSIMO	Presença de ravinamento e vegetação ineficiente
FAIXA B.H	RUIM	Pequena presença de ravinamento
FAIXA T.H	MUITO BOM	Vegetação bem desenvolvida
ÁREA 2	RESULTADO	Observação
FAIXA A.D.R	RUIM	Vegetação insuficiente
FAIXA B.H	BOM	Vegetação suficiente para evitar processos erosivos

FAIXA T.H	MUITO BOM	Vegetação bem desenvolvida
ÁREA 3	RESULTADO	Observação
FAIXA A.D.R	RUIM	Vegetação insuficiente
FAIXA B.H	BOM	Vegetação suficiente para evitar processos erosivos
FAIXA T.H	MUITO BOM	Vegetação bem desenvolvida

Legenda: A.D.R : Aplicação Direta no Rejeito; B.H : Biomanta mais hidro-semeadura; T.H: *Topsoil* mais hidro-semeadura. Fonte: Autor (2019).



Figura 5.1. Área 1 após um ano da aplicação da hidro-semeadura.

Fonte: Relatório interno da empresa.



Figura 5.2. Área 2 após um ano da aplicação da hidro-semeadura.

Fonte: Relatório interno da empresa.



Figura 5.3. Área 3 após um ano da aplicação da hidro-semeadura.

Fonte: Relatório interno da empresa.

Como pode ser observado nas figuras anteriores, os espaçamentos onde foram aplicadas camadas de *topsoil* sobre os taludes, apresentaram melhores resultados, seguidos dos espaçamentos com camada de biomanta. Já onde a hidrossemeadura foi aplicada diretamente sobre o rejeito empilhado, não foram observados resultados satisfatórios e, ainda, foram observadas as presenças de ravinamentos expressivos.

5.1.1 Resultado das aplicações diretamente no rejeito

Nas faixas onde foram aplicadas as hidro-semeaduras diretamente no rejeito, foi possível averiguar processos erosivos e baixa vegetação das pilhas. Na Figura 5.4, correspondente à faixa de aplicação direta no rejeito da área 1, fica nítido a presença de processos erosivos. Na Figura 5.5 é possível ver indícios de ravinamento no momento da aplicação da hidro-semeadura.



Figura 5.4. Processo erosivo avançado.

Fonte: Relatório interno da empresa.



Figura 5.5. Princípio de ravinamento durante a aplicação da hidro-semeadura.

Fonte: Relatório interno da empresa.

Nas faixas de aplicação direta no rejeito das áreas 2 e 3, como mostram as Figuras 5.6 e 5.7 respectivamente, nota-se processos erosivos menores e pouca vegetação nas faces dos taludes.



Figura 5.6. Vista da parte onde a aplicação foi direta no rejeito.

Fonte: Relatório interno da empresa.



Figura 5.7. Região hidro-semeadura aplicada no rejeito da área 3.

Fonte: Relatório interno da empresa.

5.1.2 Resultado das aplicações de biomanta conjunto a hidro-semeadura

Já os testes com a utilização da biomanta sobre a face da pilha, apresentaram uma redução considerável nos processos erosivos, nota-se a presença de vegetação sobre as faces. Na área 1 (Figura 5.8), na faixa com biomanta também houveram registros de processos erosivos laminares, mas menores do que na aplicação direta no rejeito. A presença da biomanta reduziu a área exposta durante os períodos de chuvas e a ação eólica, o que levou em um resultado satisfatório durante o experimento, como indica nas Figuras 5.9 e 5.10.



Figura 5.8. Biomanta com presença de processos erosivos da área 1.

Fonte: Relatório interno da empresa.



Figura 5.9. Biomanta mais hidro-semeadura da área 2.

Fonte: Relatório interno da empresa.



Figura 5.10. Biomanta com revegetação da área 3.

Fonte: Relatório interno da empresa.

5.1.3 Resultado das aplicações de *topsoil* com hidro-semeadura

As regiões mostradas nas Figuras 5.11, 5.12 e 5.13, destacam onde o *topsoil* foi colocado sobre a face da pilha e que apresentaram resultados excelentes com desenvolvimento expressivo das vegetações, além da ausência de erosões. O *topsoil* contém, além de altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, um banco de sementes, podendo ser uma fonte valiosa de sementes de espécies nativas (Carrol & Ashton, 1965; Rokich *et al.*, 2000). Essa característica justifica os resultados satisfatórios nas regiões em que utilizaram este método para recobrir as faces dos taludes.



Figura 5.11. *Topsoil* vegetado da área 1.

Fonte: Relatório interno da empresa.



Figura 5.12. *Topsoil* mais hidro-semeadura da área 2.

Fonte: Relatório interno da empresa.



Figura 5.13. *Topsoil* vegetado da área 3.

Fonte: Relatório interno da empresa.

5.2 Cálculos de custo

Foram realizados cálculos para estimar os custos do experimento e os custos do m² de cada metodologia aplicada.

5.2.1 Custo estimado do teste

A área de estudo (face do talude) de cada pilha é de aproximadamente 2000 m², e cada técnica foi aplicada em uma faixa em torno de 30 m de largura por 22 m de extensão, perfazendo 667 m². Assim, somando as áreas das três faixas, cada técnica foi aplicada em 2000 m².

Com bases nesses dados e, com análise de custos de aplicação de cada técnica, foi possível realizar os cálculos dos custos de cada teste realizado.

A partir deste cenário foram montadas tabelas para auxiliarem no cálculo do custo total de cada teste. Uma importante observação a ser feita, é que na aplicação da hidro-semeadura é realizada uma primeira aplicação com uma carga mais concentrada (de insumos e sementes), com o custo da ordem de R\$ 0,85 m², em seguida é realizada uma segunda aplicação mais diluída com o custo da ordem de R\$0,43 m². A Tabela 5.2 mostra os cálculos de custos da hidrossemeadura.

Tabela 4.2: Custo da aplicação de hidro-semeadura diretamente no rejeito.

Hidro-semeadura direto no rejeito	
Trator	R\$ 5.800,00
Hidro-semeadura primeira carga	R\$ 1.700,00
Hidro-semeadura segunda carga	R\$ 860,00
Equipe	R\$ 2.129,73
Caminhão Hidro-semeadura	R\$ 946,55
Total	R\$10.726,37

Fonte: Autor (2019).

No experimento com utilização da biomanta, aplica-se uma camada da tela vegetal (fibra de coco) e posteriormente aplica-se a hidro-semeadura nas mesmas quantidades que o método da aplicação direta no rejeito (Tabela 5.3).

Tabela 5.3: Custo da aplicação de biomanta + hidro-semeadura.

Biomanta + hidro-semeadura	
Trator	R\$ 5.800,00
Hidro. primeira carga	R\$ 1.700,00
Hidro. segunda carga	R\$ 860,00
Equipe Hidro-semeadura	R\$ 1419,82
Caminhão Hidro-semeadura	R\$ 946,55
Equipe Biomanta	R\$ 4.024,82
Biomanta	R\$ 5.360,00
Total	R\$20.111,19

Fonte: Autor (2019).

O custo de aplicação do *Topsoil* é de aproximadamente R\$12,00/m³. Na realização dos testes foi adotada uma camada aproximada de 50 cm de espessura deste material, em uma área total aproximada de 2000 m², perfazendo um total de 1000 m³. Assim, o custo total do *Topsoil* foi de R\$12.000,00 para o experimento. No entanto o teste foi realizado em combinação com a hidro-semeadura, cujos custos foram calculados anteriormente. Assim, o custo total deste teste está apresentado na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Custo topsoil + hidro-semeadura.

<i>Topsoil</i> + hidro-semeadura	
Trator	R\$ 5.800,00
Hidro-semeadura primeira carga	R\$ 1.700,00
Hidro-semeadura segunda carga	R\$ 860,00
Equipe Hidro-semeadura	R\$ 2.129,73
Caminhão Hidro-semeadura	R\$ 946,55
<i>Topsoil</i>	R\$12.000,00
Total	R\$22.726,37

Fonte: Autor (2019).

O custo total do experimento foi aproximadamente R\$53.563,93, somando o gasto dos três métodos aplicados, como mostra a Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Custo total do experimento.

Custo total do teste	
Hidro-semeadura direto no rejeito	R\$10.726,37
Biomanta + hidro-semeadura	R\$20.111,19
Topsoil + hidro-semeadura	R\$22.726,37
Total	R\$53.563,93

Fonte: Autor (2019).

5.2.2 Custo de cada técnica por m²

Para ajudar futuros trabalhos, foi calculado o valor do m² de cada metodologia aplicada no teste, a partir da área total de cada metodologia dividido pelo seu respectivo custo, conforme a Tabela 5.6. Lembrando que são valores estimados através de informações fornecidas pela empresa.

Para se avaliar estes custos, adotou-se a seguinte linha de raciocínio:

- Inicialmente foram consideradas as áreas de 2000 m² para a aplicação de cada método;
- Depois foram pegos os custos de cada metodologia aplicada;
- Por fim, foram divididos os custos de cada metodologia por uma área de 2000 m², achando o custo de cada método por m².

Tabela 5.6: Custo/ m² de cada metodologia aplicada no experimento.

Metodologia	Custo/m ²
Hidro-semeadura direta no rejeito	R\$ 5,36
Biomanta + hidro-semeadura	R\$ 10,06
<i>Topsoil</i> + hidro-semeadura	R\$ 11,36

Fonte: Autor (2019).

5.3 Discursão dos resultados

De forma geral, pode-se descrever uma sequência de regeneração natural a partir do *topsoil* em conjunto com hidro-semeadura, com a colonização se iniciando principalmente por

gramíneas e leguminosas, mesmo a pilha sendo arenosa e o solo anterior ao *topsoil* ser muito pobre. Como *topsoil* não está disponível de forma abundante para atender toda área de revegetação de pilhas e seu custo ser mais elevado do que os outros métodos, devido ao uso de equipamento móveis para raspagem, transporte e disposição do mesmo na área para aplicação, não é conveniente para a empresa a utilização deste método.

Como os resultados da biomanta e hidro-semeadura foram satisfatórios, a empresa inicialmente usará este método para as pilhas de rejeito arenoso. Com uma ressalva, este procedimento deverá ser aplicado com uma carga de sementes e insumos mais concentrada, visando obter melhores resultados.

O método de aplicação direta da hidro-semeadura não foi bem-sucedido, já que material, constituinte das pilhas, é muito arenoso e silicoso, e que com o advento das chuvas provocou o carreamento das sementes, não permitindo proteção nenhuma de matéria orgânica na superfície da pilha. Com isso houve ravinamentos dos taludes com arraste das sementes e dos insumos, impossibilitando o resultado de germinação de sementes no local desejado.

6 CONCLUSÃO

Após acompanhamento da aplicação das técnicas e, com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

A utilização de hidro-semeadura direta na face do talude, embora seja a de menor custo e melhor logística de aplicação, não se mostrou adequada em função das características físicas do rejeito (areia não consolidada), proporcionando sulcos de ravinamento nas faces dos taludes e baixa germinação das sementes na face do talude.

Quanto à aplicação do *topsoil* o estudo mostrou que esta técnica apresentou os melhores resultados eficiência vegetal. No entanto, em função da logística de aplicação (exigência de maior de tempo – hora/homem; de maior número de equipamentos), baixa disponibilidade de *topsoil* para revegetação, este método não é adequado para esta mineradora. .

Com relação a aplicação da biomanta (combinada com hidro-semeadura) os testes mostraram que os resultados foram satisfatórios comparado com a aplicação direta de hidro-semeadura, uma vez que a biomanta protege a face do talude contra carreamento de rejeito e sementes, além de se tornar um recepiendário das sementes, permitindo boa eficiência da

combinação. No entanto, o estudo mostrou a necessidade de melhorar as cargas de aplicação para as condições das pilhas.

Assim, pode-se concluir deste estudo a necessidade de mais testes com ajustes nas morfologias das pilhas, do refinamento das quantidades de insumos das cargas de hidro-semeadura e maior precisão nas dimensões das áreas a serem estudadas.

Diante disso, sugerem-se estudos futuros comparando-se outras técnicas, e também outros parâmetros de construção de pilhas como por exemplo, combinação de rejeito com estéril.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 13028, de 14 de Novembro de 2017. Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). Mineração – Elaboração e apresentação de projetos de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 13028, de 30 de Agosto de 1993. Elaboração e apresentação de projeto de disposição de rejeitos de beneficiamento, em barramento, em mineração. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ANA (2017). Relatório de segurança de barragens. Brasília: Agência Nacional de águas, 229p. Recuperado de <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/relatorio-anual-de-seguranca-debarragem/rsb-2016/relatorio-de-seguranca-de-barragens-2016.pdf>. Acessado em 2 de setembro de 2019.
- ARAÚJO, C. B. (2006). Contribuição ao Estudo do Comportamento de Barragens de Rejeito de Mineração de Ferro (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação de Engenharia – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 133p.
- BASSO, F. de A. (2008). Hidrossemeadura com espécie arbustivo- arbóreas nativas para preenchimento de áreas degradadas na Serra do Mar. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo, Brasil.
- BOCCAMINO, G.D. (2017). Desenvolvimento de geometria para empilhamento de rejeito desaguados de minério de ferro: estudo de caso para os rejeitos gerados na instalação de tratamento de minérios itabiríticos (ITM-I) em operação na Mina do Pico. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
- BRACKEBUSCH, F. W. (2000). Aspectos Básicos de los Sistemas de Rellenoen Pasta. In: PASTE TECHNOLOGY 2000 SEMINAR, Perth – Austrália.
- CARROL, E.J. & ASHTON, D.H. Seed storage in several Victorian plant communities. Victorian Naturalist, 82: 102-110, 1965. CARSON, W. P. & PICKETT, S.

COUTO, L. Et. al.; Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil. CBCN - centro brasileiro para conservação da natureza e desenvolvimento sustentável. Viçosa, MG. 2010. 118 pg.

DAVIES, M.P.; Mcroberts, E.C. & T.E Martin (2002). Static of tailings – Fundamentals and case histories. In proceedings Tailings Dams. ASDSO/USCOLD, Las Vegas.

DENSLOW, J.S.; GOMEZ DIAS, A. E. Seed rain to tree-fall gaps in a neotropical rain forest. Canadian Journal of Forest Research, 20: 642-648, 1990.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - (DNIT), (2019). Manual de custos médios gerenciais. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-1/ManualdeCMGVol01ManualdeMetodologia.pdf>> Acesso em: 04 de novembro de 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – (DNIT), (2006). Tratamento Ambiental de Taludes e Enconstas por Intermédio de Dispositivos de controle de processos erosivos – Especificação de Serviço. Diretoria de Planejamento e Pesquisa / IPR. Rio de Janeiro. 2006.

EINLOFT, R. Crescimento de gramíneas e leguminosas em substrato rico em manganês proveniente de área de empréstimo. 1997. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

E, T. de J. (2000). Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeitos construídas por aterro hidráulico. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Brasília, Brasília, Brasil, 363p.

GALAS, N. D.; CAMPOS, G. C.; Uso de Vegetação para contenção e combate à Erosão em Taludes. Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

GHOSE, M. K.; SEN, P. K. Recovery of usable ore fines from iron ore tailings and their environmental management – a case study. Land Contamination & Reclamation, v. 7, n. 2, p. 143-149, 1999. Disponível em: <<http://www.epppublications.com/home/landcontamination-reclamation/volume-7>>. Acesso em: 04 de novembro de 2019.

GISLER, C. V. T. Uso da serapilheira na recomposição da cobertura vegetal em áreas mineradas de bauxita, MG. 1995. 146p. Dissertação (Mestrado em Biologia)- Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

GRANT, D.G. State-and-transition successional model for bauxite mining rehabilitation in the Jarrah forest of Western Australia. *Restoration Ecology*, 14(1): 28-37, 2006.

GUIMARÃES, N.C. Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando a sua disposição em pilhas. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2011, 129 p.

HOLMES, M. P. Shrubland restoration following wood alien invasion and mining: effects of top soil depth, seed source, and fertilizer addition. *Restoration Ecology*, 9 (1): 71-84, 2001.

LINHARES, R. M. Análise de estabilidade de taludes em solo residual. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2011.

LOZANO, F. A. E. (2006). Seleção para locais de barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica (Dissertação de Mestrado). Departamento de engenharia de estruturas e fundações, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 128p.

LUZ, A. B. & Lins, F. A. F. (2004). Introdução ao tratamento de minérios. In L Luz, A.U.; Sampaio J. A.; França, S. C. A. (Orgs). *Tratamento de Minérios*. (5ª ed., Cap. 1, pp.3-18). Rio de Janeiro, Brasil: Cetem, 867p.

MOREIRA, P. R. Manejo de solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG. 2004. 139p. Dissertação (Doutorado em Biologia)-Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2004.

MUNSHOWER, F. F. *Practical handbook of disturbed land revegetation*. New York: CRC Press, 1994. 265 p.

NIGUYEN, Q.; Borger, D. (1998, April) Application of rheology to solving tailings disposal problems. *International Journal of Mineral Process*. Adelaide, Australia, Vol. 54 (3-4), pp.217-233. doi: .org/10.1016/S0301-7516(98)00011-8

OZÓRIO, T. F. Potencial do uso da serapilheira em áreas degradadas pela mineração de ferro. 2000. 62 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

PARROTA, J. A. & KNOWLES, O. H. Restauração florestal em áreas de mineração de bauxita na Amazônia. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.de; MORAES, L.F.D.de; ENGEL, V.L. & GANDARA, F.B. (Eds.). Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais-FEPAF, Botucatu, 2003. p. 307-330.

PEREIRA, A. R. (2006). Como selecionar plantar para áreas degradadas e controle de erosão. São Paulo: Fapi.

PORTES, A.M.C. (2013); Avaliação da Disposição de Rejeitos de Minério de Ferro nas Consistências Polpa e Torta. Tese de Mestrado. Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

POTTHOFF, M.; JACKSON,L.E.; STEENWERTH, K.L.; RAMIREZ,I.; STROMBERG, M.R.; ROLSTON, D.E. Soil biological and chemical properties in restored perennial grassland in California. *Restoration Ecology*, 13 (1): 61-73, 2005.

ROCHA, L.; PERES, A. E. C. Aproveitamento econômico das lamas de ferro. *REM – Revista Escola de Minas, Ouro Preto*, v. 62, n.3, p. 291-295, jul. set. 2009.

ROKICH, D.P.; DIXON, K.W.; SIVASITHAMPARAM, K.; MENEY, K.A. Topsoil handling and storage effects on woodland restoration in Western Australia. *Restoration Ecology*, 8 (2): 196-208, 2000.

SOUZA, C.C. AMARANTE, S.C., ARAÚJO, A.C., Rejeitos Adensados para a disposição em Superfície, *Nova Tecnologia em Minério de Ferro. Tecnologia em Metalurgia e Materiais*, São Paulo, 2005. 4p.

SOUZA, Caetano Marciano. Prevenção da erosão do solo e seus efeitos. Brasília: SENAR, 2003. 67 p. 57 WILCOXON, F. Indivi.

TACEY, W. H. & GLOSSOP, B. L. Assessment of topsoil handling techniques for rehabilitation of sites mined for bauxite within the Jarrah forest of western Australia. *The Journal of Applied Ecology*, 17(1): 195-201, 1980.

VIANI, R.A.G.; NAVE, A.G.; RODRIGUES, R.R. Transference of seedlings and aloctone young individuals as ecological restoration methodology. In: Rodrigues, R.R.; Martins, S. V.; Gandolfi, S. (Eds.). *High diversity forest restoration: methods and projects in Brazil*. Nova Science Publishers, Nova York. 2006. p. 145-170.

WANG, C.; Harbottle, D.; Liu, Q.; Xu, Z. (2014, April) Current state of fine mineral tailings treatment: A critical review on theory and practice. *Mineral Engineering*. Alberta, Canada, Vol. 58, pp.113-131. doi:org/10.1016/j.mineng.2014.01.018

ZHANG, S. et al. Current situation and comprehensive utilization of iron ore tailing resources. *Journal of Mining Science*, v. 42, n.4, p. 403-408, jul. 2006.