

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço.....09/09/04.....

Ass.:.....*[Signature]*.....

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE  
UTILIZAÇÃO DE ESPÉCIES LEGUMINOSAS,  
ARBÓREAS E ARBUSTIVAS, NODULADAS  
E MICORRIZADAS, NA REVEGETAÇÃO DE  
BARRAGEM DE REJEITOS DA COMPANHIA  
MINEIRA DE METAIS, VAZANTE, MG**

Priscilla Melleiro Piagentini

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Eduardo Dias

DEDALUS - Acervo - EESC



31100047347

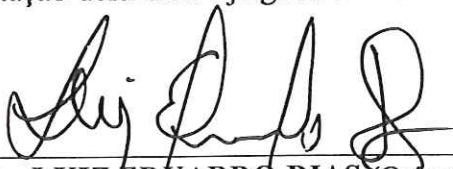


São Carlos  
2004

**FOLHA DE JULGAMENTO**

Candidata: Ecólogo **PRISCILLA MELLEIRO PIAGENTINI**

Dissertação defendida e julgada em 16-04-2004 perante a Comissão Julgadora:



---

Prof. Dr. **LUIZ EDUARDO DIAS** (Orientador)  
(Universidade Federal de Viçosa/UFV)

APROVADA



---

Profa. Tit. **MARIA DO CARMO CALIJURI**  
(Escola de Engenharia de São Carlos /USP)

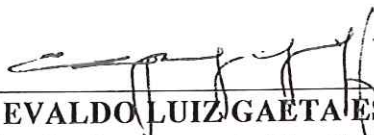
APROVADA



---

Prof. Dr. **EMERSON SILVA RIBEIRO JUNIOR**  
(Universidade Federal de Viçosa/UFV)

APROVADA



---

Prof. Associado **EVALDO LUIZ GAETA ESPINDOLA**  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação  
em Ciências da Engenharia Ambiental



---

Profa. Tit. **MARIA DO CARMO CALIJURI**  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

*Aos meus pais...*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração e finalização desta dissertação.

Em especial:

Aos meus pais por todo apoio em todos os momentos; meu irmão Marcelo, minha cunhada Flávia e meu afilhado Fernando;

Ao Joca, meu grande amor, que ficou comigo, me ajudando na finalização da dissertação e me "suportando" em determinados momentos;

Ao meu orientador, professor e amigo Prof. Dr. Luis Eduardo Dias da Universidade Federal de Viçosa; por tudo, pela chance, pela oportunidade de crescimento;

Ao Emerson S. Ribeiro Junior, da Universidade Federal de Viçosa, pela colaboração durante o plantio;

Ao Eduardo Campello, da Embrapa Agrobiologia, que esteve presente nos momentos iniciais do estudo;

À Companhia Mineira de Metais – CMM por acreditar no trabalho e por ceder a área experimental estudada, em especial ao Gerente de Geologia e Meio Ambiente Sr. Ricardo Barbosa dos Santos e ao então Gerente Geral Dr. Argemiro Inhaéz, e ainda;

Ao Sr. Ricardo Lofrano Fráguas, geólogo, amigo, presente em todos os momentos;

Ao Jair Primo e ao Luciano, pelas fotos, pelo apoio;

A equipe de campo da CMM (Batista e companhia) que me ajudaram nas medições, as cantorias, o calor, a chuva, as formigas;

Novamente ao meu irmão por também me acompanhar em uma ida ao campo;

Às minhas amigas da época da graduação na Unesp em Rio Claro: Maura, Sofia, Mariana, Roseli, Pitch, Roberta e Simone por todos os momentos. A Simone também por me acompanhar a uma saída de campo;

Ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – CRHEA, ao Prof. Evaldo e à Claudete;

À professora Maria do Carmo Calijuri, pelo apoio, pelo incentivo, pelo amor a profissão.

Enfim, agradeço a todos e, por último, mas não menos importante, à Deus, pela vida e pela família que eu tenho. Obrigada!

## SUMÁRIO

RESUMO	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>2</b>
1.1 Desenvolvimento Econômico e Conservação Ambiental	2
1.2 A Mineração	3
1.3 Objetivos	8
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>10</b>
2.1 A Especificidade da Mineração	10
2.2 Barragens de Rejeitos	16
2.3 Caracterização Física e Química do Rejeito	20
2.3.1 Características Físicas	21
2.3.2 Características Químicas	24
2.4 Revegetação de Áreas Mineradas	26
<i>2.4.1 Aplicação de Serapilheira</i>	28
<i>2.4.2 Uso de Leguminosas Noduladas e Micorrizadas</i>	30
<i>2.4.3 Exóticas e Nativas: A Polêmica na Recuperação de Áreas Degradadas</i>	36
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>42</b>
3.1. A Companhia Mineira de Metais – CMM	42
3.2 Aspectos Gerais da Área de Estudo	43
<i>3.2.1 Localização</i>	43
3.3 Aspectos Ambientais	44
<i>3.3.1 Clima</i>	44

3.3.2 Hidrografia	44
3.3.3 Geomorfologia	45
3.3.4 Geologia	45
3.3.5 Vegetação	46
3.4 Processo de beneficiamento e deposição de rejeitos	49
3.5 Metodologia	49
3.5.1 Implantação dos Experimentos	61
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>64</b>
4.1 Experimento 1	64
4.2 Experimento 2	76
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>85</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO A – Informações sobre Zinco</b>	<b>100</b>
<b>ANEXO B – Esquema dos Experimentos</b>	<b>103</b>
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>	<b>107</b>

## RESUMO

PIAGENTINI, P.M. *Avaliação do potencial de utilização de espécies leguminosas, arbóreas e arbustivas, noduladas e micorrizadas, na revegetação de barragem de rejeito da Cia Mineira de Metais, Vazante, MG. São Carlos, 2004.* Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O processo de beneficiamento do zinco, extraído em Vazante pela Companhia Mineira de Metais – CMM produz um rejeito alcalino e com baixa disponibilidade de nutrientes. Esta dissertação tem como objetivo avaliar o potencial de utilização de espécies leguminosas noduladas e micorrizadas na revegetação de barragem de rejeito da CMM. Neste sentido, foram instalados dois experimentos de campo onde foi realizado o plantio prévio de *Brachiaria sp.* O primeiro experimento foi composto por 36 tratamentos que foram formados por uma combinação de 17 espécies + 1 testemunha (ausência de plantas) na presença e na ausência de esterco de curral (2,0 L) na cova de plantio. Cada unidade experimental foi formada por 20 exemplares da mesma espécie que foram plantadas em covas abertas manualmente (25 x 25 x 25 cm) num espaçamento de 2 x 2 m. Todas as covas receberam a adubação básica formada por 125 g de superfosfato simples e 60 g de cloreto de potássio. Entre as 17 espécies avaliadas, 3 não pertencem a família *Leguminosae* e receberam, além da adubação básica, cerca de 25 g de sulfato de amônio por cobertura. O segundo experimento foi montado com o objetivo de avaliar o potencial de espécies leguminosas beneficiarem o estabelecimento e crescimento de espécies não leguminosas na revegetação da barragem de rejeito da CMM. Foram utilizadas três espécies leguminosas (*Enterolobium scomburkii*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea*) e três não leguminosas (*Lithraea brasiliensis*, *Cinnamomum glaziovii* e *Eugenia jambolana*) num esquema fatorial (3 x 3) + 1 testemunha, formando dez tratamentos distribuídos em blocos ao acaso com três repetições. Cada parcela foi formada por 20 plantas (10 leguminosas + 10 não leguminosas) plantadas em espaçamento 2 x 2 m e com a mesma adubação básica utilizada no primeiro experimento. Todas as espécies leguminosas utilizadas foram previamente inoculadas com estirpes selecionadas de bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> atmosférico e com uma mistura de fungos micorrízicos provenientes da Embrapa/Agrobiologia. Os experimentos foram avaliados quanto ao estabelecimento e crescimento de plantas (altura e diâmetro do colo) aos 4, 12 e 24 meses após o plantio. Os resultados obtidos permitem concluir que dentre as espécies avaliadas, as mais indicadas para a primeira etapa da revegetação da barragem de rejeito da CMM são: *Acacia holosericea*, *Acacia farnesiana*, *Acacia auriculiformis*, *Mimosa caesalpinifolia*, *Leucaena leucocephala*, *Mimosa birmucronata*, *Enterolobium schomburkii* e *Prosopis juliflora*. O sucesso do consórcio de espécies leguminosas e não leguminosas depende da escolha das espécies a serem combinadas, de maneira que não exista uma efetiva competição por água, nutrientes e luz que possa prejudicar as espécies de menor plasticidade. Das combinações avaliadas, as de maiores potencialidades para o programa de revegetação das barragens de rejeito da CMM são aquelas envolvendo a espécie *Lithraea brasiliensis*.

Palavras-chave: revegetação, mineração, microrganismos, leguminosas.

**ABSTRACT**

PIAGENTINI, P.M. *Potential of nodulated and mycorrhized Legumes shrubs and trees specie at the revegetation of a tailing dam of Cia Mineira de Metais at Vazante, MG. São Carlos, 2004.*  
Dissertation – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The ore milling process at Vazante by Companhia Mineira de Metais – CMM produce na alkaline and low nutrients content refuse. This work had the aim to evaluate Potential of nodulated and mycorrhized Legumes shrubs and trees specie at the revegetation of the CMM's tailing dam. Therefore, two field experiments were carried out at the tailing dam where *Brachiaria sp.* was previously seeded. The first experiment was formed by a combination of 17 specie + 1 blank (without plants) in the presence and absence of cattle manure (2.0 L) at planting pit. Each experimental unit was composed by 20 individuals of same specie which were planted in handle holes (25 x 25 x 25 cm) at 2 x 2 m lines. Each planting pit received 125 g of super phosphate and 60 g of potassium chlorate. Among the 17 specie evaluated, three are not *Leguminosae* and also received more 25 g of ammonium sulfate by surface application. The second experiment was carried out with the aim to evaluate the potential of leguminous specie to benefit the establishment and growth of non-leguminous specie at the revegetation of the refuse dam. At this experiment three leguminous specie (*Enterolobium scomburkii*, *Acacia mangium* and *Acacia holosericea*) and three non-leguminous specie (*Lithraea brasiliensis*, *Cinnamomum glaziovii* and *Eugenia jambolana*) were combined in a factorial design (3 x 3) + 1 blank, forming 10 trataments. Each experimental unit was composed by 20 plants (10 legumes + 10 non-legumes) planted and fertilized at the same way used at the first experiment. The leguminous specie were previously inoculated and mycorrhized with efficient strains of N-fixation and a mixture of mycorrhizal fungi obtained at Embrapa/Agrobiologia. The experiments were evaluated about the plants establishment and growth (height and steam diameter) at 4, 12 and 24 months after the planting time. The obtained results allowed concluding that the indicated specie, among all evaluated, to the first step of the refuse dam revegetation are: *Acacia holosericea*, *Acacia farnesiana*, *Acacia auriculiformis*, *Mimosa caesalpinifolia*, *Leucaena leucocephala*, *Mimosa birmucronata*, *Enterolobium schomburkii* and *Prosopis juliflora*. The success of the combination of leguminous and non-leguminous specie depends to the choice of the specie to avoid the effective competition by water, nutrients, and light which may damage the specie with less plasticity. Among all evaluated combinations the more potentiality one to the CMM's tailing dam revegetation are which involving *L. Brasiliensis*.

*Keywords:* revegetation, mine, microorganisms, legumes.



## 1. INTRODUÇÃO

---

## 1.2 A Mineração

A extração mineral desempenha um papel importante na economia mundial. No Brasil, a exploração mineral é uma atividade econômica bastante intensa e diversificada. SALAZAR LORENZO (1991) apontou cerca de 83 elementos minerais que já foram e ainda são objeto da indústria extrativa. De acordo com dados fornecidos pelo Centro de Tecnologia Mineral – CETEM (2001) dentre estes minerais, nióbio, ferro, tantalita, manganês, alumínio e amianto são substâncias de grande representatividade no mercado internacional.

Além de fornecer bens minerais às indústrias de transformação, a mineração contribui na geração de empregos e de divisas. Em 1995, a mineração no Brasil contribuiu com 75,3 mil empregos diretos e 3,2 milhões de empregos indiretos (CETEM, 2002). Desde 1996 vêm obtendo valores em torno de 8,2%<sup>1</sup> do PIB brasileiro (CETEM, 2001). A extração mineral brasileira vem crescendo significativamente desde 1995, principalmente devido ao aumento da produção, cujo objetivo é atender não só ao mercado interno, como também às demandas do mercado mundial. O Brasil encontra-se atualmente entre os seis países mais importantes do mundo no que se refere a exploração de minérios.

Em 2000, o valor da produção mineral no Brasil com exceção do petróleo e o gás, atingiu cerca de US\$ 3 bilhões (CETEM, 2001). A este valor, deve-se acrescentar a metalurgia, siderurgia, indústrias de cimento, indústrias de cerâmica e de fertilizantes, setores aliados à extração mineral, cujos valores ultrapassam 40% do PIB (DIAS, 2001). Ressalta-se que esta participação tende a aumentar já que existem inúmeras províncias minerárias que ainda não foram exploradas e que muitas províncias já em operação, possuem enormes áreas de reserva (DIAS, 2001). Segundo o CETEM (2002) o perfil do setor mineral brasileiro é composto por 70% de pequenas minas, 25% de minas médias e 5% de minas grandes.

A extração mineral, como qualquer outra atividade antrópica, provoca impactos ao meio ambiente. Quando pensamos em mineração, nos vêm à mente cenas de degradação de grande intensidade. Tais cenas nos impedem, muitas vezes, de enxergar a importância desta atividade como suporte à manutenção da vida, bem como as ações que os empreendedores estão desenvolvendo para minimizar e até evitar a ocorrência de impactos.

---

<sup>1</sup> 10,5% incluindo-se o petróleo e o gás natural.

O artigo 1º da Resolução CONAMA nº 01/86 dispõe sobre a conceituação de impacto ambiental.

*Art. 1º – Caracteriza-se por impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causado por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam:*

*I – a saúde, a segurança e o bem estar da população;*

*II – as atividades sociais e econômicas;*

*III – a biota;*

*IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente, e;*

*V – a qualidade dos recursos ambientais.*

O impacto ambiental pode ser positivo ou negativo (KOPEZINSKI, 1998). Considera-se impacto negativo quando as conseqüências da alteração provocam o comprometimento da qualidade dos recursos ambientais colocando em risco a integridade do ser humano.

Por outro lado, o impacto ambiental pode trazer conseqüências positivas, daí designado impacto positivo. A geração de empregos e o aumento de arrecadação para um município a partir da instalação de um empreendimento são exemplos de impacto positivo.

Esta conceituação é muito utilizada em Estudos de Impacto Ambiental - EIA, no capítulo referente à descrição dos impactos e, conseqüentemente, as medidas de mitigação apropriadas.

A partir da década de 80, as críticas em relação à atividade minerária aumentaram, principalmente no que se refere à extração em minas localizadas em regiões biologicamente sensíveis ou adjacentes a áreas urbanas (DIAS et al, 2001). No entanto, neste mesmo período, as organizações empresariais já davam os primeiros passos para a implementação de ações de controle da degradação ambiental.

Estas primeiras ações basearam-se na implementação de programas voltados a minimização e monitoramento de impactos e a incorporação, em sua política de atuação, da gestão ambiental.

OZÓRIO (2000) referiu-se ao setor mineral como um dos setores da economia brasileira que vêm assimilando a concepção de que hoje em dia não se pode mais pensar em desenvolvimento sem levar em consideração a conservação ambiental. Para o autor, esta assimilação teve maior motivação a partir do disposto no artigo 225 da Constituição Federal de 1988, referente à obrigatoriedade dos empreendimentos minerários recuperarem as áreas degradadas.

*Art. 225 – Todos tem direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.*

*(...)*

*§2º – Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma de lei.*

Além do artigo 225 da Constituição Federal, o artigo 1º do Decreto nº 97.632/89 dispõe sobre a apresentação do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD (CASTRO, 1998).

*Art. 1º – Os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais, quando da apresentação do estudo de Impacto Ambiental – EIA e do Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, devem submeter à aprovação do órgão ambiental competente o plano de recuperação de área degradada.*

BALENSIEFER (1998) apud SIMÃO JUNIOR (2001) ressaltou que a iniciativa para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à Recuperação de Áreas Degradadas - RAD no Brasil pertence à atividade minerária, sendo sua contribuição correspondente a 31%. Dentre os inúmeros exemplos destaca-se a Alcoa, em Poços de Caldas, que iniciou suas pesquisas em RAD em meados da década de 80 (DIAS, 1985 apud CETEM, 2001).

De acordo com o CETEM (2002), a prática de recuperação de áreas degradadas teve seus primeiros trabalhos realizados em meados da década de 70, consistindo, fundamentalmente, na recomposição estética e paisagística da cobertura vegetal. Segundo a mesma fonte, o DNPM, em 1977, coordenou o desenvolvimento de atividades de recuperação no Quadrilátero Ferrífero (MG), área intensamente impactada pela extração de ferro.

GRIFFITH & TOY (2001) abordando os trabalhos envolvendo recuperação de áreas degradadas nas minas de ferro em Minas Gerais, classificaram, de acordo com HOFFMAN (1997), a evolução da história da atividade mineraria brasileira em relação aos avanços na área ambiental, em quatro estágios, conforme Tabela a seguir:

**TABELA 1.1. Evolução da História da Atividade Mineraria Brasileira em Relação aos Avanços na Área Ambiental**

ESTÁGIOS	CONSIDERAÇÕES
Negligência à Questão Ambiental (de 1934 a 1977)	Neste estágio o foco dos administradores era a produção, sendo a questão ambiental, na maioria das vezes, negligenciada.
Ambientalismo Industrial (de 1977 a 1988)	As empresas iniciam ações mitigadoras devido principalmente, às pressões sociais que começam a questionar a relação entre degradação ambiental e qualidade de vida. Trabalhos envolvendo revegetação de áreas degradadas são iniciados, porém, seguindo a abordagem do "tapete verde" – recobrimento em curto prazo, muitas vezes não considerando os conceitos de sustentabilidade.
Ambientalismo Legal (de 1988 a 1999)	As leis, regulamentos e decretos reforçam a necessidade em se recuperar áreas degradadas. Eventos como simpósios e congressos impulsionam e motivam as minerações a se engajarem nos projetos ambientais. As empresas passam a investir mais recursos em trabalhos envolvendo recuperação ambiental. Novas técnicas de revegetação são adotadas como o armazenamento de "top soil", seleção de espécies, combate a pragas e doenças e monitoramento contínuo.
Ambientalismo Estratégico (a partir de 1999)	Este estágio é marcado pela certificação da 1ª empresa de mineração em qualidade ambiental (ISO 14001) contribuindo para o engajamento das demais empresas a esta questão uma vez que o mercado torna-se cada vez mais competitivo. As empresas certificadas devem possuir uma política ambiental e um sistema de gerenciamento que considere a proteção do meio ambiente. A inserção de novos atores também é marcante. A certificação exige da empresa responsabilidade social fazendo com que a comunidade esteja mais envolvida com as ações em desenvolvimento. Parcerias entre empresas e universidades, instituições de ensino e pesquisa visando o aprimoramento de ações e projetos.

Adaptado de Hoffman (1997) apud Griffith & Toy (2001).

A mineração tem importância decisiva para o desenvolvimento. O minério extraído da natureza encontra-se em quase todos os produtos acabados utilizados (SOUZA, 2000).

Sob esta ótica é importante que o ser humano procure conhecer os benefícios da extração mineral e o que as entidades empresariais estão fazendo em prol da conservação ambiental, pois assim poderão avaliar, de um modo mais racional e imparcial sobre seus objetivos e o quanto depende dela e de outras atividades industriais para que sua qualidade de vida seja satisfatória.

Nosso dia-a-dia está intimamente ligado aos produtos de origem mineral. Segundo DAMASCENO (1998) “desde a simples pasta dental, que contém quartzo, até as inúmeras partes de nossas moradias”, sem falar nos automóveis, utensílios domésticos, aparelhos eletrônicos, brinquedos, enfim uma infinidade de produtos, são produzidos a partir da matéria prima mineral.

Esta argumentação não é uma defesa à atuação das mineradoras, pois certamente muitas delas ainda ignoram a questão ambiental, entretanto, é um alerta para que não sejamos injustos ou contraditórios em nossos questionamentos, já que estamos cientes da existência de uma interdependência entre a mineração e as necessidades humanas. Por este motivo, o trabalho de especialistas da área ambiental deve estar centrado em procurar soluções que assegurem o desenvolvimento industrial perfeitamente sincronizado à conservação e a exploração adequada dos recursos naturais através da criação e execução de projetos que tenham o objetivo maior de minimizar e prevenir impactos ambientais negativos. Este objetivo pode ser alcançado, por exemplo, por meio da implementação de ações que visem a recuperação de ambientes degradados e, que por sua vez, contribuam para que a relação entre o desenvolvimento e a proteção ambiental seja equilibrada.

A solução para esta problemática não está em fechar as portas de indústrias. Consiste, basicamente, na criação e implementação nas empresas, de sistemas gerenciamto nos quais as questões ambientais possam adquirir importância igualitária às demais questões.

As pesquisas envolvendo a revegetação de barragens de rejeito vêm se aprimorando com o tempo. Pelo fato da atividade mineral apresentar especificidades, o que pode ser empregado numa região, muitas vezes não pode ser contemplado em outra. Não existe uma “receita” para a revegetação de áreas mineradas. Os estudos iniciam-se, na maioria dos casos, por meio de

experimentos. Este estudo apresentará uma metodologia para a revegetação de áreas mineradas que vem apresentando bons resultados. O método aqui apresentado refere-se a utilização de microrganismos do próprio solo associados a espécies leguminosas.

A utilização de espécies leguminosas em associação com microrganismos benéficos tem sido utilizada na recuperação de áreas em avançados processos erosivos, como as voçorocas, encostas com risco de deslizamento e áreas de mineração.

A técnica possibilita que sejam criadas mudas de plantas mais resistentes ao solo. Para recuperar essas áreas, os especialistas potencializaram uma associação natural já existente entre bactérias e leguminosas. Este estudo apresentará um estudo de caso onde foram utilizadas espécies leguminosas associadas a fungos e bactérias visando uma otimização na recuperação de áreas degradadas pela mineração.

### **1.3 Objetivos**

O objetivo geral desta dissertação é avaliar o potencial de utilização de espécies leguminosas noduladas e micorrizadas na revegetação de barragem de rejeitos da empresa de extração mineral Cia Mineira de Metais – CMM, como programa de gestão ambiental experimental, para minimização de impactos e recuperação de áreas degradadas.

Os objetivos específicos desta dissertação são:

- ❖ Iniciar processo de revegetação da barragem de rejeitos provenientes do beneficiamento de zinco (área experimental);
- ❖ Selecionar espécies que se mostrem mais adaptadas ao clima e ao substrato;  
e,
- ❖ Analisar os efeitos da adição de esterco bovino curtido sobre a produção de biomassa das espécies avaliadas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A Especificidade da Mineração

Alguns autores apontam distinções entre a atividade minerária e as outras atividades industriais também consideradas poluidoras. SANCHEZ (1987) discutiu esta questão de forma bastante didática. A atividade minerária difere das outras atividades consideradas poluidoras, por possuir características específicas relacionadas não só ao seu produto, como também às características da área em que estão inseridos. Inicialmente, a singularidade.

#### ⇒ *Singularidade*

Conforme argumentou SANCHEZ (1987) um estudo de identificação e avaliação de impactos ambientais, um plano de recuperação de áreas degradadas ou até mesmo o monitoramento de impactos são específicos a cada mineração devido às características singulares do minério explotado, o tipo de jazida, as formas de disposição do rejeito e do estéril, além das características climáticas e edáficas próprias do local onde se encontra a jazida<sup>2</sup>.

#### ⇒ *Dinâmica do Projeto*

Uma segunda característica da atividade minerária que a faz diferir das outras atividades é a dinâmica do projeto. De acordo com SANCHEZ (1987) "... a vida de uma mina é um percurso de incertezas...", isto, pois além de não se conhecer totalmente a jazida, existem questões externas tais como a rentabilidade e custos de produção que estão sempre oscilando e, que podem interferir no andamento dos trabalhos.

---

<sup>2</sup> Entende-se por jazida a concentração local de um ou mais minerais, cuja exploração tenha interesse econômico (DIAS, 2001).

### ☉ *Rigidez Locacional da Jazida*

A terceira característica que demonstra a especificidade da mineração é a rigidez locacional da jazida. Quando se faz uma avaliação prévia dos impactos ambientais que um empreendimento pode causar numa determinada área, os técnicos responsáveis poderão oferecer alternativas locais para a instalação com a finalidade de minimizar a ocorrência de impactos negativos. No entanto, no caso de empreendimentos minerários, o oferecimento de alternativas locais é praticamente impossível já que não se pode mudar uma jazida de lugar. Todavia, são permitidas alterações marginais, quais sejam, modificações no "... traçado de uma pista de deposição de estéréis, a localização das instalações de tratamento..." (SANCHEZ, 1987), além de estradas de acesso, posicionamento das pilhas de estéril e rejeito, localização da área industrial, que podem ser empregadas visando à minimização de impactos negativos.

A especificidade do setor mineral e sua complexidade quando relacionada às questões ambientais denota a importância da atuação do próprio setor na definição de uma política ambiental que considere suas próprias peculiaridades.

Pelo fato das ocorrências minerais não obedecerem aos critérios do homem, cabe a ele decidir apenas se vai ou não explorá-las (SOUZA, 2000). Nestes casos torna-se fundamental a escolha adequada do plano de lavra e a adoção de medidas de mitigação dos impactos negativos.

Considera-se a especificidade da atividade minerária por várias razões. Esta especificidade requer maiores cuidados durante a elaboração do relatório referente à Avaliação de Impactos Ambientais – AIA (SANCHEZ, 1987) já que o que se prevê inicialmente pode ser modificado naturalmente com o passar do tempo. Além disso, as especificidades de uma mina podem melhorar o gerenciamento ambiental da empresa, pois devido à dinâmica da atividade minerária, muitos impactos ora não previstos justamente por naquele dado momento não existirem, podem vir a ocorrer e com a implementação de um monitoramento, as chances de se minimizar e até evitar a ocorrência destes impactos é maior, otimizando o trabalho ambiental desenvolvido pela empresa.

Em razão de a legislação ambiental apresentar-se mais exigente nos últimos anos, promovendo uma fiscalização mais rigorosa por parte dos órgãos ambientais estaduais e federais ou mesmo pela consciência gradualmente obtida em relação à

importância do "gerenciamento ambiental", diversas empresas de mineração vêm apresentando um diferencial antes ignorado.

Algumas mineradoras vêm introduzindo, em seu quadro de funcionários, estruturas organizacionais com a função de tratar as questões ambientais decorrentes de suas atividades. Segundo PARIZOTTO (1995) há algum tempo atrás, as questões ambientais nas empresas eram muitas vezes ignoradas ou quando lembradas a atenção despendida era mínima. De uns anos pra cá, a questão ambiental foi se fortalecendo e atualmente vem se tornando variável significativa. Está em pauta como os assuntos relativos à atualização tecnológica, a diversificação de produtos, a produtividade, o mercado interno e externo, dentre outros.

Acredita-se que esta forma de gerenciamento, que coloca em prática diretrizes ambientais conservacionistas e, que por sua vez, compõem o Sistema de Gestão Ambiental – SGA de uma empresa é fundamental para garantir a permanência e a competitividade das mineradoras no mercado nacional e internacional. Vale a ressalva de que a implementação de um SGA constitui uma das etapas de qualificação para a obtenção da Certificação Ambiental – ISO 14000 que, atualmente, tem sido prioridade em grande parte das empresas de mineração. De acordo com o CETEM (2002), até o ano 2001, pelo menos 13 empresas do setor mineral brasileiro obtiveram esta certificação.

Por estes e outros motivos é que pelo menos as grandes empresas de mineração já possuem, ou estão em vias de possuir, uma forma de gerenciamento ambiental mais efetivo, onde uma equipe de profissionais capacitados tem como função básica manter a conformidade das atividades desenvolvidas procurando ao máximo evitar ou minimizar os possíveis impactos negativos que possam surgir, além de disseminar a política ambiental para todos os funcionários da empresa e comunidade adjacente.

Porém, é importante ressaltar que a empresa como um todo, deve estar engajada nas premissas e ações correspondentes ao gerenciamento ambiental. DIAS (2001) salientou sobre a necessidade de se integrar todos os departamentos da empresa para que a prevenção e a minimização de impactos seja trabalhada desde o início do processo já que na ausência deste comportamento, muitos erros já foram observados.

Dada à especificidade de cada mineração, cada empreendimento possui seu modo de gerenciar os recursos ambientais e conseqüentemente sua política

ambiental. Não há um modelo de gerenciamento que deve ser seguido por todas as minerações e sim uma adequação às especificidades de cada área minerada. Porém, na literatura, existem vários conceitos que definem, de um modo geral, não peculiar, o que vem a ser o gerenciamento ambiental. Destacam-se quatro definições citadas no artigo de PARIZOTTO (1995).

*"Gerenciamento ambiental é a capacidade de colocar em prática as diretrizes de proteção, conservação e melhoria do meio ambiente, por meio de atitudes e medidas concretas, buscando sempre transmiti-las e compartilha-las com a comunidade"* (Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM, 1992).

*"Gerenciamento ambiental são aqueles aspectos da prática gerencial global incluindo planejamento que determinam e implementam a política ambiental da companhia"* (BRITISH STANDARDS INSTITUTIONS – BSI, 1992).

*"Gerenciamento ambiental é a parte do sistema global de gestão que inclui a estrutura funcional, responsabilidades práticas, processos, procedimentos e recursos para a definição e realização da política de meio ambiente da companhia"* (COMUNIDADE ECONÔMICA EUROPÉIA – CEE, 1993).

*"Gerenciamento ambiental são as partes de toda a função gerencial de uma organização que desenvolvem, implementam, obtém, analisam e mantêm a política ambiental"* (ISO, 1994).

O gerenciamento ambiental implementado numa empresa também pode diferir, por outras razões que não as já comentadas, em relação ao engajamento de cada mineração. Esta distinção pode depender do grau de envolvimento da empresa com as questões ambientais (PARIZOTTO, 1996). Para o autor "as empresas podem estar na fase de percepção, de compromisso ou de ação".

No entanto, saliente-se, que as empresas podem estar na fase de percepção para um determinado passivo enquanto o monitoramento de um outro passivo (ação) já está sendo realizado.

A maioria das empresas está ciente de seus passivos ambientais, porém algumas delas tardam a iniciar projetos para preveni-los, evitá-los ou minimizá-los. Tais empresas são denominadas passivas, ou seja, aquelas minerações, geralmente pequenas, que não demonstram comprometimento com a questão

ambiental. As empresas designadas reativas esperam o órgão ambiental intervir para aí tomarem providências. Em contrapartida, existem empresas, denominadas ativas, que certamente possuem uma política ambiental e que estão trabalhando em prol da conservação do meio ambiente. Ressalta-se que esta classificação não foi observada em literatura, mas adquirida em aula<sup>3</sup>.

Há diferenças na atuação das pequenas e grandes minerações?

Geralmente, grandes minerações, disponibilizam maior volume de recursos em investimentos na área ambiental, mesmo porque têm sido alvo freqüente da fiscalização. Já as minerações de menor porte, numerosas, geralmente passam despercebidas pela fiscalização além de não destinarem parcelas de seus recursos para a execução de projetos, muitas vezes não priorizados. No entanto, é interessante comentar que muitas vezes o custo destes projetos são elevados porque são corretivos e não preventivos.

REZENDE et al (1998) avaliaram o comportamento das empresas brasileiras (de todos os setores) em relação à criação e execução de um SGA. Eles observaram que nas grandes empresas, o foco das práticas desenvolvidas destinava-se ao controle ambiental (redução de emissão de gases e materiais particulados, recuperação de áreas degradadas, monitoramento de água...). Em se tratando de micro empresas, os autores verificaram que os procedimentos adotados estavam associados, em sua maioria, à redução de matéria prima por produto.

De acordo com o CETEM (2002) os passivos ambientais mais expressivos nas pequenas e médias minerações decorrem da falta de conhecimento técnico, capacitação financeira e apoio oficial; e em menor intensidade, da ausência de conscientização ou a má vontade para a adequação à nova realidade ambiental.

De modo geral, as empresas de mineração podem se adequar às normas ambientais. Para BARRETO (2001), o fato de a mineração representar uso temporário da terra, possuir caráter espacial restrito, facilidade de fiscalização e, principalmente, em razão das tecnologias hoje disponíveis e das normas legais a que está submetida, a atividade é considerada como um dos setores com melhores possibilidades de harmonizar-se com a proteção do meio ambiente (CETEM, 2002).

---

<sup>3</sup> É bom definir o termo passivo ambiental já que este é um conceito muito pronunciado entre os profissionais ligados a esta área de trabalho. Segundo JACOMETO (2001) apud CETEM (2001) passivo ambiental é "o conjunto de dívidas reais ou potenciais que o homem, a empresa ou a propriedade possui em relação à natureza por estar em desconformidade com a legislação ou procedimentos propostos". Em outras palavras, a investigação de um passivo ambiental é uma atribuição do gerenciamento ambiental e está relacionado ao conjunto de atividades voltadas à identificação e avaliação de todos os problemas ambientais existentes no empreendimento. Como ilustração, as áreas degradadas, foco principal desta dissertação. O passivo ambiental "área degradada" ocorre devido à abertura de lavras para exploração e, também, para disposição de resíduos como o estéril e o rejeito. Tais áreas devem, por lei, ser recuperadas.

Em um estudo de caso realizado nas Américas, HILSON (2000) avaliou e quantificou a situação das mineradoras e a preocupação dos empreendedores em relação ao acompanhamento das atividades que causam degradação ao ambiente e, verificou que poucas são as minerações que já estabeleceram um SGA, fato que contribui para a geração da degradação ambiental.

Entretanto, no Brasil, REZENDE et al (1998) identificaram que cerca de 85% das empresas, de um modo geral, já adotam alguma prática de gerenciamento ambiental. A Companhia Vale do Rio Doce - CVRD é um dos exemplos que podem ser citados sobre empresas que estão engajadas com esta questão. De acordo com os dados do CETEM (2001) em 2000, a CVRD investiu cerca de US\$ 28,5 milhões de dólares em tecnologia para controle ambiental, US\$ 2 milhões de dólares em ações voluntárias relacionadas à implantação de programas educacionais para a comunidade e US\$ 960 mil dólares em compromissos variados voltados à questão de conservação ambiental.

A implementação de uma política ambiental e, por conseguinte, sua gestão não é tarefa fácil de ser conduzida. Esta mudança de atitude obviamente inclui gastos e mobilização de pessoal, mas o ponto crucial que deve ser considerado, é o comportamento dos funcionários, especialmente, aqueles que detém o poder de decisão, ante as atividades que serão desenvolvidas e implementadas.

Muitos empreendedores ainda acreditam poder solucionar questões, como a recuperação de áreas degradadas, através da adoção de medidas de curto prazo, quando, por exemplo, priorizam a recuperação da degradação visual e estética, que certamente não deixa de ter sua relevância, para numa etapa posterior agir, e quando agir, na recuperação do funcionamento do ecossistema, que deveria constituir o objetivo principal. Grande parte das empresas encara o problema como se fosse possível desenrolar um "tapete verde" sobre os locais degradados e deixam isso como solução definitiva.

Este enfoque deixa de lado aspectos ecológicos fundamentais como a biodiversidade e a sustentabilidade dos plantios. Assim sendo, geram-se situações tais como a necessidade de freqüentes fertilizações, a suscetibilidade dos monocultivos à destruição de pragas e do fogo, à erosão devido às falhas no tapete, o empobrecimento visual e a frustração geral dos administradores da empresa. Por esta razão, é fundamental que os empreendedores se atenham, de alguma maneira, às teorias e práticas ecológicas, para que consigam entender que

a recuperação de ecossistemas degradados apresentará resultados, mas na maioria das vezes, em longo prazo.

As atribuições que compõem o gerenciamento ambiental variam de acordo com o tipo de minério explotado, tipo de lavra (céu aberto ou subterrânea), disposição do rejeito, disposição do estéril dentre outros aspectos próprios de cada mineração. Mas, de um modo geral, as atribuições itemizadas abaixo devem fazer parte do gerenciamento de toda e qualquer empresa de mineração:

- ❖ Avaliação dos Impactos Ambientais – AIA;
- ❖ Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD;
- ❖ Monitoramento ambiental (recursos hídricos, solo,...);
- ❖ Auditoria ambiental (interna e externa);
- ❖ Análise de riscos ambientais;
- ❖ Investigação de passivo ambiental; e,
- ❖ Seguro ambiental.

Dentre as atribuições citadas, este estudo dará ênfase à questão da recuperação de barragens de rejeito de uma mineração de zinco. A metodologia e a descrição da área de estudo serão abordadas mais adiante.

## 2.2 Barragens de Rejeitos

As barragens de rejeitos são desenvolvidas para comportar resíduos industriais. Na mineração estes resíduos recebem o nome de rejeito. Existe um outro tipo de resíduo, também proveniente da atividade minerária denominado estéril que, no entanto, é armazenado em pilhas devido suas características granulométricas e sua forma sólida. O rejeito também pode ser armazenado em pilhas, mas em muitos casos, quando pastosos ou líquidos o armazenamento é feito em barragens<sup>4</sup>.

De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM (1979) a polpa, produzida pelo processo de beneficiamento, normalmente é conduzida à uma bacia de acumulação confinada por uma barragem, onde os sólidos se sedimentam e as águas são clarificadas.

Os processos de beneficiamento variam conforme o minério explotado e o tratamento utilizado e dividem-se basicamente em lavagem, britagem, moagem,

---

<sup>4</sup> Estéril: material (solo, subsolo e rocha) não aproveitável economicamente, que ocorre em camadas ou como corpos irregulares, cobrindo ou intimamente ligado ao minério. Em inglês: "overburden". Rejeito: substância sem valor econômico, separada do minério por processos de beneficiamento. Pode estar na forma de fragmentos ou partículas secas, ou em via aquosa. Em inglês: "tailing" (IBAMA, 1990).

peneiramento e flotação<sup>5</sup>. O beneficiamento produz diferentes tipos de resíduos que são dispostos em tanques ou lagoas construídos para esta finalidade.

Durante as décadas de 50 e 60 os materiais considerados rejeitos eram dispostos em qualquer lugar. De acordo com o DNPM (1986) só a partir da década de 70 que os barramentos começaram a ser construídos com o intuito de se conservar a natureza e assim respeitar a legislação ambiental. No entanto, a tecnologia utilizada na construção destas barragens não era bem estudada, as empresas não possuíam projetos como aqueles desenvolvidos para as grandes hidrelétricas e, desta forma, eram construídas de qualquer maneira, sempre se pensando em custo mínimo e, por isso, muitas vezes o próprio rejeito era utilizado como material de construção.

A deposição de rejeitos, quando realizada inadequadamente, pode causar impactos negativos ao ambiente, dentre os quais, destaca-se, o comprometimento da qualidade dos recursos naturais, já que estes componentes encontram-se integrados, além de impactos diretos à sociedade, tais como risco de acidentes para os funcionários e propriedades vizinhas, valores estéticos e lazer.

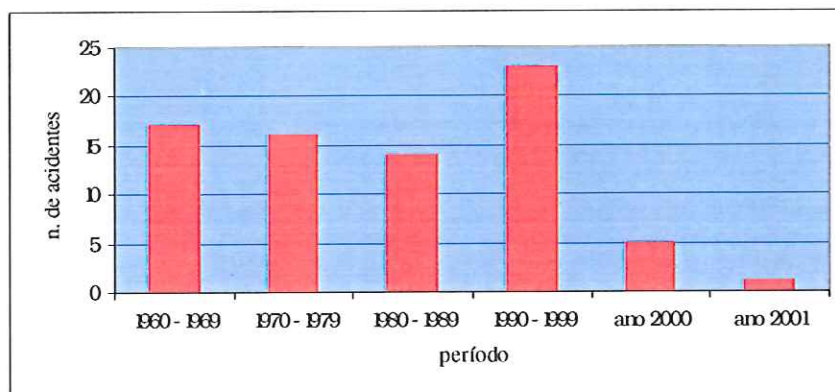
O DNPM (1986) relatou casos de acidentes que ocorreram entre 1965 e 1972 por rupturas de barragens de rejeito e que motivaram uma mobilização mundial para a procura de meios que unissem segurança e custo mínimo. Foi então promovido um encontro nos Estados Unidos, em 1973, denominado "1<sup>st</sup> International Congress Tailing Symposium" com a participação de 21 países. Uma alternativa encontrada, e atualmente bastante difundida, foi adequar a tecnologia utilizada na construção de barragens de hidrelétricas.

Mesmo assim, sucessivos acidentes relacionados às barragens de rejeito continuaram ocorrendo. De 1960 aos dias atuais foram registrados 76 acidentes envolvendo barragens no mundo.

---

<sup>5</sup> O termo flotação, segundo o dicionário AURÉLIO ([www.uol.com.br/aurelio](http://www.uol.com.br/aurelio)) é "o processo químico de separação das partículas mediante a formação de uma espuma que arrasta as partículas de uma espécie, mas não de outra". Em outras palavras, é um processo químico que separa o minério "puro" do material sem valor econômico.





Fonte: CETEM, 2001

**FIGURA 2.1. Número de Acidentes Envolvendo Barragens de Rejeito, no Brasil e no Mundo, entre 1960 e 2001.**

A Figura 2.1 mostra que apesar da mobilização mundial, os acidentes com barragens continuaram, marcadamente na década de 90, onde foram registrados 23 acidentes. Ressalta-se que deste total, 6 ocorreram na Flórida, EUA, onde somente no ano de 2000, foram registrados 5 acidentes. Considerando que os 23 acidentes ocorreram num período de 10 anos (equivalendo a 2,3 acidentes/ano), conclui-se que o ano 2000 apresentou maior taxa de acidentes envolvendo barragens de rejeito.

O Brasil foi marcado pela triste ocorrência de dois acidentes durante o período analisado. O primeiro aconteceu em 1986 em Itabirito, MG onde cerca de 100.000 toneladas de rejeito de ferro foram espalhadas a partir do rompimento da barragem. O outro, mais atual, ocorreu em junho de 2001 no município de Nova Lima, MG na mineração Rio Verde, onde devido ao rompimento da barragem, grandes quantidades de rejeito, também de ferro, contaminaram corpos d'água e florestas adjacentes. O acidente afetou uma área de 30 hectares. Mais recentemente, em 2003, no estado de Minas Gerais, o reservatório de resíduos químicos usados na produção de celulose da Indústria Cataguases de Papel e Celulose, se rompeu causando o derrame de milhões de litros de produtos altamente tóxicos, atingindo as bacias dos rios Pomba e Paraíba do Sul, comprometendo e suspendendo o abastecimento em cidades de Minas Gerais e do Rio de Janeiro.

É interessante que os países que mais ameaçaram a integridade dos recursos ambientais e também do ser humano foram países considerados desenvolvidos, tais como os EUA, que durante a década de 70, quando foram

registrados 16 acidentes envolvendo barragens, eles foram responsáveis pela metade e o Reino Unido que durante a década de 60, dos 17 acidentes registrados, 5 ocorreram em seu território<sup>6</sup>.

Atualmente, a consolidação da legislação ambiental e a fiscalização exercida pelos órgãos responsáveis, contribuem para que os empreendimentos incrementem a tecnologia empregada na construção destas barragens para que além de eficientes estas possam garantir uma diminuição na área de influência de degradação do ambiente.

Grande parte das empresas de mineração vem enfrentando um novo desafio. Dada à obrigatoriedade em recuperar áreas degradadas, consoante ao disposto no parágrafo 2º do artigo 225 da Constituição Federal de 1988, e, também, pela pressão dos órgãos de fiscalização, as mineradoras buscam desenvolver tecnologias para a disposição de rejeitos, e projetos relacionados à recuperação de áreas degradadas.

A barragem de rejeitos possui vida útil variável, que depende do tamanho da bacia de acumulação, como também da possibilidade de execução de obras como alteamentos. Quando a capacidade de acumulação da barragem chega ao limite, o rejeito deve possuir outro destino, previamente estudado, e a área exaurida deve, segundo a legislação ambiental vigente, ser recuperada.

A especificidade da mineração influencia diretamente os trabalhos de RAD, que nunca são semelhantes, pois o que pode ser implementado num local pode ser inviável em outro. Essa especificidade ocorre em decorrência de vários fatores que vão desde as características climáticas e edáficas de cada região como a constituição do rejeito, que é variável (GISLER, 1995) já que cada mineração utiliza uma metodologia correspondente ao tipo de minério extraído. Essas diferenças acabam influenciando e distinguindo as técnicas de recuperação.

Além disso, FRANCO et al (1996) relacionaram o rejeito oriundo da lavagem de bauxita na Mineração Rio do Norte à capacidade de estabelecimento de espécies vegetais. Para os autores, aquele rejeito “caracteriza-se como um material cuja constituição não favorece o crescimento das plantas” especialmente pela falta de matéria orgânica.

Com o objetivo de avaliar os processos de revegetação de uma barragem de rejeitos com elevado teor de pirita (sulfeto de ferro), O’NEILL et al (1998) observaram que os rejeitos apresentaram elevada concentração de metais

---

<sup>6</sup> Fonte: [www.antenna.nl/wise/uranium/mdaf.html](http://www.antenna.nl/wise/uranium/mdaf.html)

comprometendo o estabelecimento de plantas. No entanto, os autores constataram que tal condição não impediu o sucesso da revegetação.

Um outro obstáculo a revegetação de barragens de rejeitos com grande concentração de sais solúveis é o elevado valor de condutividade elétrica que afeta diretamente a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas raízes das espécies utilizadas na revegetação.

Alguns processos de beneficiamento utilizam-se da técnica de acidificação ou de alcalinização para a purificação do minério, tornando o material armazenado muito ácido ou alcalino para o crescimento dos vegetais. ABRAHÃO & MELLO (1998) ressaltaram que o tratamento químico realizado durante o beneficiamento do minério pode deixar resíduos no rejeito, comprometendo as condições de pH, condutividade elétrica e a capacidade de reação com compostos intermediários, interferindo na atividade biológica do ambiente. A relação entre os fatores físicos e químicos com a disponibilidade nutricional será abordada no item 2.3.

De uns anos pra cá, devido à inexperiência e aos “fracassos” obtidos em grande parte dos resultados relacionados aos trabalhos de RAD em minerações, muitos empreendimentos vêm buscando o auxílio de instituições públicas como universidades e centros de pesquisa, para que juntos, numa parceria, possam desenvolver a melhor técnica de recuperação, cujo objetivo não seja apenas o de recobrir a área de verde novamente e sim buscar a sustentabilidade do ambiente. Nesta parceria tanto empresa como universidade lucram, pois de um lado a empresa obtém a tecnologia de que precisa por um custo relativamente acessível enquanto que a universidade pode colocar em prática suas teorias, uma vez que “a grande responsabilidade está antes de tudo nas mãos dos que lidam com tecnologias e nas dos que as utilizam, isto é, a ciência de um lado e as organizações empresariais do outro” (WEIL, 1993 apud SIMÃO JUNIOR, 2001).

### **2.3 Caracterização Física e Química do Rejeito**

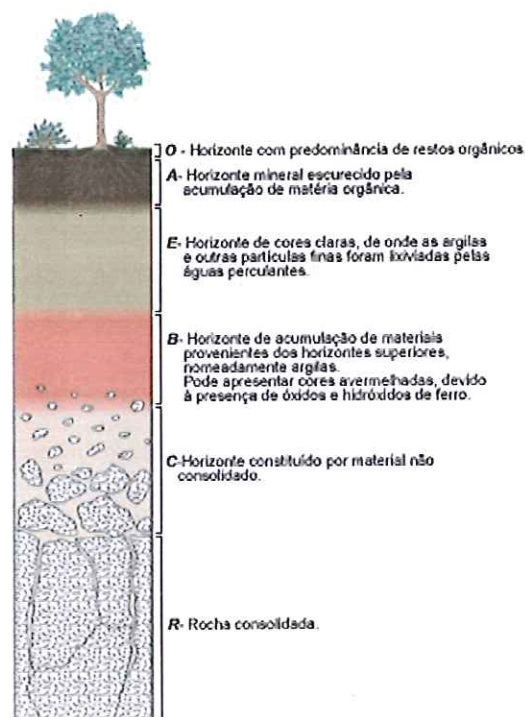
Considera-se fundamental analisar as propriedades do substrato através da avaliação da sua caracterização física e química previamente ao início da revegetação.

Geralmente, em áreas degradadas pela mineração, a revegetação é realizada sobre o substrato, já que a camada superficial do solo (*topsoil*) foi retirada. DIAS (1998), diferencia o termo substrato de solo. De acordo com o autor

o conceito de solo pode ser encontrado em inúmeras bibliografias e, para ele, é interessante notar que as definições variam conforme a formação do profissional.

Basicamente, o solo se forma pelo intemperismo de sua rocha matriz está dividido em camadas (ou horizontes), e possui um horizonte superficial que contém matéria orgânica e que está intrinsecamente relacionado à biota. Estas características mencionadas acima são, segundo DIAS (1998) os fatores que diferem um solo de um substrato<sup>7</sup>.

O processo de amostragem do substrato é de extrema importância para o sucesso da caracterização devido a grande variabilidade de parâmetros físico-químicos que podem ser observados.



**FIGURA 2.2. Horizontes Formadores do Solo**

DIAS (1998) ressalta que quanto maior a variabilidade das características, físicas e químicas do rejeito, mais crítico será o processo de amostragem.

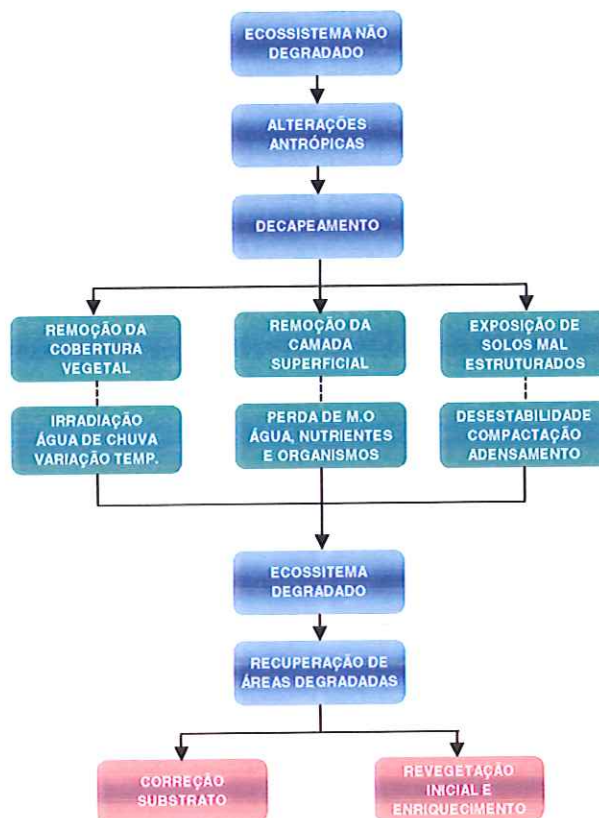
São abordadas a seguir, sumariamente, as relações entre as características físicas e químicas de substratos e a disponibilidade de nutrientes na revegetação de barragens de rejeito.

### 2.3.1 Características Físicas

Determinadas características físicas devem ser previamente analisadas com a finalidade de se escolher as espécies mais aptas às condições locais. A cobertura vegetal exerce inúmeras funções, entre as quais, a proteção do solo que previne a ocorrência de erosão e garante a infiltração da água (LOCH, 2000), colaboração na decomposição das raízes das plantas e otimização da estrutura do solo por meio da

<sup>7</sup> Fonte: [www.dct.uminho.pt](http://www.dct.uminho.pt)

adição de matéria orgânica (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999). A remoção da cobertura vegetal aliada à retirada da camada superficial do solo expõe solos menos estruturados e ausentes de material orgânico, contribuindo para o adensamento e compactação do solo (Figura 2.3).



**FIGURA 2.3. Etapas decorrentes da Degradação do Ecossistema pelo Decapeamento**

DIAS (1998) difere o adensamento da compactação. Para o autor, o adensamento ocorre por processos de eluviação em áreas sem horizonte superficial, isto é, na medida em que ocorre a exposição do material com pouca matéria orgânica e, por conseguinte, baixo nível de estruturação, a agregação dos materiais é prejudicada. Com a exposição deste material às gotas de chuva ou a radiação solar direta, a resistência destes agregados é menor, aumentando a desestruturação. As partículas argilosas eluviam (descem) ao longo do perfil, deixando apenas a areia, iniciando o processo de adensamento do substrato.

A compactação decorre de um ato de compressão física, como por exemplo, a passagem freqüente de máquinas pesadas. Os solos compactados diminuem a permeabilidade, a aeração e a difusão de gases e nutrientes, diminuindo a

capacidade da planta em absorver nutrientes, notadamente aqueles que se movimentam por difusão como fósforo e zinco, por exemplo.

A porosidade é um fator físico que merece atenção, pois afeta diretamente a movimentação de gases e de água no substrato, e por conseqüência, o crescimento de plantas. BERTONI & LOMBARDI NETO (1999) definem porosidade como "a proporção de espaços ocupados pelos líquidos e gases em relação ao espaço ocupado pela massa de solo". Em áreas mineradas, onde o material removido é disposto desuniformemente, a probabilidade de preenchimento de espaços livres por pequenas partículas é maior impedindo a movimentação de água e ar.

Da mesma maneira, o desenvolvimento do solo depende da textura dos materiais componentes, ou seja, a distribuição quantitativa das classes de tamanho de partículas de que compõem o solo. Para COELHO, 1973, a textura é a propriedade física do solo mais importante, pois se relaciona com as demais propriedades. A textura do solo influencia na capacidade de retenção, infiltração e percolação de água e aeração e pode afetar a capacidade de retenção de nutrientes.

Um substrato mais argiloso, de granulometria entre 0 e 0,002 mm é mais suscetível à compactação, pois a agregação com outras partículas deixa poucos espaços para a passagem de água e de ar, diferentemente de solos mais arenosos. Os solos mais argilosos, sob condições de déficit hídrico, tornam-se compactos, dificultando a penetração de raízes (DIAS, 1998). Em condições áridas, em longo prazo, a taxa de sobrevivência depende da escolha adequada de espécies que sejam tolerantes a ambientes sob estresse hídrico, que são, geralmente, aquelas que possuem sistemas radiculares mais profundos (BRADSHAW, 1997).

A associação entre os fatores: ausência de matéria orgânica e granulometria pode gerar a diminuição da capacidade de retenção de água, fragilizando o ambiente.

A estrutura do solo é uma propriedade física intimamente ligada à degradação, já que considera a forma como as partículas se arranjam no solo. As substâncias agregantes tais como a matéria orgânica, os óxidos e os minerais silicatados da fração argila garantem a estabilidade estrutural (BAVER, 1972 apud REINERT, 1998). Estudos demonstram que outras variáveis também possuem esta função. É o caso do clima, das raízes e dos microrganismos.

Os solos colonizados por fungos micorrízicos têm significativo aumento de materiais agregados colaborando em sua estrutura (SCHREINER et al, 1997; RILLIG et al, 2001), pois estes organismos se desenvolvem nos microporos e contribuem na formação de agregados maiores. PANKOW et al (1991) apud ZANGARO FILHO (1997) também observaram tal função. Segundo avaliação realizada pelos autores, os fungos micorrízicos são importantes agentes pedogenéticos, favorecendo a formação de agregados por aumentarem a aeração do solo e a permeabilidade de água, criando um sistema que reduz a erosão e a perda de nutrientes pela lixiviação.

É importante a realização de análises prévias dos fatores físicos atuantes na área a ser revegetada para que a seleção vegetal inicial leve em consideração a necessidade de se introduzir espécies tolerantes às condições apresentadas.

### **2.3.2 Características Químicas**

Da mesma maneira que as características físicas, as características químicas também devem ser consideradas, pois revelam informações importantes relativas à disponibilidade e absorção de nutrientes e água pelas raízes, e que influenciam diretamente o crescimento, desenvolvimento e estabelecimento das espécies vegetais. A partir destas determinações, os fatores inibidores podem ser atenuados.

Em áreas mineradas, as condições químicas do substrato podem comprometer o estabelecimento da vegetação devido, essencialmente, a elevada acidificação ou alcalinidade do meio, toxicidade, deficiência de nutrientes e a falta de água (MONTERROSO et al, 1998; SCHULZ & WIEGLEB, 2000)

A faixa ideal de pH para a nutrição das plantas varia entre 5,6 e 6,2. Isto ocorre, porque neste intervalo de pH, a maioria dos nutrientes encontra-se na forma solúvel, tornando-se disponíveis à absorção pelas raízes das plantas. Da mesma forma, em valores maiores que 5,5 o alumínio trocável, presente em quantidade elevada em solos fortemente intemperizados comuns em regiões tropicais, apresenta-se precipitado na forma de  $Al(OH)_3$ , portanto, sem causar toxidez ou interferências na absorção de nutrientes.

Segundo DIAS (1998) plantas que toleram valores de pH inferiores e/ou superiores à faixa ideal apresentam mecanismos internos e externos junto ao

sistema radicular que contribuem para sua tolerância ou resistência às situações de estresse do ambiente degradado.

A grande parte das espécies pode alterar os valores de pH do solo na região da rizosfera devido à respiração radicular, a liberação de exsudatos radiculares e pela extrusão de  $H^+$  de  $HCO_3^-$ . A acidificação desenvolvida na rizosfera pode contribuir para o aumento da absorção de nutrientes, especialmente o fósforo (MILLER & JASTROW, 1994 apud ZANGARO FILHO, 1997) resultando em sua melhor utilização (JAKOBSEN & ROSENDAHL, 1990 apud ZANGARO FILHO, 1997). Deve-se, entretanto, monitorar tais alterações a fim de evitar que esta acidificação solubilize elementos que possam gerar toxidez às plantas.

Existe uma relação muito importante entre o pH e a disponibilidade de micronutrientes. Com o aumento do pH da solução do solo ocorre diminuição na disponibilidade de micronutrientes, a exceção do Mo. Muitas empresas de mineração, quando possível, alcalinizam o rejeito durante o processo de beneficiamento para que os metais pesados permaneçam precipitados evitando o risco de contaminação e o comprometimento da qualidade dos recursos naturais. Valores mais baixos de pH podem solubilizar e assim, liberar estes elementos. Por esta razão, durante a etapa de flotação no beneficiamento do minério de Zn, por exemplo, o rejeito é alcalinizado, podendo alcançar valores de pH superiores a 8.

Por outro lado, estes valores elevados de pH estão acima do ideal para o crescimento de plantas, sendo este aspecto, um dos desafios a serem superados na revegetação. Esta colocação evidencia, mais uma vez, a importância em se caracterizar previamente a área a ser revegetada. Desta forma, antecipam-se os possíveis problemas que serão encontrados tanto na revegetação como também aqueles que poderão ser gerados ao longo do tempo. Esta observação é extremamente importante, pois mostra que a revegetação não consiste apenas no replantio de espécies vegetais. Para ser efetiva, deve considerar as características do substrato e os processos que envolvem sua formação, para que os procedimentos adotados sejam adequados e condizentes com a realidade.

A elevada concentração de cátions e ânions aumenta a força iônica do sistema interferindo negativamente na absorção de água e nutrientes pelas raízes. Ressalta-se que a adubação pode colaborar para o aumento da condutividade elétrica devido, principalmente, a aplicação de cloreto de potássio. Por esta razão, torna-se fundamental a análise prévia da condutividade elétrica antes da aplicação de fertilizantes.



Da mesma maneira como ocorre com o pH, muitas espécies toleram ambientes cujo nível de salinidade é elevado. Segundo DIAS (1998) a partir de 10 dS/m, quantidade considerada muito alta de salinidade, poucas espécies conseguem sobreviver, sendo que somente as mais tolerantes se estabelecem nestas condições.

É interessante observar a adaptabilidade de algumas espécies quando em condições de extrema adversidade, como por exemplo, espécies que toleram quantidades elevadas de sais no solo. Espécies vegetais como *Agrostis sp* e *Festuca sp* são extremamente tolerantes aos metais pesados. SHAW (1989) apud BRADSHAW (1997) verificou o estabelecimento destas espécies em áreas contaminadas e constatou que estas podem crescer normalmente e que a matéria orgânica produzida por elas pode levar à redução da toxicidade através da complexação dos metais.

#### 2.4 Revegetação de Áreas Mineradas

DIAS & GRIFFITH (1998) conceituam a Recuperação de Áreas Degradadas - RAD como "o conjunto de ações – idealizadas e executadas por especialistas das mais diferentes áreas do conhecimento humano – que visam proporcionar o restabelecimento de condições de equilíbrio e sustentabilidade existentes em um sistema natural". Faz-se uma ressalva que o objetivo é restabelecer as condições de equilíbrio e não tornar o ambiente o que era originalmente.

O objetivo essencial da RAD é a busca pela sustentabilidade, ou seja, a condução de práticas que permitam que, a médio e longo prazo, a vegetação e os fatores a ela relacionados possam se restabelecer com o mínimo ou sem qualquer tipo de intervenção humana e que possam, também, desenvolver as funções que outrora desenvolviam.

Neste sentido, é importante destacar que o recobrimento do solo para controle da erosão, com a utilização de gramíneas pode ser suficiente caso o objetivo da recuperação seja apenas estético (SKOUSEN et al, 1994), porém esta medida não se adequa ao conceito de sustentabilidade ora comentado.

Por outro lado, sendo o objetivo proposto à recuperação das áreas buscando o retorno das atividades e funções ora desenvolvidas pelas espécies vegetais e animais em consonância aos fatores abióticos, faz-se necessário a

utilização de espécies vegetais arbóreas e arbustivas, selecionadas a partir de estudo prévio dos aspectos físico-químicos do substrato.

Vale ressaltar que o processo de recuperação visa fornecer condições para um uso sustentável previamente determinado e, não necessariamente, “tornar o ambiente semelhante ao que era anteriormente” aos processos de degradação.

Segundo ZELEZNIK & SKOUSEN (1996) poucos estudos de RAD enfatizam a utilização de espécies arbóreas na revegetação, sendo grande parte desenvolvidos a partir do uso de gramíneas. De acordo com os autores, os estudos de revegetação de áreas degradadas, utilizando espécies arbóreas, iniciou-se por volta de 1920, no entanto, os resultados só foram apreciados em meados de 1940. Estes estudos, de longas décadas, já apontavam as gramíneas e as leguminosas como as espécies vegetais mais indicadas no estabelecimento da vegetação em áreas mineradas degradadas do leste dos EUA (TOBERT & BURGER, 1990 apud ZELEZNIK & SKOUSEN, 1996) pelo fato de controlarem a erosão e pela capacidade de colaborar com o estabelecimento da vida selvagem garantindo o equilíbrio do balanço hidrológico.

JORDAM III (1997) apud SIMÃO JUNIOR (2001) recordou o primeiro trabalho de RAD envolvendo bases modernas. De acordo com o autor, este trabalho teve início em 1934 na Universidade de Wisconsin Madison, nos EUA e permanece até os dias atuais.

No Brasil, a RAD vem sendo realizada pelas organizações minerárias a mais ou menos 20 anos, demonstrando que muitos trabalhos foram iniciados antes mesmo da obrigatoriedade imposta pela Constituição Federal de 1988 (CETEM, 2001). Dentre as empresas pioneiras em execução de RAD no Brasil, merece destaque a Alcoa Alumínio S.A, em Poços de Caldas, MG (DIAS, 1985 apud CETEM, 2001).

CHAVES (2000) apud CETEM (2001) comentou em seu artigo sobre outros exemplos de empresas e regiões bem sucedidas na implantação e execução de RAD. O autor observou que das 54 minas fechadas existentes na Região Metropolitana de São Paulo – RMSP, cerca de 76% foram recuperadas e apresentaram condições adequadas para a posterior ocupação. Já as minas restantes foram abandonadas e ocupadas desordenadamente.

### 2.4.1 Aplicação de Serapilheira

As técnicas mais tradicionais de revegetação de substratos com elevado grau de degradação recomendam a aplicação de solo superficial. Esta técnica produz efeitos ambientais favoráveis tanto pelo "input" de matéria orgânica no sistema, como o resgate da biota do solo original e do banco de propágulos vegetativos existentes no sistema antes da intervenção.

Muitas metodologias relacionadas a revegetação de áreas mineradas envolvem a utilização de serapilheira, devido ao poder propagativo deste material (GISLER, 1995; LEPSCH, 1976 apud ZANGARO FILHO, 1997.; HART et al, 1999; OZÓRIO, 2000.).

OZÓRIO (2000) avaliou o potencial de uso da serapilheira na recuperação de áreas degradadas por mineração de ferro na Samarco Mineração S.A. Um dos objetivos do trabalho foi verificar se a serapilheira propiciava maior aparecimento de plantas e espécies que as testemunhas. O autor concluiu que tanto no talude de estéril como na barragem de rejeitos, a serapilheira propiciou o aparecimento de maior número de plantas e de espécies, quando comparada à da testemunha.

Apesar das evidentes vantagens da utilização de serapilheira, algumas empresas não a utilizam por questões econômicas ou em função da camada superficial do solo original ser pouco espessa, especialmente em regiões tropicais (GRIFFITH et al, 1995). Uma outra razão para a não utilização de serapilheira relaciona-se ao processo de retirada, estocagem e transporte deste material. Se o material não for retirado, armazenado e transportado corretamente, sua qualidade química, física e biológica pode ser alterada, comprometendo a viabilidade de sua utilização. De acordo com DIAS (1998), existe um consenso de que quanto menor o tempo de armazenagem do material maior é a preservação de sua qualidade. Este fator deve ser considerado já que a mineração é uma atividade de longo prazo.

Os órgãos ambientais determinam que as minerações a céu aberto devem promover a retirada e o armazenamento dos horizontes superficiais do solo ("topsoil") previamente a exploração do minério, separando-o do estéril. Da mesma forma que o armazenamento por um longo período reduz a qualidade da serapilheira, o mesmo se observa para o armazenamento de "topsoil". Dependendo do tempo de armazenagem, algumas mudanças podem ocorrer como alterações na densidade, diminuição da capacidade de absorção de água, mudanças químicas,

redução da ciclagem de nutrientes e da atividade microbiológica e perda ou redução da viabilidade das sementes (STROHMAYER, 1999).

HARRIS & BIRCH apud STROHMAYER (1999) avaliaram que quando o "topsoil" era armazenado em pilhas, o aumento da profundidade devido ao crescimento destas pilhas favorecia o acúmulo de amônia, deixando a base da pilha em condições anaeróbias, alterando suas características químicas.

Num estudo realizado por VISSER et al apud STROHMAYER (1999) em Alberta, Canadá, a maior consequência referente ao armazenamento do "topsoil" relacionou-se à diminuição dos níveis de carbono orgânico (cerca de 30%). Em outros estudos foi também observada a diminuição de microrganismos no solo. Os fungos micorrízicos, por exemplo, foram reduzidos e destruídos (STROHMAYER, 1999). Vale salientar que a comunidade microbiológica é um dos componentes que garantem a estrutura do solo.

Um outro exemplo de limitação ao uso de serapilheira é detalhado por NOYD et al (1997) num estudo realizado em mineração de ferro nos EUA. Os autores relataram que o estoque e o uso de serapilheira eram limitados no norte de Minnesota devido a pouca profundidade dos solos nesta região e também pela prevalência de brejos e pântanos. Por esta razão, as estratégias de revegetação foram centradas no desenvolvimento do solo a partir do estabelecimento de espécies (em curto prazo) e o desenvolvimento sucessional (em longo prazo) (PFLEGER et al, 1994 apud NOYD et al, 1997).

NOYD et al (1997) salientaram, ainda, que, nestes casos, a estratégia utilizada na revegetação está vinculada, também, à incorporação de fungos micorrízicos e fertilizantes, provendo nutrientes às plantas e otimizando a atividade biológica.

Outros trabalhos de revegetação de áreas mineradas também revelam a não obrigatoriedade em utilizar serapilheira para a obtenção de resultados efetivos. Para NORMAN & RAFORTH (1998) a revegetação de barragens de rejeito não necessariamente deve considerar a aplicação de serapilheira. Os autores comentaram a respeito de um trabalho realizado em Telluride, Colorado, onde a aplicação a serapilheira não foi necessária.

CAMPELLO et al (2000) selecionaram espécies para serem utilizadas em trabalhos de revegetação, numa mineração de ouro, e descartaram a necessidade da adição da serapilheira já que o estabelecimento das espécies vegetais ocorreu diretamente sobre o substrato. Devido ao solo original ser muito raso, a empresa

não teria condições de recobrir toda a área, conseqüentemente, o processo de revegetação adotou outras estratégias que também pudessem garantir a biodiversidade e a sustentabilidade. Salienta-se que estas espécies foram previamente noduladas e micorrizadas.

DIAS et al (1999) avaliaram o estabelecimento de espécies em substrato sem adição de "topsoil". Os autores verificaram que a maioria das 30 espécies selecionadas apresentou elevado potencial garantindo a melhoria do substrato e criando condições para o estabelecimento dos processos sucessionais naturais. A importância da inoculação com bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> atmosférico e fungos micorrízicos foi ressaltada garantindo o desenvolvimento daquelas espécies.

Contudo, quando não existe disponibilidade de horizontes orgânicos superficiais de solo ou em função dos custos de retirada, estocagem e retorno do horizonte superficial, o uso de espécies leguminosas inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio (*Rhizobium sp*) e fungos micorrízicos arbusculares (FMA) tem se mostrado como alternativa de grande viabilidade.

#### **2.4.2 Uso de Leguminosas Noduladas e Micorrizadas**

As espécies pertencentes à família das leguminosas são muito requisitadas em programas de revegetação, primeiramente, pelo fato desta família possuir uma diversidade significativa em espécies, principalmente em regiões tropicais. De acordo com SKOUSEN (1997) cerca de 20.000 espécies compõem a família das leguminosas. Em seu artigo, FREIRE (1992) comentou sobre a diversidade de gêneros pertencentes a esta família (cerca de 750 gêneros) e também a respeito das sub-famílias mais representativas: Mimosoidaeae, Cesalpinoideae e Papilonoideae.

As leguminosas são muito utilizadas em estudos de revegetação de áreas mineradas por possuírem vantagens como: inúmeras espécies têm capacidade de fixar grandes quantidades de nitrogênio, produzir aporte elevado de serapilheira rica em nitrogênio e carbono e apresentar rápido crescimento (CAMPELLO, 1999). Além destas vantagens, as leguminosas são importantes, pois possuem um sistema radicular bem desenvolvido onde algumas espécies são capazes de crescer em solos rasos e compactados como alguns substratos de barragem de rejeito (ANDRADE e FARIA, 1997 apud CAMPELLO, 1999).

WARD et al (1990) apud GRANT & LONERAGAN (2001) atribuíram às leguminosas a capacidade de estabilização do solo, controle de erosão, rápido uso e acúmulo de água, nutrientes e matéria orgânica, favorecendo o estabelecimento da vegetação sucessional e a formação do solo, essencialmente, destacada pelo acúmulo gradual de matéria orgânica (CHAPIN et al, 1994 apud NOYD et al, 1997).

Grande parte das leguminosas apresenta elevada produção de biomassa com significativo aporte de folhas ao solo, proporcionando assim, rápida formação de serapilheira e, conseqüentemente, intensa ciclagem de nutrientes. O rápido crescimento e a elevada produção de biomassa de espécies leguminosas fixadoras proporcionam sombreamento e maior acúmulo de carbono e de nutrientes ao solo, condições estas que favorecem a germinação de propágulos de espécies secundárias e mais exigentes quanto às características do substrato.

Biólogos e especialistas consideram que os microrganismos desempenham importante papel na formação do solo e na revegetação de áreas degradadas, uma vez que, são responsáveis pelas modificações física e químicas que promovem o crescimento de plantas nestas áreas. Estas modificações incluem o acúmulo de matéria orgânica, aumento da disponibilidade de nutrientes, em especial fósforo e nitrogênio para as plantas.

A estrutura que resulta do mutualismo benéfico associado entre raízes de plantas e fungos micorrízicos denomina-se micorriza. MORTON & BENNY (1990) apud SAGGIN (1997) relataram que as micorrizas arbusculares são o tipo mais comum e que ocorrem, especialmente, nas plantas vasculares. A associação entre fungos micorrízicos arbusculares – FMA's e as raízes de plantas possibilita a ampliação da capacidade e eficiência de captura de água e nutrientes do solo (BIDWELL, 1996), especialmente fósforo e água, já que as raízes colonizadas podem obter um aumento de 10 vezes a superfície de absorção e 1000 vezes o comprimento em relação às plantas não micorrizadas (PANKOW et al, 1991 apud ZANGARO FILHO, 1997). Por outro lado, os FMA's obtém carbono da planta para seu crescimento (PAUL & KUCEY, 1981 apud ZANGARO FILHO, 1997).

O fósforo é um elemento essencial ao crescimento e estabelecimento das espécies vegetais. CHEN et al (1998) identificaram os fatores limitantes que afetavam a recuperação da fertilidade do solo em áreas mineradas de carvão destinadas à revegetação em Xozhou, na China. Os autores verificaram que a ausência de fósforo refletiu significativamente na produção da biomassa, mesmo

quando aplicados nitrogênio e potássio ao solo. Os autores consideraram a ausência de fósforo extremamente limitante ao restabelecimento da fertilidade.

Em solos pobres em nutrientes, como a maioria dos solos tropicais, as micorrizas desempenham um importante papel na disponibilidade de fósforo para as plantas (NEWAHAM et al 1995 apud ZANGARO FILHO, 1997). Já em solos mais férteis, a disponibilidade de nutrientes é maior, em especial de fósforo, não sendo necessária a formação micorrízica. Em solos de baixa fertilidade, as micorrizas podem reduzir os requerimentos externos de nutrientes das espécies, os custos de implantação e garantir a sucessão vegetal no ecossistema em restauração (CARNEIRO et al, 1996).

A atividade microbiana e a mineralização do nitrogênio diminuem com a profundidade (PAUL et al, 2001). Em seu estudo, ZANGARO FILHO (1997) já havia observado que a maior parte das estruturas dos FMA's encontravam-se entre a superfície e os primeiros 20 cm do solo, indicando que quanto maior a profundidade, menor é a produção de esporos. A Tabela a seguir apresenta os benefícios gerados às plantas, especialmente leguminosas, quando estas se apresentam em simbiose com fungos micorrízicos. A aquisição de nutrientes do solo é considerada a primeira função das micorrizas.

**TABELA 2.1. Importância das Micorrizas no Desenvolvimento das Plantas**

IMPORTÂNCIA DAS MICORRIZAS – BENEFÍCIOS ÀS PLANTAS
Aumento da absorção de nutrientes decorrente do aumento do volume de solo acessível às plantas
Aumento da capacidade de absorção de nutrientes de diferentes formas, não só aquelas disponíveis às plantas
Alguns fungos micorrízicos têm a capacidade de quebrar compostos fenólicos que interferem na absorção de nutrientes
Promoção de proteção contra parasitas e nematóides
Acúmulo de nutrientes e sucesso na reprodução
Crescimento de raízes, tecidos vasculares
Significativas quantidades de Carbono são transferidas das plantas para os fungos, reduzindo a competição entre as plantas e contribuindo para a estabilidade e diversidade do ecossistema
Pode ocorrer a transferência de nutrientes de plantas mortas para plantas vivas
As hifas no solo possuem um importante papel na ciclagem de nutrientes prevenindo perdas do sistema, em especial, quando as raízes estão inativas.
As hifas podem transportar carbono para outros organismos do solo envolvendo processos de ciclagem de nutrientes
As hifas dos fungos micorrízicos são importante fonte de alimentos para os invertebrados que vivem no solo e para mamíferos marsupiais
As micorrizas influenciam a população microbiológica do solo
As hifas são consideradas contribuintes da estrutura do solo (mecanismos de agregação)
As micorrizas contribuem para o estoque de carbono no solo alterando a qualidade e a quantidade de matéria orgânica

Fonte: Roles of Mycorrhizas in: [www.ffp.csiro.au/research/mycorrhiza](http://www.ffp.csiro.au/research/mycorrhiza)

Esta simbiose pode ser aprimorada através do mutualismo das leguminosas com bactérias do gênero *Rhizobium sp.* As bactérias que fixam nitrogênio possuem papel importante na formação do solo, uma vez que os nódulos formados nas leguminosas multiplicam a rizosfera, acelerando o processo de revegetação de áreas degradadas (CUNDELL, 1977). Num estudo realizado em sete regiões do Brasil, FARIA & LIMA (1998) verificaram a possibilidade de nodulação em 131 espécies de leguminosas.

De acordo com SKOUSEN (1997) a bactéria, do gênero *Rhizobium*, produz uma enzima denominada nitrogenase que permite que o nódulo fixe o nitrogênio da atmosfera. Por esta razão, as leguminosas são capazes de se desenvolver e se estabelecer em solos com baixa disponibilidade de nitrogênio. Segundo o mesmo autor, esta bactéria geralmente prefere solos com pH entre 6,0 e 7,5.

Em muitos casos, a utilização de espécies noduladas e micorrizadas é essencial para que o aporte de nutrientes seja suficiente para o estabelecimento e desenvolvimento da vegetação inicial, especialmente em áreas que apresentam condições físicas, químicas e biológicas adversas (SCHREINER et al, 1997), já que possuem mecanismos de tolerância aos estresses impostos pelo ambiente (SAGGIN, 1997).

Em se tratando de barragens de rejeito de beneficiamento de minério, a associação com microrganismos é fundamental, uma vez que a deposição de rejeitos industriais constitui-se numa das rotas antrópicas de entrada de metais no solo. Nas áreas onde o solo é estéril, onde a camada superficial é inexistente e praticamente desprovidos de propágulos de FMA's, os esporos dos fungos que formam a micorriza devem ser adicionados e a inoculação de estirpes de bactérias do gênero *Rhizobium sp* deve ser realizada para assim aumentarem a assimilação por nutrientes intensificando o crescimento das plantas (SILVEIRA, 1992; RICKLEFS, 1996).

Além disso, em razão das espécies micorrizadas serem mais tolerantes à presença de metais pesados (MARRS et al, 1999 apud DIAS et al, 1998), sua utilização em revegetação de áreas mineradas é essencial, já que se adaptam às condições locais do substrato, facilitando a absorção de alguns elementos químicos e evitando outros, evidenciando, assim, o principal papel da micorriza, que, segundo GRAZZIOTTI (1999) baseia-se na "sua habilidade em facilitar a adaptação das plantas às condições do solo".



Nos solos contaminados por metais pesados, as espécies micorrizadas se desenvolvem (BRADSHAW, 1997), pois as associações micorrízicas podem proteger as plantas dos metais, uma vez que os fungos micorrízicos retêm estes metais nas ou sobre as raízes, impedindo sua translocação para a parte aérea da planta (GRAZZIOTTI, 1999). De acordo com o mesmo autor, do ponto de vista fisiológico, a associação micorrízica atua como uma barreira entre as raízes e os metais promovendo a tolerância destas espécies vegetais ante as condições adversas.

Para Leyval et al (1997) apud Soares et al (2002) a imobilização dos metais no micélio constitui provável mecanismo de proteção das micorrizas às plantas, reduzindo a transferência do metal para a parte aérea e, conseqüentemente, a fitotoxidez para a planta. Os fungos micorrízicos podem contribuir para o crescimento das plantas em locais contaminados com metais pesados por meio da complexação destes elementos nas raízes, restringindo a absorção e a translocação dos metais para a parte aérea.

A viabilidade do uso dessa técnica vem sendo comprovada em diversos substratos degradados oriundos de atividades como mineração de bauxita, ouro, ferro e diferentes barragens de rejeitos.

MARTINS et al (1999) verificaram que os FMA's contribuem significativamente no estabelecimento de uma espécie de gramínea na recuperação de áreas degradadas no cerrado evidenciando o papel fundamental dos microrganismos nas transformações que equilibram e sustentam os ecossistemas.

A parceria entre a Mineração Rio do Norte - MRN em Porto Trombetas, PA, a Universidade Federal de Viçosa – UFV e a Embrapa/Agrobiologia possibilitou a publicação, em 1996, de um estudo que utilizou leguminosas, nativas e exóticas, associadas a microrganismos na revegetação de áreas de mineração. No experimento realizado em barragens de rejeito verificou-se que as espécies nativas testadas apresentaram menor velocidade de crescimento que as introduzidas e que as espécies fixadoras de nitrogênio cresceram em rejeito de lavagem de bauxita desde que noduladas e micorrizadas possibilitando o estabelecimento de espécies nativas, via regeneração natural, a partir da serapilheira posteriormente depositada.

No trabalho de CAMPELLO (1999) em Porto Trombetas, foram observados a utilização e o comportamento em termos de desenvolvimento e crescimento de leguminosas arbóreas exóticas como *Acacia holosericea*, *Pseudosamanea guachapele*, *Parkia multijuga* e *Sesbania virgata* na revegetação de estéril de

bauxita compactado. O autor verificou que as espécies leguminosas exóticas noduladas e micorrizadas apresentaram taxas de crescimento e desenvolvimento superiores às demais espécies e que este desenvolvimento inicial colaborou no estabelecimento dos processos sucessionais. Aos 19 meses após o plantio, as espécies fixadoras de nitrogênio, quais sejam, *Acacia mangium* (3,57 m), *Acacia auriculiformis* (2,12 m), *Acacia holosericea* (2,32 m) e *Mimosa caesalpinhiopholia* (1,41 m) apresentaram crescimento médio superior às não fixadoras (*Senna siamea* – 0,91 m).

LAMBERT & COLE, 1980 apud ZANGARO FILHO (1997) trabalharam com três espécies de leguminosas, inoculadas e não inoculadas em revegetação de barragem de rejeito de carvão. Os autores observaram que as plantas micorrizadas demonstraram elevado aumento na taxa de crescimento, em comparação com as espécies não micorrizadas, além dos valores de sobrevivência que, nas micorrizadas, foi de 6 a 15 vezes maior.

SHETTY et al (1994) num estudo envolvendo revegetação de áreas mineradas contaminadas por metais pesados nos EUA, verificaram que algumas espécies só crescem em substratos de rejeito quando estão micorrizadas, como ocorreu com *Andropogon gerardii*, altamente dependente da associação micorrízica.

No Estado da Geórgia, EUA, o sucesso obtido na RAD ocorreu em função da inoculação das plântulas de pinheiro com FMA's, garantindo a sobrevivência sem ajuda externa, ou seja, sem a interferência antrópica (ODUM, 1988 apud SIMÃO JUNIOR, 2001).

Num estudo envolvendo revegetação realizado na planta de metalurgia da Cia Mineira de Metais em Três Marias-MG, SOARES et al (2002) observaram que a utilização da espécie nodulífera *Acacia mangium* apresentou potencial para a revegetação da área contaminada devido ao incremento de grande quantidade de liteira com baixa relação C/N que favorece a atividade microbiana do solo. O mesmo estudo verificou que a espécie *Mimosa caesalpinhiopholia* (sabiá) também constitui-se numa espécie promissora para trabalhos relacionados à revegetação de áreas contaminadas, visto ser uma leguminosa muito rústica, pioneira, resistente ao déficit hídrico e nodulífera.

Outros trabalhos relataram o aumento da produção de mudas noduladas e micorrizadas. BURITY et al (2000) verificaram que a dupla inoculação contribuiu para valores significativos no crescimento, área foliar, altura das plantas, além de

outros parâmetros em mudas de *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá ou sansão do campo). Já a pesquisa de SIQUEIRA et al (1997) apud ZANGARO FILHO (1997) apontou que a associação micorrízica elevou o conteúdo de potássio, magnésio e enxofre na parte aérea das plantas, promovendo o incremento de matéria seca, pelas raízes, no sistema.

#### **2.4.3 Exóticas e Nativas: A Polêmica na Recuperação de Áreas Degradadas**

Em se tratando de revegetação, utilizando-se tanto espécies nativas como exóticas, primeiramente, destaca-se o papel das espécies arbóreas, uma vez que estas espécies criam condições físicas, químicas e biológicas que permitem o estabelecimento da ciclagem biogeoquímica garantindo a sustentabilidade do ecossistema, através, especialmente, da incorporação de carbono e nitrogênio ao solo. Tal incorporação melhora as condições do substrato, a aeração e a circulação de nutrientes, atraindo vida ao sistema.

O potencial de incorporação de carbono no sistema depende de alguns fatores como: a comunidade decompositora (GRAVES et al, 1997; WASCHKIES & HÜTTL, 1999; RILLIG et al, 2001), as características do ambiente e as características do material que aporta ao substrato. Por esta razão, no início da revegetação, costuma-se optar por espécies exóticas que respondem de maneira mais viável ao cumprimento destes fatores.

Quando falamos em RAD e, por conseguinte, na seleção das espécies mais aptas à regeneração de um determinado local, não é rara a existência de discussões sobre a necessidade e a obrigatoriedade em se utilizar espécies nativas. Muitos autores consideram que a recuperação de uma área ocorrerá apenas se em sua metodologia forem consideradas espécies nativas.

Por outro lado, as alterações provocadas pelo homem criam condições adversas ao estabelecimento de espécies nativas, por não tolerarem perturbações como o aumento da luminosidade, diminuição da umidade e variação de temperatura (PRIMACK & RODRIGUES, 2001). Além disso, o conhecimento sobre as características silviculturais e de contribuição ao ciclo biogeoquímico destas espécies é reduzido (CAMPELLO, 1998). Por estas e outras razões, a utilização de espécies exóticas é mais utilizada, pelo menos no início do processo de revegetação, já que se apresentam em grandes concentrações em áreas antropicamente alteradas.

Considera-se durante a etapa de seleção de espécies para a revegetação, aquelas que apresentam rápido estágio de muda no viveiro, disponibilidade de sementes e ciclos de desenvolvimento relativamente curtos, permitindo o ingresso de outras espécies (CAMPELLO, 1998). É importante unir a estes atributos a escolha por espécies que fixem nitrogênio.

As plantas estabelecidas diminuem a incidência de luz e irradiação, o que mantém a umidade do solo proporcionando maior crescimento e possibilitando maior diversidade de espécies. Acrescentam matéria orgânica nas primeiras camadas da superfície e o enraizamento altera a estrutura física e química do solo.

Salienta-se, ainda, sobre o número de espécies que devem ser utilizadas nos programas de revegetação de áreas mineradas. Em áreas extremamente degradadas como é o caso da mineração, deve-se optar pela escolha inicial de um número menor de espécies, que apresentem condições de tolerância e resistências às adversidades do ambiente (PRIMACK & RODRIGUES, 2001) e que possibilitem o estabelecimento posterior de espécies vegetais nativas para o enriquecimento do sistema.

Num plantio misto em pastagem degradada em Itutinga, MG, DAVIDE & FARIA (1994) demonstraram que a espécie exótica *Acacia mangium* apresentou valores maiores em altura, diâmetro do caule e área de copa, quando comparadas às espécies nativas da região (*Trema micrantha* e *Croton floribundus*). Ressaltou-se, ainda, que a *Acacia mangium* produziu abundante serapilheira, contribuindo para o enriquecimento de carbono orgânico, fundamental para a formação do solo e para a ciclagem de nutrientes.

Num outro trabalho realizado por CHEUNG et al (2000) foram testadas duas espécies exóticas (*Acacia auriculiformis* e *Leucaena leucocephala*) a fim de avaliar o potencial de crescimento. Os autores concluíram que estas espécies apresentaram elevada tolerância e sobrevivência em regiões áridas, inférteis e contaminadas por metais.

REICHMAN et al (2001) avaliaram o comportamento da espécie exótica *Acacia holosericea* em relação as concentrações tóxicas de zinco e concluíram que esta espécie pode ser utilizada em revegetação de áreas degradadas, quando o substrato é potencialmente tóxico em zinco. Na avaliação do comportamento de espécies do gênero *Acacia* em relação à tolerância a elevadas concentrações de salinidade, REHMAN et al (2000) observaram que a espécie exótica *Acacia farnesiana* é tolerante a ambientes extremamente salinos.

CAMPELLO et al (1998) ressaltaram a importância das espécies do gênero *Acacia* no aporte de material orgânico sobre o substrato. A *Acacia mangium* é uma espécie exótica que, além de associar-se com FMA's, caracteriza-se por produzir muita folha e também por ter um ciclo de vida curto contribuindo para o enriquecimento de carbono ao sistema. BRADSHAW (1997) verificou que a espécie *Acacia auriculiformis* melhora a produção florestal por contribuir significativamente com a inserção de nitrogênio no solo através de suas raízes. Ainda em respeito às Acácias, CAMPELLO et al (1998) concluíram que as espécies *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* apresentam maior capacidade de adaptação em ambientes degradados, produzindo maior quantidade de biomassa e possuindo uma ciclagem biogeoquímica mais eficiente.

CAMPELLO et al (1998) também ressaltaram o papel da espécie *Mimosa caesalpiniiifolia* (sabiá ou sansão do campo) como condicionante do solo já que possui uma taxa de decomposição elevada, fator que também contribui ao incremento de carbono ao sistema.

A abordagem sucessional garante a utilização de princípios ecológicos de modo que a biodiversidade e a sustentabilidade possam ser garantidas, porém a velocidade de recuperação é muito lenta.

Atualmente, os trabalhos que envolvem revegetação de áreas mineradas vêm adotando uma terceira abordagem que consiste na utilização inicial de espécies onde se aproveita o potencial de rápido crescimento e aporte de carbono e, numa segunda fase, a utilização de espécies responsáveis pelo enriquecimento garantindo a biodiversidade. Nota-se que esta abordagem é a integração das duas outras já mencionadas.

Na Figura 2.4, observa-se, de um modo geral, as etapas sugeridas para a recuperação de áreas degradadas pela atividade de mineração, em especial para barragens de rejeito. Reforça-se a idéia de que as etapas envolvidas na recuperação de áreas degradadas variam, pois cada empreendimento causa um tipo de degradação. De acordo com SOUZA, 2000, o que garante o sucesso da recuperação de uma área degradada "é a formação de um substrato que dê condição do solo degradado receber e sustentar as plantas e a seleção de espécies adequadas para cada situação".

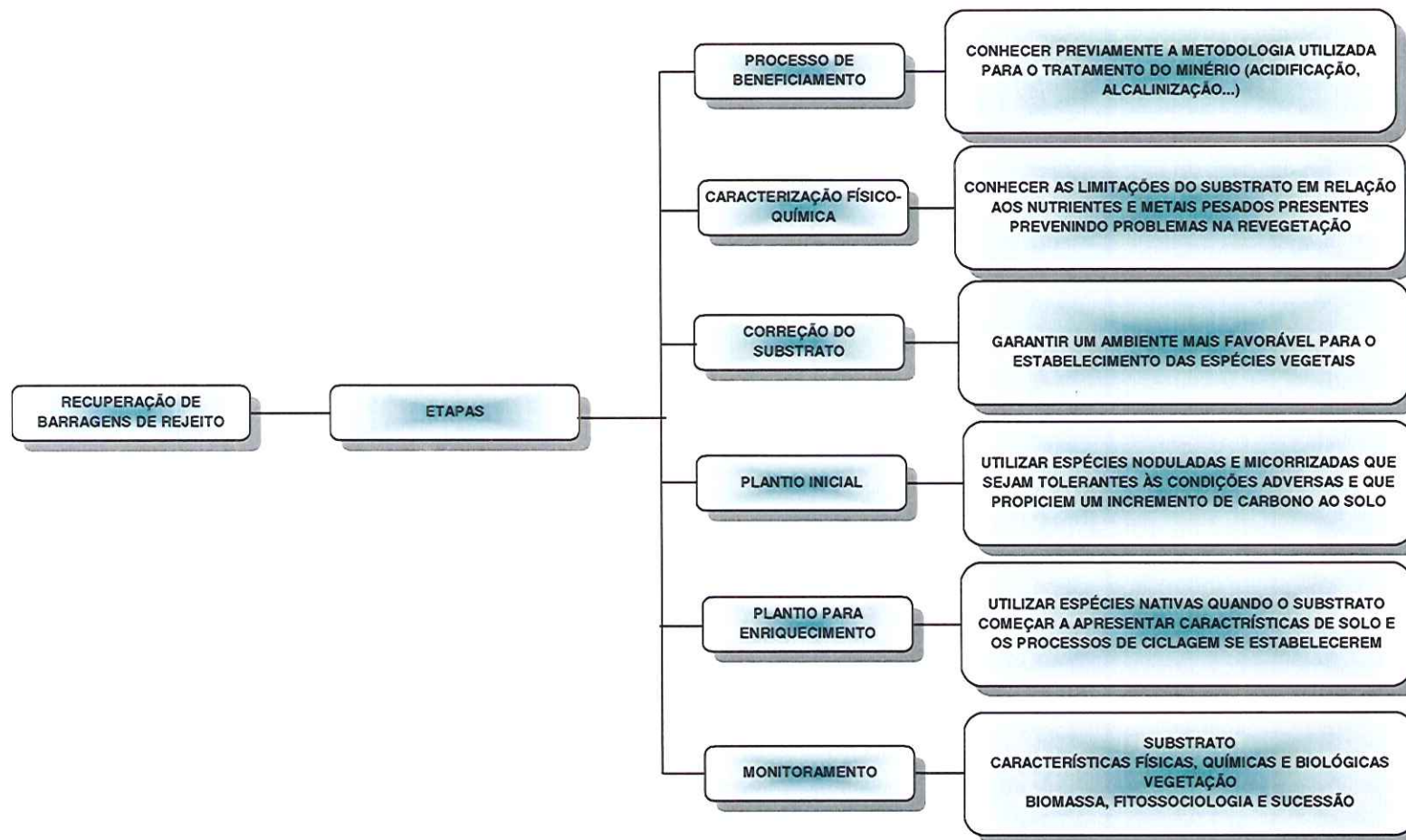


FIGURA 2.4. Etapas Sugeridas para a Recuperação de Barragens de Rejeito.

Conforme ilustra o fluxograma, é fundamental que se conheça o processo utilizado para o beneficiamento do minério e as formas de disposição de resíduos (estéril e/ou rejeito), bem como as características físicas e edáficas da área a ser recuperada. A obtenção destas informações é essencial para a recuperação de qualquer área degradada. A partir daí, as ações tornam-se mais específicas, variando de acordo com as características do substrato a ser recuperado, particular a cada mineração.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

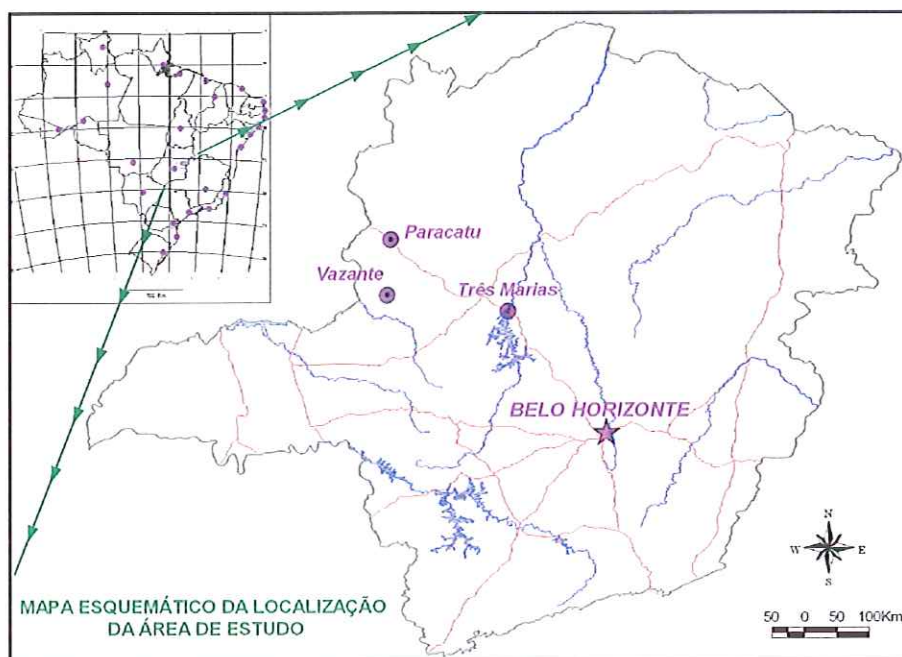
---



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. A Companhia Mineira de Metais - CMM

O estudo foi realizado na Companhia Mineira de Metais - CMM, empresa integrada ao complexo mineiro-metalúrgico do Grupo Votorantim, localizado no município de Vazante, noroeste do Estado de Minas Gerais, entre os municípios de Paracatu e Patos de Minas (Figura 3.1).



**FIGURA 3.1. Localização de Vazante em relação à Belo Horizonte, MG**

Fonte: Votorantim Metais, 2004.

A CMM, fundada em 1956, é a maior produtora de zinco do país, detentora de 65% do mercado brasileiro e líder mundial na produção de zinco a partir de minério silicatado. Suas unidades industriais localizam-se em três municípios mineiros. Em Vazante e em Paracatu localizam-se as unidades de mineração e em Três Marias, está localizada a unidade de metalurgia.

A jazida da CMM, em Vazante, possui dois tipos de minério silicatados de zinco, a calamina e a willemita. O primeiro tipo ocorre principalmente sob a forma de brecha de colapso em folhelhos e dolomitos enriquecidos em zinco. O aspecto é terroso e os minerais mais comuns são: hemimorfita e hidrozincita. No segundo a mineralogia é simples, ocorrendo a willemita com hematita e pequenas concentrações de esfalerita, galena, cerusita e calcosita. Os sulfetos correspondem a uma fase posterior de mineralização que corta a willemita.

### **3.2 Aspectos Gerais da Área de Estudo**

Os dados relacionados aos aspectos gerais da área de estudo foram obtidos a partir do EIA elaborado pela BRANDT<sup>8</sup> em 2001 e pelo Relatório e Plano de Controle Ambiental – RCA/PCA realizado pela SETE<sup>9</sup> em 2000, ambos para a CMM.

#### **3.2.1 Localização**

A região Noroeste de Minas Gerais é composta por treze municípios, agregados em duas microrregiões: Unai e Paracatu. É a região que apresenta o menor número de municípios e microrregiões, bem como a menor população, concentrando apenas 1,9% do total do Estado, e menor densidade demográfica. De acordo com dados obtidos do IBGE (2001) a densidade demográfica registrada foi de 9,92 hab/km<sup>2</sup>. Situado numa altitude de 680 m, o município de Vazante possui 18.928 habitantes distribuídos numa área de 1.906,905 km<sup>2</sup> (IBGE, 2001).

---

<sup>8</sup> Brandt Meio Ambiente

<sup>9</sup> Sete Soluções e Tecnologia Ambiental

### 3.3 Aspectos Ambientais

#### 3.3.1 Clima

Segundo NIMER & BRANDÃO (1989) apud BRANDT (2001) o clima da região é classificado como sendo da tipologia "Úmido Mesotérmico" com pouco déficit de água.

Os valores de temperatura, precipitação e umidade relativa do ar, foram medidos na estação meteorológica da CMM em Vazante. As médias anuais oscilam entre os 33° C para as temperaturas máximas enquanto as mínimas ficam em torno dos 18° C. Durante o verão as temperaturas mantêm-se constantemente elevadas apresentando valores na casa dos 39° C. No inverno (junho-agosto) o mês mais frio fica em média de 15° C.

O índice pluviométrico anual registra medidas entre 1.100 e 1.700 mm. É marcante, todavia, a franca definição de um período chuvoso (outubro a março) e um período seco (abril a dezembro). São freqüentes precipitações mensais superiores a 400 mm em dezembro ou janeiro e, por outro lado, precipitações mensais nulas, como nos meses de junho e julho. Foi observado um decréscimo na pluviometria anual durante os últimos anos.

Sazonalmente, os índices de umidade disponíveis são muito diferenciados. Os meses de seca geram um déficit à demanda ambiental. Este déficit vai se tornando maior a cada mês até atingir valores médios inferiores a 80% mensais em agosto e setembro.

#### 3.3.2 – Hidrografia

Vazante situa-se na micro-bacia hidrográfica do Rio Santa Catarina, a qual perfaz as cabeceiras da bacia hidrográfica do Rio Paracatu que, por sua vez, é considerado um dos principais afluentes da margem esquerda do Rio São Francisco (SETE, 2000).

A bacia hidrográfica do Rio Paracatu mede cerca de 45.625 km<sup>2</sup>. Limita-se a norte com a bacia do Rio Urucuia, através da Serra do Rio Preto e de um prolongamento desta até o Rio São Francisco. O Rio Paracatu nasce entre os contrafortes da Serra do Garrote e da Chapada da Ponte Firme, divisores de águas com a bacia do Parnaíba (SETE, 2000).

A bacia hidrográfica do Rio Santa Catarina mede cerca de 500 km<sup>2</sup>. Esta drenagem é assim designada a partir da confluência dos córregos Gariroba e Carranca com o Ribeirão do Carrapato, nos contrafortes da Serra do Carneiro, a sudoeste da cidade de Vazante (SETE, 2000).

### 3.3.3 Geomorfologia

O município de Vazante encontra-se situado nas proximidades de um importante divisor de drenagens, o qual separa duas bacias hidrográficas de grande expressão no Estado de Minas Gerais e até mesmo no âmbito nacional: a bacia do Rio Paraíba e a bacia do Rio São Francisco.

Através da relação existente entre o substrato rochoso e o relevo local, podem ser destacados dois conjuntos de feições: (i) as serras esculpidas sobre as rochas siliclásticas (predominância de pelitos) e (ii) os platôs apresentando morros isolados e conjunto de morros alinhados, desenvolvidos sobre rochas carbonáticas.

As serras esculpidas apresentam valores de altitude dos cumes mais altos na casa dos 850 m. Os platôs apresentam valores de altitude inferiores a 700 m e espessa cobertura pedogênica, o que confere a estas porções uma identidade aplainada ou fracamente ondulada, onde despontam-se morros testemunhos e alinhamento de morros.

### 3.3.4 Geologia

A região de Vazante situa-se no domínio da Faixa Brasília, caracterizada por um baixo grau de metamorfismo. A seqüência de rochas é atribuída a um ambiente marinho, caracterizado por altos recifais dispostos segundo uma faixa de direção NS que se prolonga até as redondezas do município de Unai.

Na região de Vazante, o Grupo Vazante é constituído por uma seqüência predominantemente dolomítica (Fácies Serra da Lapa). A Formação Vazante segundo DARDENNE (1979) apud BRANDT (2001) foi redefinida, sendo o membro Serra do Garrote individualizado na categoria de Formação.

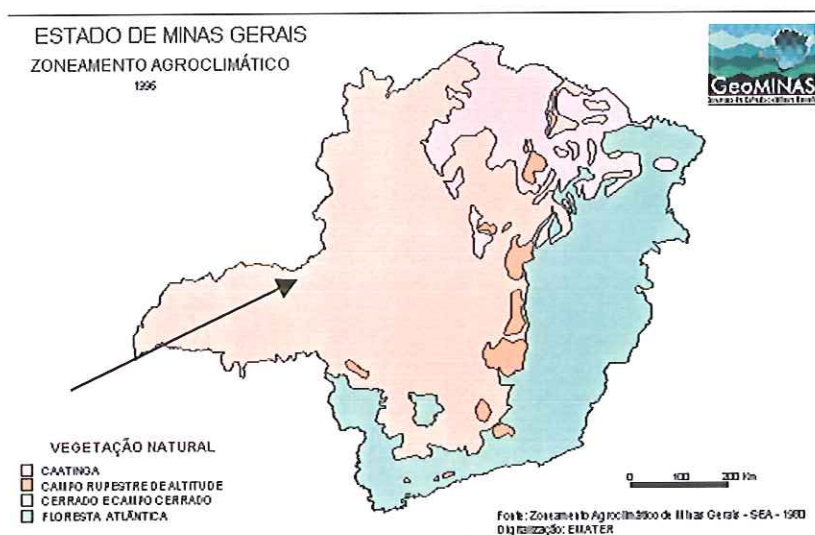
A mina de Vazante é parte do maior distrito zincífero conhecido no Brasil e representa um depósito de metais base de importância reconhecida para o país. As mineralizações de zinco de Vazante associam-se às seqüências argilo-dolomíticas do Grupo Vazante (DARDENNE, 1979 apud BRANDT, 2001) de idade

neoproterozóica, inseridas no contexto geotectônico da Faixa Brasília e são conhecidas desde a década de 1950, quando foi encontrada hemimorfita (calamina) na Serra do Poço Verde.

Pelo estudo elaborado pela SETE (2000) o Grupo Vazante, onde ocorrem estes depósitos de zinco e chumbo, é constituído por filitos, ardósias, quartzito, metasiltilitos, amplo dolomitos e raros calcários.

### 3.3.5 Vegetação

O município de Vazante está inserido na zona geográfica de Paracatu, onde a formação vegetal encontrada é a de Cerrado (Figura 3.2).



Fonte: [www.geominas.mg.org.br](http://www.geominas.mg.org.br)

### FIGURA 3.2. Áreas Ocupadas pelo Cerrado no Estado de Minas Gerais

De acordo com o IBGE (1993) o cerrado é caracterizado por uma vegetação composta por árvores de pequeno porte e tortuosas, apresentando-se isoladas ou agrupadas sobre um tapete de gramíneas, mesclado de subarbustos e alguns arbustos baixos. As espécies vegetais do cerrado apresentam estruturas adaptativas devido ao ambiente ácido e deficiente em que se encontram, por exemplo, casca grossa e rugosa, folhas perenes e órgãos de reserva subterrâneos.

A formação de cerrado se mostra como uma vegetação aberta, que é constituída por árvores com alturas variáveis, podendo alcançar até 8 metros,

relativamente espaçadas, cujas copas não se tocam. Ocorre também a presença de arbustos esparsos com altura entre 0,50 a 3 metros.

No EIA realizado pela BRANDT (2001) na CMM, consta que um outro tipo de vegetação, muito semelhante ao cerrado, é característico daquela região. Tal vegetação foi denominada Mata Seca ou Floresta Tropical Mesofítica Latifoliada Semidecídua.

Esta formação vegetal representa uma forma florestal semidecídua, constituindo manchas inclusas comuns do cerrado sendo por vezes, contornadas por manchas do cerrado bastante vigoroso. A mata seca nesta região é caracterizada pela ocorrência de espécies caducifólias como o angico (*Piptadenia sp*), jatobá do cerrado (*Hymenaea stygnocarpa*) e corticeira (*Enterolobium sp*).

Os fragmentos de mata seca podem ser distinguidos dos fragmentos de cerrado por algumas características como a altura dos seus maciços um pouco mais elevada, ocorrência de árvores florestais subcaducifólias, reduzida quantidade de espécies arbóreas peculiares do cerrado e ao espaçamento maior entre indivíduos.

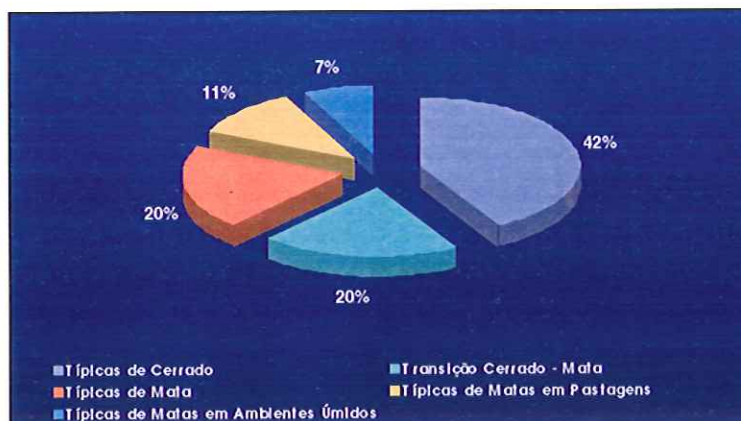
Já num estudo anterior, relacionado ao RCA/PCA para a construção da nova barragem de rejeitos da CMM, realizado pela SETE em 2000, os técnicos detalharam os ambientes originais da região de Vazante.

De acordo com este estudo, a cobertura vegetacional original apresentava-se por diversas fisionomias do cerrado, desde os campos limpos e campos sujos presente nas cotas mais altas onde predominam os solos mais pobres até o cerrado nas baixadas planas mais férteis (IBGE, 1992 apud SETE, 2000).

De forma geral, as alterações na fisionomia vegetal original do município de Vazante, ocorreram, especialmente, devido às ações antrópicas consolidadas na região das quais podemos citar a interferência da atividade minerária, as atividades agrícolas e o desenvolvimento de áreas para pastagens. Obviamente, estas alterações provocaram uma redução na diversidade faunística, se relacionarmos aos ambientes mais conservados, e certamente a garantia da manutenção da diversidade atual é devido aos remanescentes de florestas nativas ainda presentes.

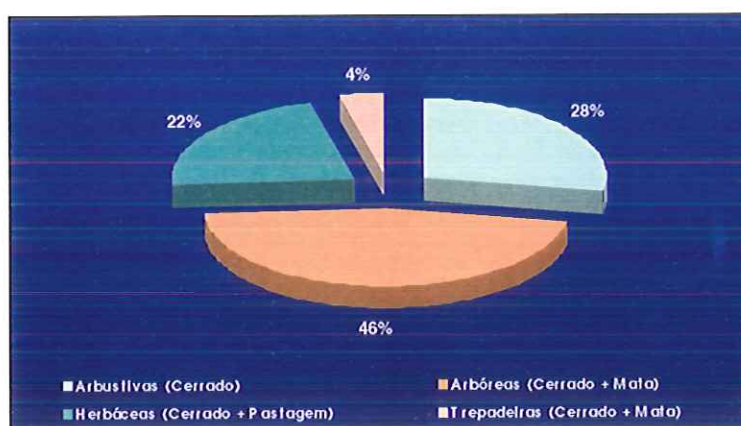
No levantamento realizado pela SETE em 2000 para consolidação do capítulo relacionado ao diagnóstico ambiental da região de Vazante, foram registradas, em apenas dois dias de observação, através de percursos pelo cerrado e nas outras formações supracitadas, 135 espécies vegetais. Destas, 42% são espécies consideradas típicas de cerrado.

Na Figura 3.3 observa-se a porcentagem de espécies registradas em cada fisionomia vegetal estudada:



**FIGURA 3.3. Porcentagem do Número de Espécies Registradas durante o Levantamento da SETE em 2000, na Região de Vazante, MG**

Em relação ao porte das espécies registradas, cerca de 28% das espécies encontradas eram arbustos e foram observadas apenas no cerrado. O valor de 46% para as espécies arbóreas se dá pelo fato de terem sido observadas não apenas no cerrado como também nas áreas de mata, fato não ocorrido com as espécies arbustivas. Cerca de 22% das espécies encontradas no cerrado e nas pastagens eram herbáceas e apenas 4% de trepadeiras foram observadas no cerrado e nas áreas de mata. A Figura 3.4 ilustra estas informações.



**FIGURA 3.4. Relação do Porte das Espécies nos Ambientes onde foram Registradas**

No levantamento realizado pela SETE (2000) não foram observadas espécies raras ou ameaçadas de extinção, segundo a lista oficial de espécies ameaçadas de Minas Gerais, a qual inclui a lista da flora brasileira ameaçada.

### **3.4 Processo de beneficiamento e deposição de rejeitos**

Os trabalhos que envolvem revegetação de áreas mineradas, especificamente em barragens de rejeito, devem se ater inicialmente, como já abordado, ao conhecimento prévio do substrato garantindo assim melhores resultados.

Atualmente, a CMM em Vazante explora duas jazidas, uma lavrada a céu aberto, onde calamina e willemita coexistem, e outra subterrânea, onde ocorre predomínio do minério willemítico. O processo de beneficiamento destes minerais é distinto devido à necessidade da etapa de deslamagem para a purificação da calamina, sendo esta etapa desnecessária no tratamento da willemita. O minério extraído é transportado por caminhões à planta de beneficiamento onde é britado, moído e, através de tratamento químico (flotação), a porção "pura" é separada da substância sem valor econômico (rejeito). O processo de beneficiamento do minério extraído em Vazante pela CMM produz um rejeito alcalino e com baixa disponibilidade de alguns nutrientes essenciais às plantas.

Os rejeitos de flotação são provenientes de cerca de 70% da willemita e 30% da calamina, sendo os rejeitos willemíticos mais grosseiros.

### **3.5 Metodologia**

Em outubro de 2000, foram coletadas amostras de rejeito da barragem para a caracterização do substrato. A análise do substrato na área experimental foi realizada em duas profundidades: de 0 a 15 cm e de 15 a 30 cm. Foram coletadas 6 (seis) sub-amostras em pontos distintos para a formação de uma amostra composta por profundidade.

As Tabelas 3.1 e 3.2 apresentam os resultados que caracterizam o substrato trabalhado.



**TABELA 3.1. Frações Granulométricas**

AREIA	SILTE	ARGILA
%		
61	34	5

A análise das frações granulométricas do rejeito evidencia:

- Textura Franco-Arenosa;
- 6% de areia grossa, 55% de areia fina, 34% de silte e apenas 5% de argila;
- Baixa capacidade de retenção de água;
- Maior lixiviação de nutrientes como N, K e S;
- Maior oxidação da MO que aporta ao solo.

**TABELA 3.2. Características Químicas do Rejeito**

MO	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe	Zn	P	K	Cu	Mn
dag/Kg		cmo / dm <sup>3</sup>		Mg/dm <sup>3</sup>					
0,9	6,5	3,54	3,72	155	185	155	42	7,25	73,4

P e K: Extrator Mehlich-1; Al, Ca e Mg: Extrator KCl 1 mol / L

A análise das características químicas do rejeito evidencia:

- Baixo teor de MO;
- Material alcalino;
- Presença de metais;
- Elevados teores de Fe e Zn;
- Elevada disponibilidade de P (mas o baixo teor de MO e o pH elevado justificam a baixa taxa de crescimento da gramínea previamente plantada).

Foi coletada, também, uma amostra indeformada do substrato para caracterização da estrutura e porosidade. Esta amostra foi denominada T0 e foi utilizada como referência inicial do processo de recuperação, pois a incorporação do carbono ao substrato permite que ocorra a gênese de um novo solo, com estrutura e porosidade distintas da inicial.

Nesta mesma data, as mudas foram preparadas no viveiro do IEF do município de Lagamar, MG que dista aproximadamente 25 km de Vazante.

A inoculação com a bactéria do gênero *Rhizobium* e fungos micorrízicos foram realizadas durante o semeio. As sementes, cujo tegumento é mais grosso, foram previamente escarificadas, lavadas em água corrente e inoculadas com estirpes de *Rhizobium sp.* A inoculação foi realizada em meio de turfa. O

umedecimento prévio garantiu a maior adesão da semente ao inoculante. Parte dos fungos micorrízicos foram cedidos pela EMBRAPA – CNPAB, Seropédica – RJ e a outra parte obtidos a partir da trituração do solo da rizosfera de *Brachiaria sp* coletados no mesmo dia. No momento em que se coloca a semente inoculada na cova, adiciona-se cerca de 1 g deste solo.

O experimento foi montado nos dias 4 e 5 de fevereiro de 2001, na barragem de rejeitos da CMM, que já havia recebido um plantio prévio de *Brachiaria sp* no final de 1999, numa primeira tentativa de revegetação. Foram pré-selecionadas, espécies arbóreas e arbustivas, nativas e exóticas, sendo que 14 pertencentes à família Leguminosae e 3 não leguminosas totalizando 17 espécies.

**TABELA 3.3. Espécies Seleccionadas para a Revegetação da Barragem de Rejeito da CMM**

Nº	NOME CIENTÍFICO	NOME POPULAR	FAMÍLIA	ORIGEM
1	<i>Acacia mangium</i> Willd.	-	Leguminosae	E
2	<i>Acacia holosericea</i> G. Don	-	Leguminosae	E
3	<i>Acacia auriculiformis</i> A Cunn. Ex Benth	-	Leguminosae	E
4	<i>Acacia angustissima</i> (Miller) Kuntze	Acácia negra	Leguminosae	E
5	<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	Vinhático-de-espinho	Leguminosae	N
6	<i>Acacia melanoxylon</i> R. Br.	-	Leguminosae	E
7	<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.	Sansão do campo/sabiá	Leguminosae	N
8	<i>Enterolobium schomburgkii</i> Benth.	Fava orelhinha	Leguminosae	N
9	<i>Leucaena leucocephala</i> Lam.	Leucena	Leguminosae	E
10	<i>Senna siamea</i> (Lam.) Irwin & Barneby	Cássia ferruginosa	Leguminosae	E
11	<i>Albizia lebbek</i> (L.) Benth.	Albizia	Leguminosae	E
12	<i>Mimosa bimucronata</i> DC Kuntze	Maricá	Leguminosae	N
13	<i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth)	Angico vermelho	Leguminosae	N
14	<i>Prosopis juliflora</i> (SW) DC	Algaroba	Leguminosae	E
15	<i>Casuarina sp</i> L.	Casuarina	Casuarinaceae	E
16	<i>Cinnamomum glaziovii</i> (Mez) Kosterm	Canela-vassoura	Lauraceae	N
17	<i>Lithraea brasiliensis</i> (L)	Aroeira	Anacardiaceae	N
18	<i>Eugenia jambolana</i> Lam.	Jamelão	Mirtaceae	E

Fonte: Joly, 1998; Lorenzi, 1992.

As espécies nativas estão destacadas em azul.

N = Nativas; E = Exóticas

### ❖ Caracterização das Espécies Seleccionadas para a Revegetação

*Acacia mangium* Willd. é uma espécie exótica, originária da Austrália, que pertence à família Leguminosae/Mimosoideae, popularmente conhecida por acácia mangio, sendo cultivada em Minas Gerais, São Paulo e Paraná. A espécie apresenta madeira clara, compacta e muito utilizada para obras de torno, bobina, cabos de ferramenta, lenha e carvão. É uma planta melífera, de porte elegante e de crescimento rápido, pouco exigente quanto ao solo, desenvolve-se muito em terrenos silicosos ou calcáreos, sendo ideal para recuperação de áreas degradadas (Souza, 2000).



**FIGURA 3.5. a) *Acacia mangium* b) detalhe da folhagem** (Fonte: [www.hear.org](http://www.hear.org))

*Acacia holosericea* G. Don é uma espécie exótica, originária da Austrália, que pertence à família Leguminosae/Mimosoideae. Muito utilizada em trabalhos que envolvem recuperação de áreas degradadas pois apresentam rápido crescimento e desenvolvem significativo aporte de serapilheira favorecendo a ciclagem de nutrientes.



**FIGURA 3.6. (a e b) *Acacia holosericea*** (Fonte: [www.anbg.gov.au](http://www.anbg.gov.au))

*Acacia auriculiformis* A. Cunn ex Benth. é uma árvore leguminosa da subfamília das Mimosoideae que pode atingir 16 metros de altura. Espécie endêmica na Austrália, Papua Nova Guiné e na Indonésia, apresenta, dentre suas características principais, rápido crescimento inicial, habilidade em fixar nitrogênio, tolerância a solos áridos, ácidos, alcalinos, salinos ou encharcados e tolerância às estações moderadamente secas. O sistema radicular espalhado, densamente emaranhado, estabiliza terrenos contra erosão. Tais características tornam esta espécie muito útil na recuperação de áreas degradadas, especialmente, áreas mineradas ([www.winrock.org/forestry](http://www.winrock.org/forestry)).



**FIGURA 3.7. a) *Acacia auriculiformis* e b) detalhes da folhagem** (Fonte: [www.anbg.gov.au](http://www.anbg.gov.au))

*Acacia angustissima* (Miller) Kuntze é um arbusto da família das leguminosas de altura variável entre 1 a 3 metros, sendo que alguns exemplares chegam a atingir 7 metros. Apresenta flores brancas. Esta espécie cresce em locais onde o clima é árido e semi-árido e é conhecida pela capacidade de se estabelecer em áreas pobres em nutrientes. Dentre algumas de suas características, destaca-se a capacidade de proteger o solo contra erosão ([www.ansci.cornell.edu](http://www.ansci.cornell.edu)).



FIGURA 3.8. a) e b) *Acacia angustissima* (Fonte: [www.nasa.utep.edu](http://www.nasa.utep.edu))

*Acacia farnesiana* (L.) Willd. É uma espécie nativa, arbustiva pertencente à família das Leguminosas. É considerada muito resistente às condições adversas de solo e umidade e por esta razão é indicada para plantios em áreas degradadas ([www.arbolesornamentales.com](http://www.arbolesornamentales.com)) Pode atingir até 9 metros de altura ([www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)).

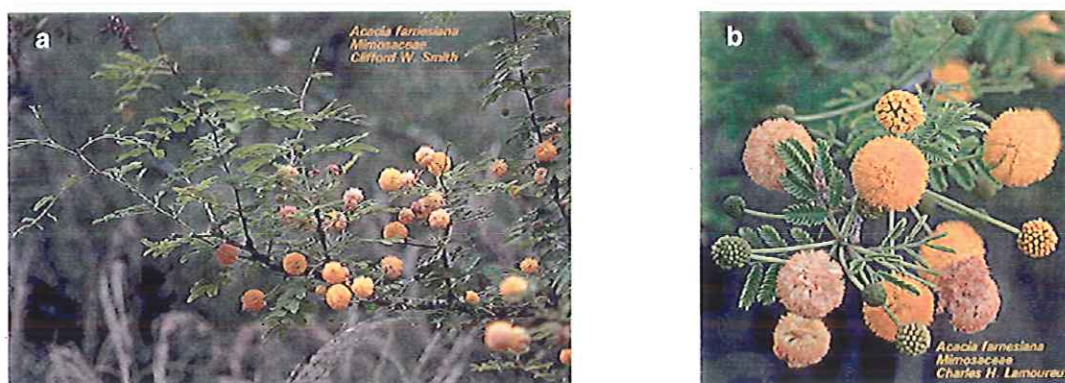


FIGURA 3.9. a) e b) *Acacia farnesiana* (Fonte: [www.hear.org](http://www.hear.org))

*Acacia melanoxylon* R. Br. Espécie nativa da Tasmânia e leste da Austrália, conhecida internacionalmente como "blackwood". Pode atingir de 1,3 a 2,5 m de diâmetro e altura de 45 m. No Brasil, a espécie foi introduzida em pequena escala, em data ignorada, na região sul do país ([www.cnpf.embrapa.br](http://www.cnpf.embrapa.br)).



FIGURA 3.10. a) e b) *Acacia melanoxylon* (Fonte: [www.hear.org](http://www.hear.org))

*Mimosa caesalpinifolia* Benth. (sansão-do-campo/sabiá). Espécie arbustiva, nativa do Brasil, bastante utilizada como cerca viva. Alcança 2 metros em um ano apresentando vasta folhagem e espinhos. Altura máxima de 5 metros. É empregada na recuperação de áreas degradadas pois apresenta rápido crescimento, é tolerante a condições adversas (nutricionais e climáticas) e produz significativo aporte de serapilheira, fato que contribui para o processo de ciclagem de nutrientes.

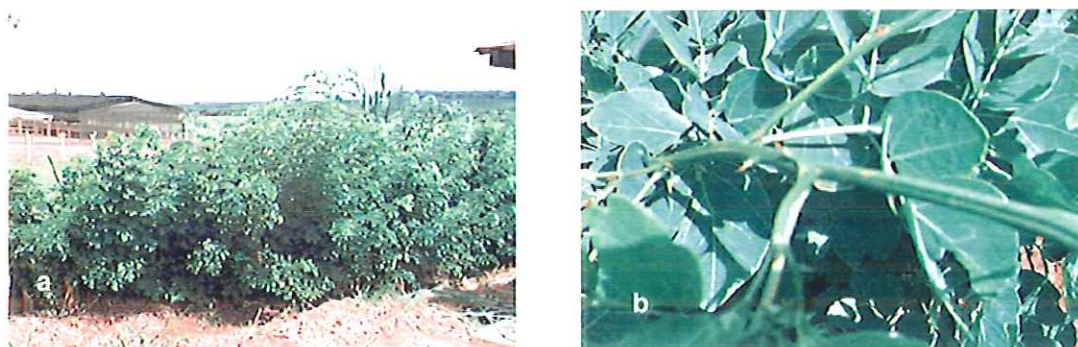


FIGURA 3.11. a) e b) *Mimosa caesalpinifolia* (Fonte: [www.cercasansaodocampo.com.br](http://www.cercasansaodocampo.com.br))

*Enterolobium schomburgkii* Benth. (Fava-orelha-de-macaco; timbaúba). Espécie nativa, distribuída principalmente nos seguintes estados brasileiros: Amazonas, Pará, Acre, Maranhão, Mato Grosso e Goiás. Também é encontrada na América Central e no Peru, Bolívia e Guianas. Caracterizada por ser uma árvore grande podendo atingir 40 m de altura e diâmetro superior a 70 cm. Os frutos são encaracolados e sempre são encontrados debaixo das árvores (www.madeirasdobrasil.eng.br).



**FIGURA 3.12.** *Enterolobium schomburgkii* (Fonte: www.acguanacaste.ac.cr)

*Leucaena leucocephala* Lam. Árvore ou arbusto exótico (Índia), que atinge até 20 metros de altura. Apresenta rápido crescimento e consegue se desenvolver e estabelecer em locais onde as condições do solo, do clima e nutricionais são adversas, tornando-se, desta forma, uma espécie apta a ser utilizada em trabalhos de recuperação ambiental, em especial, nos plantios iniciais, que tem como maior objetivo a contribuição de carbono orgânico que favorecerá a formação do solo. Esta espécie também é resistente a pragas e doenças.



**FIGURA 3.13.** a), b), c) e d) *Leucaena leucocephala* (Fonte: www.hear.org)

*Albizia lebbek* (L.) Benth. Espécie exótica (África tropical, Ásia e Austrália), arbórea, de crescimento moderado, podendo atingir até 30 metros de altura. Dentre suas características está o rápido crescimento, capacidade de fixar nitrogênio e resistência à seca.

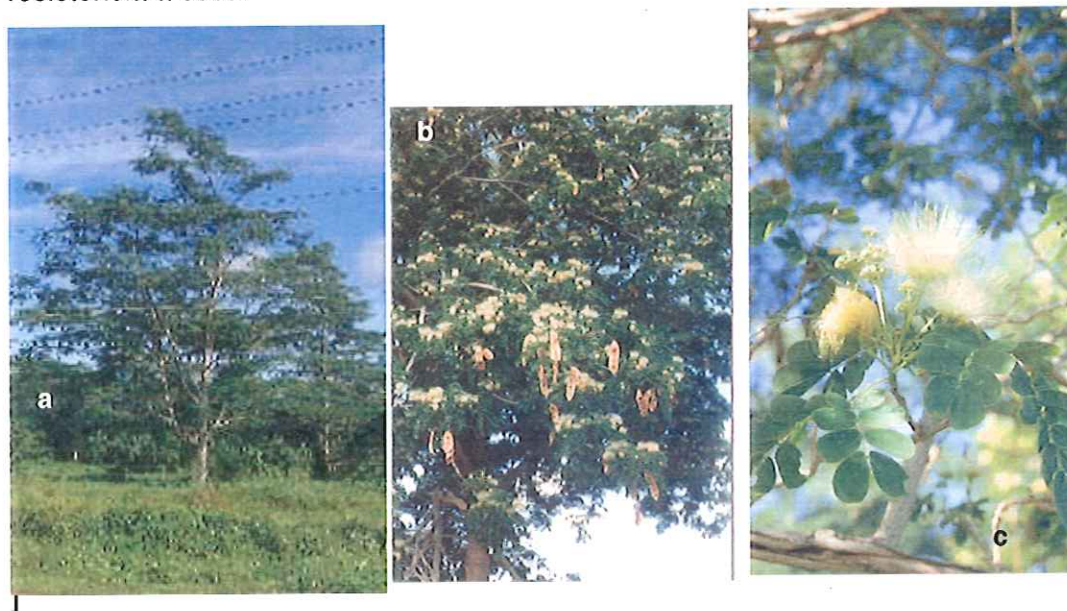


FIGURA 3.14. a), b) e c) *Albizia lebbek* (Fonte: [www.hear.org](http://www.hear.org))



FIGURA 3.15. *Mimosa bimucronata* (Fonte: [www.floraisdosul.com.br](http://www.floraisdosul.com.br))

*Mimosa bimucronata* DC Benth. (maricá). Espécie nativa no sul do Brasil, Argentina e Uruguai. Árvore ou arbusto de até 10m de altura, muito ramificada. Planta espinhenta, de 15-20 m de altura, com tronco de 40-60 cm de diâmetro (Lorenzi, 1992). Espécie de ocorrência comum nos estágios iniciais da colonização arbórea. A presença de dormência física no tegumento da semente é tida como uma das características básicas que garante a perpetuação de espécies heliófitas pioneiras. Nas formações secundárias, sua ocorrência é expressiva em todos os estágios sucessionais, particularmente



nas encosta e topos de morro de terrenos pedregosos e secos. Produz anualmente grande quantidade de sementes que garante sua regeneração natural (Lorenzi, 1992).

*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) (angico). Espécie arbórea nativa do Brasil pertencente a família das Leguminosas. Árvore de médio a grande porte, comuns em capoeiras ou na colonização de áreas abertas. Por se adaptar em locais cujos terrenos são secos, são recomendadas para recuperação ambiental, crescendo muito em solos pobres e degradados ([www.cotianet.com.br](http://www.cotianet.com.br)).



**FIGURA 3.16. a) e b) *Anadenanthera macrocarpa* (angico)** (Fonte: [www.polmil.sp.gov.br](http://www.polmil.sp.gov.br))

*Prosopis juliflora* (SW) DC (algaroba). Espécie leguminosa, xerófita, nativa de regiões áridas que vão do sudoeste americano até a Patagônia, na Argentina, e de alguns desertos africanos. A algarobeira possui raízes pivotantes que vão à busca de água subterrânea e com frequência penetram até 10 metros de profundidade, chegando, às vezes, a profundidades de até 50 metros. No Brasil, as primeiras sementes foram trazidas em 1942, oriundos do deserto de Piura, no Peru. Devido à capacidade da algaroba em transformar terras



**FIGURA 3.17. *Prosopis juliflora*** (Fonte: [www.cct.ufpb.br](http://www.cct.ufpb.br))

áridas em terras produtivas e devido à sua baixa exigência de fertilidade do solo, na década de 70, o Governo Brasileiro, por meio do IBDF, criou um programa de reflorestamento para a região semi-árida ([www.cct.ufpb.br](http://www.cct.ufpb.br)). A espécie possui uma estrutura biológica que ajuda na fixação do nitrogênio ao solo e na recuperação de áreas degradadas, entretanto, por outro lado, se mal manejada, pode ser extremamente agressiva ([www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)).



**FIGURA 3.18. *Lithraea brasiliensis***

(Fonte: [www.micol.fcien.edu.uy](http://www.micol.fcien.edu.uy))

*Lithraea brasiliensis* (L). (aroeira)

No Brasil, esta espécie possui ampla distribuição, principalmente na região nordeste. Ocorre desde o Ceará (caatinga) até o Paraná e Mato Grosso do Sul. É mais freqüente nos seguintes estados: Bahia, Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso e Goiás. Está na lista oficial das espécies brasileiras ameaçadas de extinção, na

categoria vulnerável. Na caatinga e no cerrado, atinge 5 a 20 m de altura e 30 a 60 cm de diâmetro. Nas florestas pluviais, sua altura chega a 35 m. ([www.alicesoftware.com](http://www.alicesoftware.com)) O crescimento em volume da aroeira é moderado. Porém, deve-se ressaltar as altas taxas de sobrevivência, obtidas em plantios experimentais, variando de 67% a 100% ([www.ipef.br](http://www.ipef.br)). Planta decídua, heliófita, característica de terrenos secos e rochosos, possui desenvolvimento moderado.

*Eugenia jambolana* (Lam). (Jamelão). Espécie arbórea, exótica (Índia) pertencente à família das Leguminosas, subfamília das Mirtáceas. Árvore de até 10 metros de altura de copa ampla, muito ramificada. Desenvolve-se bem em qualquer tipo de solo, porém permeáveis e profundos. Prefere climas quentes e úmidos, principalmente de regiões litorâneas ([www.bibvirt.futuro.usp.br](http://www.bibvirt.futuro.usp.br)).



**FIGURA 3.19. a) e b) *Eugenia jambolana*** (Fonte: [www.bibvirt.futuro.usp.br](http://www.bibvirt.futuro.usp.br))

*Senna siamea* (Lam.) Irwin & Barneby (Cassia amarela/Cassia ferruginosa). Árvore de rápido crescimento e médio porte (10 a 12 metros de altura). Adequada para compor canteiros de ruas e jardins públicos. Resistente a podações e ao calor excessivo. ([www.tribunadonorte.com.br](http://www.tribunadonorte.com.br)). Ocorrência natural na Tailândia.



**FIGURA 3.20. a) e b) *Senna siamea*** (Fonte: [www.hear.org](http://www.hear.org))

*Cinnamomum* sp. Árvore originária do Ceilão, da Birmânia e da Índia e conhecida há mais de 2.500 anos a.C. pelos chineses. Seu nome é derivado da palavra Indonésia “Kayu manis”, que significa “madeira doce”. Mais tarde recebeu o nome hebreu “quinnamon” que evoluiu para o grego “kinnamon”. Este gênero requer cerca de 1.300 mm de chuva por ano e temperatura média anual superior a 21° C. Pode atingir 9 metros de altura e diâmetro de tronco de 35 cm. As flores são amarelas ou esverdeadas, numerosas e bem pequenas. ([www.jardimdeflores.com.br](http://www.jardimdeflores.com.br)).



**FIGURA 3.21.** *Cinnamomum sp.* (Fonte: [www.jardimdeflores.com.br](http://www.jardimdeflores.com.br))

### 3.5.1 Implantação dos Experimentos

Cerca de 4 meses após o semeio, no dia 5 de fevereiro de 2001, foram instalados dois experimentos de campo na barragem de rejeito.

#### ❖ Experimento 1

O primeiro experimento foi composto por 38 tratamentos que foram formados por uma combinação de 18 espécies + 1 testemunha (ausência de plantas) na presença e na ausência de esterco de curral (2,0 L) na cova de plantio. Um dos objetivos foi avaliar os efeitos da adição do esterco no desenvolvimento inicial das espécies. Cada unidade experimental foi formada por 20 exemplares da mesma espécie que foram plantadas em covas abertas manualmente (25 x 25 x 25) num espaçamento de 2 x 2 m. Todas as covas receberam a adubação básica formada por 125 g de superfosfato simples e 60 g de cloreto de potássio. O experimento foi montado com três repetições para cada tratamento. Ressalta-se que a idéia inicial era a utilização de 19 espécies que somadas à testemunha resultariam em 20 parcelas, no entanto, as sementes da espécie *Piptadenia gonoacantha* não germinaram inviabilizando sua utilização.

#### ❖ Experimento 2

O segundo experimento foi montado com o objetivo de avaliar o potencial de utilização de espécies leguminosas plantadas em consórcio com espécies não leguminosas. Foram utilizadas três espécies leguminosas (*Enterolobium*

*schomburkii*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea*) escolhidas por sorteio e três não leguminosas (aroeira, jamelão e *Cinamomum sp.*) num esquema fatorial (3 x 3) +1, formando 10 tratamentos distribuídos em blocos ao acaso com três repetições. Cada parcela foi formada por 20 plantas, sendo 10 leguminosas e 10 não leguminosas plantadas em espaçamento de 2 x 2 m e com a mesma adubação básica utilizada no primeiro experimento. Para as espécies não leguminosas, foi adicionado além do P e do K, 25 g de sulfato de amônio com cobertura.

Os experimentos foram avaliados quanto à sobrevivência e ao crescimento de plantas (altura, diâmetro de colo e diâmetro a altura do peito). A avaliação da sobrevivência e crescimento das espécies foi tomada aos 4, 12 e 24 meses após o plantio.

A partir destes experimentos foi possível avaliar quais espécies apresentam maior tolerância às condições adversas da barragem de rejeito e quais espécies conseguem se estabelecer contribuindo para o aporte inicial de carbono, bem como favorecer a ciclagem de nutrientes promovendo condições mais favoráveis para o estabelecimento do processo sucessional.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

---

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Experimento 1

#### ❖ Sobrevivência das espécies

Aos 24 meses após sua instalação, o experimento 1 proporciona uma visão satisfatória em termos de incursão de vegetação na paisagem que anteriormente encontrava-se sem uma cobertura vegetal compatível com sua função estética e de proteção do substrato (fotografias 1 e 2)<sup>10</sup>.

Os dados obtidos com a última avaliação de sobrevivência das plantas, realizada aos 24 meses após o plantio, mostra resposta diferenciada das espécies em relação ao potencial de adaptação às condições ambientais a que foram submetidas (Tabela 4.1). As espécies *Cinnamomum glaziovii*, *Anadenanthera macrocarpa*, *Senna seamea*, *Eugenia jambolana* apresentaram 100% de mortalidade inviabilizando a utilização destas espécies como pioneiras em um programa de revegetação dos depósitos de rejeito da Companhia Mineira de Metais em Vazante, MG. Por outro lado, independentemente da adição de esterco na cova de plantio, as espécies *Acacia holosericea*, *Acacia farnesiana*, *Acacia auriculiformis*, *Mimosa caesalpinifolia*, *Leucaena leucocephala*, *Mimosa birmucronata*, *Enterolobium schomburkii* e *Prosopis juliflora* apresentaram taxas de sobrevivência superiores a 70% (Tabela 4.1). Este valor de 70% de sobrevivência foi adotado como referência porque separa, estatisticamente, aquelas espécies das demais que apresentaram baixa capacidade de adaptação às condições ambientais (Tabela 4.1).

---

<sup>10</sup> Mais fotografias do experimento poderão ser apreciadas no anexo desta dissertação.

Apesar de não se ter observado um efeito médio, entre espécies, de adição de MO na cova de plantio significativo ( $\leq 5\%$  de probabilidade), a análise deste efeito individualmente para cada espécie mostrou que para duas espécies arbóreas (*A. mangium* e *A. melanoxylum*) e para as espécies arbustivas (*A. angustissima*, *A. farnesiana* e *M. caesalpiniiifolia*) houve efeito significativo daquela adição, possibilitando taxa de sobrevivência maior para as plantas que receberam esterco de curral na cova de plantio.

A exceção da espécie *L. brasiliensis* que apresentou taxa de sobrevivência significativamente superior para as plantas que não receberam a matéria orgânica, para as demais espécies não foram observados efeitos significativos ou apenas uma tendência para taxas de sobrevivência superiores para as plantas que receberam o esterco na cova de plantio (Tabela 4.2).

**Tabela 4.1 Valores médios de sobrevivência das diferentes espécies avaliadas no experimento 1 aos 24 meses após o plantio**

Espécie	Sobrevivência *	
	%	
<i>Prosopis juliflora</i>	95,8	A
<i>Acacia farnesiana</i>	95,8	A
<i>Acacia holosericea</i>	92,5	AB
<i>Acacia auriculiformis</i>	86,7	ABC
<i>Enterolobium schomburkii</i>	80,0	ABC
<i>Leucaena leucocephala</i>	79,2	ABC
<i>Mimosa bimucronata</i>	77,5	BC
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	75,8	BC
<i>Albizia lebbek</i>	70,8	C
<i>Acacia mangium</i>	50,8	D
<i>Acacia angustissima</i>	42,5	DE
<i>Acacia melanoxylon</i>	27,5	EF
<i>Lithraea brasiliensis</i>	14,2	F

\*Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Duncan.





Fotografia 1. Visão parcial do depósito de rejeito da CMM antes da instalação do experimento 1.



Fotografia 2. Visão parcial do depósito de rejeito da CMM aos 24 meses após a instalação do experimento 1.

Das 17 espécies avaliadas e submetidas a adição de MO, 9 ou 53% obtiveram taxa de sobrevivência superior a 70%. Destas, 4 são consideradas nativas e 5 exóticas<sup>11</sup>. Dentre as que não receberam adição de MO na cova de plantio, 8 (47%) obtiveram taxa de sobrevivência superior a 70%. Destas, 4 são nativas e 4 são exóticas.

Dentre as quatro espécies que não sobreviveram aos dois primeiros anos de experimento é interessante notar que três não pertencem à família *Leguminosae* e a única que pertence (*Senna seamea*) não apresenta simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico. Comportamento semelhante foi observado por FRANCO *et al.* (1995) ao compararem a sobrevivência de espécies leguminosas e não leguminosas plantadas em depósito de rejeito de lavagem de bauxita em Porto Trombetas, Pará.

<sup>11</sup> Nativas: *Acacia farnesiana*, *Enterolobium schomburkii*, *Mimosa bimucronata* e *Mimosa caesalpinifolia*  
Exóticas: *Prosopis juliflora*, *Acacia holosericea*, *Acacia auriculiformis*, *Leucaena leucocephala*, *Albizia lebbek*

**Tabela 4.2 Taxas de sobrevivência das plantas das diferentes espécies na presença e ausência de matéria orgânica na cova de plantio aos 24 meses após o plantio**

ESPÉCIE	Taxa de Sobrevivência	
	sem MO	com MO
	----- % -----	
<i>Leucaena leucocephala</i>	78,3	80,0
<i>Acácia melanoxilon</i>	15,0	40,0
<i>Mimosa bimucronata</i>	71,7	83,3
<i>Enterolobium schomburkii</i>	75,0	85,0
<i>Cinnamomum glaziovii</i>	0,0	0,0
<i>Acacia auriculiformis</i>	85,0	83,3
<i>Lithraea brasiliensis</i>	23,0	5,0
<i>Eugenia jambolana</i>	0,0	0,0
<i>Acacia mangium</i>	43,3	58,3
<i>Senna seamea</i>	0,0	0,0
<i>Acacia angustissima</i>	31,7	53,3
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	71,7	80,0
<i>Acacia holosericea</i>	93,3	91,7
<i>Albizia lebbek</i>	76,7	65,0
<i>Prosopis juliflora</i>	93,3	98,3
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	0,0	0,0
<i>Acacia farnesiana</i>	93,3	98,3
<b>MÉDIA</b>	<b>65,8</b>	<b>70,9</b>

#### ❖ Diâmetro de colo e altura de plantas

Dentre as espécies que apresentaram bom crescimento nas condições de substrato e clima, tanto na presença como na ausência de MO destacam-se a *Acacia auriculiformis*, *Mimosa bimucronata*, *Leucaena leucocephala*, *Acacia holosericea*, *A. mangium* e *Prosopis juliflora* (Tabelas 4.3 e 4.4), sendo dentre estas espécies apenas a *A. mangium* apresentou taxa de sobrevivência menor que 70%.

A análise de variância dos resultados obtidos indicou a inexistência de efeito geral de aplicação de matéria orgânica na cova de plantio sobre o diâmetro de colo e

altura de plantas. Por outro lado, existiu efeito significativo de espécies indicando, como esperado, a existência de um comportamento diferenciado entre elas. Para as espécies *Mimosa caesalpinifolia* e *A. auriculiformis* foi observado efeito significativo da adição de esterco bovino, quer seja para diâmetro de colo como para altura.

Tomando-se os valores de incremento de diâmetro de colo e de altura entre a primeira e a terceira avaliação (Tabela 4.5) observa-se que algumas espécies apresentaram incremento negativo (*Cinnamomum glaziovii*, *Lithraea brasiliensis* e *Senna seamea*). Apesar de aparentemente estranho, estes resultados refletem as pequenas variações que normalmente ocorrem nas medições e, no caso da altura de plantas, as células do meristema apical podem vir a morrer com o déficit hídrico, paralisando o crescimento em altura. De qualquer maneira, os valores negativos indicam que as espécies não estão se adaptando as condições de substrato e/ou clima locais. Este raciocínio é válido na medida em que podem ser observadas espécies que apresentaram significativos valores de incremento como *Acacia holosericea*, *Acacia angustissima*, *Acacia auriculiformis*, *Mimosa birmucronata* e *Leucaena leucocephala*.

Analisando-se os valores percentuais de incremento de diâmetro de colo observados entre a primeira e a segunda avaliação e entre a segunda e terceira avaliação (Tabela 4.6), observa-se clara tendência para que durante o segundo período de crescimento analisado a maior parte das espécies apresentou taxa de acúmulo de biomassa superior. Neste período, o valor médio de incremento de diâmetro foi da ordem de 42,7%, enquanto que no primeiro período foi de 31,7%.

Durante o segundo período espécies como *A. auriculiformis*, *A. lebbek*, *M. birmucronata* e *M. caesalpinifolia* apresentaram incrementos da ordem de 50% no diâmetro de colo. Este comportamento pode ter ocorrido em função de um maior crescimento do sistema radicular, permitindo maior exploração de volume de solo. Em se tratando de uma região onde a ocorrência de déficit hídrico se manifesta em pelo menos quatro meses ao longo do ano, a exploração de um maior volume de solo pode garantir maior disponibilidade de água. Por outro lado, há de se considerar que o primeiro período compreendeu oito meses, enquanto o segundo período 12 meses.

**Tabela 4.3 Valores de diâmetro de colo de plantas de diferentes espécies na presença e na ausência de matéria orgânica, aos 24 meses após o plantio**

ESPÉCIE	DIÂMETRO DE COLO	
	sem MO	com MO
	----- cm -----	
<i>Leucaena leucocephala</i>	4,12	5,2
<i>Acácia melanoxilon</i>	2,94	1,23
<i>Mimosa bimucronata</i>	4,55	6,01
<i>Enterolobium schomburkii</i>	2,47	4,16
<i>Cinnamomum glaziovii</i>	0	0
<i>Acacia auriculiformis</i>	6,4	8,27
<i>Lithraea brasiliensis</i>	1,70	2,07
<i>Eugenia jambolana</i>	0	0
<i>Acacia mangium</i>	3,15	3,29
<i>Senna seamea</i>	0	0
<i>Acacia angustissima</i>	2,92	3,76
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	3,32	4,76
<i>Acacia holosericea</i>	4,06	3,74
<i>Albizia lebbek</i>	3,86	4,27
<i>Prosopis juliflora</i>	3,29	4,23
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	0,06	0,91
<i>Acacia farnesiana</i>	3,27	3,96
<b>MÉDIA</b>	<b>3,29</b>	<b>3,99</b>

**Tabela 4.4 Valores de altura de plantas de diferentes espécies na presença e na ausência de matéria orgânica, aos 24 meses após o plantio**

ESPÉCIE	ALTURA	
	sem MO	com MO
	----- m -----	
<i>Leucaena leucocephala</i>	3,82	3,98
<i>Acacia melanoxylon</i>	2,60	1,05
<i>Mimosa bimucronata</i>	3,16	3,53
<i>Enterolobium schomburkii</i>	1,53	2,46
<i>Cinnamomum glaziovii</i>	0	0
<i>Acacia auriculiformis</i>	3,82	4,42
<i>Lithraea brasiliensis</i>	0,16	0,17
<i>Eugenia jambolana</i>	0	0
<i>Acacia mangium</i>	2,53	2,72
<i>Senna seamea</i>	0	0
<i>Acacia angustissima</i>	2,48	2,99
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	2,01	2,81
<i>Acacia holosericea</i>	3,07	3,26
<i>Albizia lebbek</i>	2,33	1,70
<i>Prosopis juliflora</i>	2,29	2,97
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	0,13	0,37
<i>Acacia farnesiana</i>	1,19	2,40
<b>MÉDIA</b>	<b>2,22</b>	<b>2,49</b>

O mesmo cálculo de incremento percentual foi realizado para os valores de altura de plantas (Tabela 4.7). Diferentemente do observado para diâmetro de colo, o maior ganho em altura ocorreu durante o primeiro período de avaliação, com valores médios de 38,6% de incremento, enquanto que no segundo período o valor médio foi de 28,6%.

Interessante deste comportamento é que dos oito meses que compreenderam este período, pelo menos três meses são passíveis de ocorrência de déficit hídrico. Em função da existência de períodos de déficit hídrico algumas espécies mais sensíveis, como discutido anteriormente, apresentaram morte de meristema apical, paralisando o crescimento em altura.

Com o início do período chuvoso, estas espécies voltam a apresentar crescimento a partir de brotações que surgem abaixo daquele ponto. Desta maneira, o crescimento em altura é diretamente afetado pela ocorrência deste processo.

A questão de déficit hídrico é particularmente importante para o processo de revegetação das barragens de rejeito da Companhia Mineira de Metais em Vazante, porque o rejeito apresenta 61% de partículas pertencentes a fração granulométrica areia e apenas 0,9 dag/kg de matéria orgânica. Ou seja, estas características sugerem uma baixa capacidade de retenção de umidade.

Este fato foi comprovado a partir da elaboração da curva de retenção de umidade sob diferentes tensões, onde se pode observar teores de umidade da ordem de 19,7% e de 1,7% para as tensões de 0,3 e 15 bar, que equivalem a capacidade de campo e ponto de murcha permanente, respectivamente.

Comparativamente a solos, estes valores indicam que o substrato existente na barragem de rejeito impõe limitações à vegetação quanto a seu potencial de armazenamento de água.

Adicionalmente, na ocasião do plantio do experimento abriram-se três trincheiras no substrato de 1,8 m de profundidade a fim de verificar a distribuição vertical de partículas e a umidade ao longo do perfil. Observou-se que até 1,0 m da superfície o substrato mostrava-se homogêneo, quanto sua composição granulométrica, com predomínio da fração areia, e com baixa umidade residual. Embora o plantio tenha sido feito ao final do período chuvoso, quando se esperava maior volume de água retida.

Em processos de revegetação de rejeitos de mineração as características físicas do substrato podem apresentar sérias limitações ao estabelecimento de plantas (DIAS, 1998), entre elas a disponibilidade de água.

Materiais de textura arenosa, com baixa estruturação depositados em amplas barragens susceptíveis a constantes ventos e irradiação solar direta é um típico cenário de barragem de depósito de rejeito de mineração (DANIELS E STEWART, 2000), que igualmente caracteriza a barragem de rejeito da Companhia Mineira de Metais em Vazante, MG.

A menor taxa de crescimento verificada entre a segunda e a terceira avaliação sugere a ocorrência de um fator limitante que tenha proporcionado esta redução no ritmo de crescimento das plantas. Neste sentido, a avaliação da disponibilidade de

nutrientes no substrato, acompanhada de uma análise foliar poderá indicar se aspectos nutricionais, ou mesmo de toxidez por excesso de metais, estariam afetando o crescimento das plantas.

Esta hipótese baseia-se pelo fato de que muitas espécies estão apresentando um ritmo de crescimento aquém do seu potencial e, como observado em campo, a existência de alterações foliares que sugerem distúrbios fisiológicos.

**Tabela 4.5 Valores de incremento de diâmetro de colo e de altura de plantas das diferentes espécies, observadas entre a primeira e a terceira avaliação aos 24 meses após o plantio**

ESPÉCIE	TRATAMENTO	INCREMENTO	
		DIÂMETRO	ALTURA
----- cm -----			
<i>Leucaena leucocephala</i>	com MO	15,86	151,23
	sem MO	14,6	147,44
<i>Acacia melanoxylon</i>	com MO	8,26	97,55
	sem MO	4,96	65,57
<i>Mimosa birmucronata</i>	com MO	16,4	116,12
	sem MO	18,28	136,32
<i>Enterolobium esconburkii</i>	com MO	9,05	72,23
	sem MO	8,52	60,69
<i>Cinnamomum glaziovii</i>	com MO	-1,66	-9,1
	sem MO	-0,65	2,86
<i>Acacia auriculiformis</i>	com MO	26,35	147,2
	sem MO	19,77	133,57
<i>Casuarina sp.</i>	com MO	-0,67	-6,5
	sem MO	0,64	10,79
<i>Lithraea brasiliensis</i>	com MO	-0,87	-7,62
	sem MO	-0,54	-5,03
<i>Eugenia jambolana</i>	com MO	-	-
	sem MO	-	-
<i>Acacia mangium</i>	com MO	12,4	90,09
	sem MO	13,96	88,55
<i>Senna seamea</i>	com MO	0,3	-3,5
	sem MO	0,9	-13,9
<i>Acacia angustissima</i>	com MO	15,21	152,05
	sem MO	11,11	143,22
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	com MO	13,11	119,47
	sem MO	8,42	91,51
<i>Acacia holosericea</i>	com MO	15,98	142,28
	sem MO	17,27	152,69
<i>Albizia lebbek</i>	com MO	9,59	69,72
	sem MO	6,71	57,61
<i>Prosopis ruscifolia</i>	com MO	16,29	85,53
	sem MO	14,85	76,55
<i>Anadenathera macrocarpa</i>	com MO	0,65	-4,2
	sem MO	-1,09	-3,08
<i>Acacia farnesiana</i>	com MO	11,6	88,59
	sem MO	8,76	78,93



Tabela 4.6 Valores percentuais de incremento de diâmetro de colo observados entre a primeira e segunda avaliação (INC 1) e entre a segunda e terceira avaliação (INC 2)

ESPÉCIE	TRATAMENTO	INCREMENTO DE DIÂMETRO DE COLO	
		INC 1	INC 2
		----- % -----	
<i>Leucaena leucocephala</i>	com MO	33,5	46,9
	sem MO	32,9	44,4
<i>Acacia melanoxylon</i>	com MO	10,3	15,6
	sem MO	40,3	36,8
<i>Mimosa birmucronata</i>	com MO	33,6	53,6
	sem MO	32,5	46,4
<i>Enterolobium esconburkii</i>	com MO	31,3	49,0
	sem MO	17,1	55,1
<i>Cinnamomum glaziovii</i>	com MO	-	-
	sem MO	-	-
<i>Acacia auriculiformis</i>	com MO	31,9	55,1
	sem MO	32,2	51,6
<i>Lithraea brasiliensis</i>	com MO	-	-
	sem MO	10,8	-
<i>Eugenia jambolana</i>	com MO	-	-
	sem MO	-	-
<i>Acacia mangium</i>	com MO	31,1	47,9
	sem MO	52,2	23,2
<i>Senna seamea</i>	com MO	-	-
	sem MO	-	-
<i>Acacia angustissima</i>	com MO	33,9	48,0
	sem MO	38,6	40,4
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	com MO	31,4	50,2
	sem MO	33,9	48,0
<i>Acacia holosericea</i>	com MO	48,5	23,3
	sem MO	40,5	30,6
<i>Albizia lebbek</i>	com MO	11,3	59,9
	sem MO	28,0	54,7
<i>Prosopis ruscifolia</i>	com MO	42,2	26,8
	sem MO	40,7	21,7
<i>Anadenathera macrocarpa</i>	com MO	-	-
	sem MO	-	-
<i>Acacia farnesiana</i>	com MO	30,7	46,4
	sem MO	24,7	48,9

Tabela 4.7 Valores percentuais de incremento de altura observados entre a primeira e segunda avaliação (INC 1) e entre a segunda e terceira avaliação (INC 2)

ESPÉCIE	TRATAMENTO	INCREMENTO DE ALTURA	
		INC 1	INC 2
		----- % -----	
<i>Leucaena leucocephala</i>	com MO	41,5	44,3
	sem MO	35,9	48,5
<i>Acacia melanoxylon</i>	com MO	15,9	10,6
	sem MO	51,9	25,6
<i>Mimosa birmucronata</i>	com MO	40,7	36,9
	sem MO	41,0	33,9
<i>Enterolobium esconburkii</i>	com MO	39,7	42,9
	sem MO	20,8	46,5
<i>Cinnamomum glaziovii</i>	com MO	-	-
	sem MO	-	-
<i>Acácia auriculiformis</i>	com MO	36,9	46,0
	sem MO	30,6	47,9
<i>Lithraea brasiliensis</i>	com MO	21,3	-
	sem MO	-	-
<i>Eugenia jambolana</i>	com MO	-	-
	sem MO	-	-
<i>Acacia mangium</i>	com MO	28,1	53,5
	sem MO	42,2	35,3
<i>Senna seamea</i>	com MO	-	-
	sem MO	-	-
<i>Acacia angustissima</i>	com MO	47,0	30,9
	sem MO	47,6	31,4
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	com MO	47,6	32,8
	sem MO	39,0	30,9
<i>Acacia holosericea</i>	com MO	46,1	29,1
	sem MO	47,3	25,6
<i>Albizia lebbek</i>	com MO	38,1	34,4
	sem MO	30,3	56,8
<i>Prosopis ruscifolia</i>	com MO	30,5	30,9
	sem MO	30,5	19,8
<i>Anadenathera macrocarpa</i>	com MO	4,0	8,0
	sem MO	-	4,6
<i>Acacia farnesiana</i>	com MO	39,7	29,7
	sem MO	37,4	27,6

## 4.2. Experimento 2

### ❖ Taxa de sobrevivência

A avaliação do experimento 2 realizada aos 4, 12 e 24 meses após o plantio, mostrou efeito significativo de tratamentos e de espécies sobre a taxa de sobrevivência das espécies (Tabela 4.8). De maneira geral as espécies leguminosas apresentaram boa taxa de sobrevivência, com exceção da *A. mangium*. É importante notar como as espécies não leguminosas apresentaram maior sobrevivência e melhor crescimento quando plantadas em consórcio com as espécies leguminosas. Este efeito é muito claro considerando-se que as espécies *E. jambolana* e *C. glaziovii* apresentaram 100% de mortalidade no experimento 1, onde foram plantadas em parcelas na forma de plantios puros.

O interessante destes resultados é que os efeitos foram observados com apenas 12 meses após o plantio, em uma fase importante, pois pode significar o estabelecimento ou não da espécie (Fotografias 3 e 4). Deve-se considerar que o espaçamento entre plantas adotado (2 x 2 m) foi menor que aquele usualmente adotado para plantios comerciais, fato que certamente pode ter influenciado para uma contribuição mais rápida das espécies leguminosas sobre o estabelecimento das não leguminosas, como suprimento indireto de nutrientes via exsudatos radiculares e decomposição de serapilheira, bem como barreira física de proteção ao sol e a ventos, diminuindo a evapotranspiração por parte das espécies não leguminosas e, conseqüentemente, a necessidade de água.

Já para a avaliação aos 24 meses após o plantio observou-se significativa morte de indivíduos de todas as espécies, tanto das leguminosas como não leguminosas, indicando a ocorrência de fator limitante ao estabelecimento das espécies (Tabela 4.8). Dentre as espécies não leguminosas as taxa de sobrevivência foram da ordem de 3,3% para *E. jambolana*, 6,7 para *C. glaziovii* e 38,9% para *L. brasiliensis*. Entre as espécies leguminosas a menor taxa de sobrevivência foi observada para a *A. mangium* com um valor médio de 53,3%, seguida da *A. holosericea* com 78,9% e do *E. scomburkii* com 80,0%.



Fotografia 3. *Acacia mangium* e *Cinnamomum glaziovii*



Fotografia 4. *Acacia mangium* e *Acacia auriculiformis*

**Tabela 4.8 Valores médios de taxa de sobrevivência aos 4, 12 e 24 meses após o plantio de espécies leguminosas e não leguminosas em função dos diferentes tratamentos do experimento 2**

TRATAMENTO	ESPÉCIE	SOBREVIVÊNCIA		
		4 meses	12 meses	24 meses
		----- % -----		
1	<i>E. scomburkii</i>	80,0	76,7	76,7
	<i>L. brasiliensis</i>	73,3	53,3	30,0
2	<i>A. holosericea</i>	96,7	93,3	73,3
	<i>L. brasiliensis</i>	50,0	46,7	36,7
3	<i>A. holosericea</i>	93,3	93,3	83,3
	<i>E. jambolana</i>	33,3	33,3	0,0
4	<i>A. mangium</i>	90,0	73,3	53,3
	<i>C. glaziovii</i>	76,7	53,3	16,7
5	<i>A. mangium</i>	90,0	70,0	60,0
	<i>E. jambolana</i>	23,3	23,3	6,7
6	<i>E. scomburkii</i>	86,7	80,0	76,7
	<i>E. jambolana</i>	43,3	26,7	3,3
7	<i>A. mangium</i>	66,7	60,0	46,7
	<i>L. brasiliensis</i>	73,3	66,7	50,0
8	<i>A. holosericea</i>	96,7	90,0	80,0
	<i>C. glaziovii</i>	70,0	60,0	3,3
9	<i>E. scomburkii</i>	96,7	93,3	86,7
	<i>C. glaziovii</i>	63,3	50,0	0,0

A Tabela 4.9 apresenta os resultados das avaliações de diâmetro de colo aos 4, 12 e 24 meses após o plantio. Aos 12 meses após o plantio já se observava uma clara tendência das espécies não leguminosas não se adaptarem às condições de substrato, apesar da presença das espécies leguminosas. Entre as duas primeiras avaliações houve redução no diâmetro de colo e, entre a segunda e a terceira avaliações este comportamento foi mais intenso. A redução no diâmetro de colo mostra claramente que

os maiores indivíduos foram aqueles que apresentaram menor plasticidade às condições adversas.

Entre as espécies leguminosas a *A. mangium* foi a que apresentou maior incremento de diâmetro de colo, seguida da *A. holosericea* e do *E. scomburkii* (Tabela 4.8) indicando que, ao contrário do observado para as espécies não leguminosas, apesar da taxa de sobrevivência também ter reduzido para as leguminosas, os indivíduos que sobreviveram continuam a apresentar um acúmulo de biomassa.

**Tabela 4.9 Valores médios de diâmetro de colo aos 4, 12 e 24 meses após o plantio de espécies leguminosas e não leguminosas em função dos diferentes tratamentos do experimento 2**

TRATAMENTO	ESPÉCIE	DIÂMETRO		
		4 meses	12 meses	24 meses
		----- cm -----		
1	<i>E. scomburkii</i>	5,20	5,73	15,20
	<i>L. brasiliensis</i>	4,23	3,47	2,47
2	<i>A. holosericea</i>	11,53	30,50	48,03
	<i>L. brasiliensis</i>	4,17	4,23	3,67
3	<i>A. holosericea</i>	10,43	30,27	51,80
	<i>E. jambolana</i>	2,53	1,93	0,00
4	<i>A. mangium</i>	7,90	26,60	47,57
	<i>C. glaziovii</i>	6,67	3,33	0,00
5	<i>A. mangium</i>	7,00	25,23	47,10
	<i>E. jambolana</i>	2,37	2,10	0,77
6	<i>E. scomburkii</i>	5,57	9,70	16,00
	<i>E. jambolana</i>	2,03	1,40	0,23
7	<i>A. mangium</i>	6,60	13,53	20,33
	<i>L. brasiliensis</i>	4,30	3,37	3,10
8	<i>A. holosericea</i>	10,60	38,77	53,57
	<i>C. glaziovii</i>	4,70	3,90	0,23
9	<i>E. scomburkii</i>	5,20	7,37	12,37
	<i>C. glaziovii</i>	3,50	4,10	0,00

As avaliações de altura de plantas aos 4, 12 e 24 meses após o plantio (Tabela 4.10) corroboram com os resultados de diâmetro de colo e enfatizam a dificuldade que as espécies não leguminosas vêm enfrentando para seu estabelecimento. Para a maioria dos tratamentos avaliados as espécies não leguminosas apresentaram incremento negativo de altura, enquanto que as leguminosas apresentaram incrementos positivos da ordem de 102 cm, 90 cm e 36 cm para *A. mangium*, *A. holosericea* e *E. scomburkii*, respectivamente.

A fim de comparar o potencial de estabelecimento e crescimento das espécies não leguminosas na presença das diferentes espécies leguminosas e plantadas isoladamente (experimento 1) as Tabelas 4.11 e 4.12 sintetizam os valores de sobrevivência e altura de plantas aos 12 e 24 meses após a instalação dos experimentos.

Aos 12 meses após o plantio observava-se um efeito positivo das espécies leguminosas, principalmente em relação a sobrevivência das espécies não leguminosas. Este efeito é evidente ao se comparar a taxa de sobrevivência da *L. brasiliensis* em plantio puro (35%) e em consórcio com a *A. mangium* (66,7%) e da *C. glaziovii* em plantio puro (35%) em consórcio com a *A. holosericea* (60,0%). Para a espécie *E. jambolana* este efeito não existiu, pelo contrário, a sobrevivência foi maior em plantio puro. Em termos de crescimento este efeito é observado apenas para a *L. brasiliensis* que teve sua altura média aumentada de 24,1 para 41,0 cm, 35,0 cm e 26,3 cm em consórcio com a *A. holosericea*, *E. scomburkii* e *A. mangium*, respectivamente (Tabela 4.11). Para as demais situações ainda não se verificaram efeitos evidentes da presença de espécies leguminosas.

Aos 24 meses após o plantio os resultados de sobrevivência e altura mostram claramente que houve um benefício das espécies leguminosas sobre as não leguminosas apenas para a espécie *L. brasiliensis* que teve sua sobrevivência aumentada de 5% para 30%, 36,7% e 50,0%, respectivamente para os consórcios com *E. scomburkii*, *A. holosericea* e *A. mangium*. Em termos de crescimento a altura média dos indivíduos de *L. brasiliensis* aumentou de 16 cm para 28,0 cm, 28,7 cm e 35,3 cm quando em consórcio com a *A. mangium*, *E. scomburkii* e *A. holosericea*, respectivamente (Tabela 4.12).

Consórcio de espécies leguminosas com não leguminosas é uma prática que vem sendo utilizada pela agropecuária há muito tempo, proporcionando resultados ora

positivos, ora negativos. Um dos aspectos mais importantes ao se planejar um consórcio deste tipo é a compatibilidade das espécies em relação a seu hábito de crescimento, arquitetura de planta e demanda por nutrientes e água.

Regiões susceptíveis a déficit hídrico a competição por água entre as espécies pode limitar o crescimento de uma ou de ambas as espécies. Um fator importante nesta competição refere-se a profundidade e volume do sistema radicular das espécies. Espécies com sistema radicular mais profundo e de maior volume apresentarão maior plasticidade frente a déficits hídricos.

A *A. mangium* e *A. holosericea* possuem um sistema radicular muito vigoroso em termos de volume de raízes, mesmo em condições adversas como substratos muito compactados, as raízes não se aprofundam, mas exploram lateralmente grande extensão de solo. Este fato foi observado por FRANCO et al. (1999) avaliando o comportamento de espécies leguminosas arbóreas plantadas em estéril sem retorno de solo superficial e em tanques de depósito de rejeito de lavagem de bauxita em Porto Trombetas, PA.



Tabela 4.10 Valores médios de altura de plantas aos 4, 12 e 24 meses após o plantio de espécies leguminosas e não leguminosas em função dos diferentes tratamentos do experimento 2

TRATAMENTO	ESPÉCIE	ALTURA		
		4 meses	12 meses	24 meses
		----- cm -----		
1	<i>E. scomburkii</i>	33,00	52,67	82,67
	<i>L. brasiliensis</i>	38,33	35,00	28,67
2	<i>A. holosericea</i>	94,33	256,00	331,67
	<i>L. brasiliensis</i>	42,33	41,00	35,33
3	<i>A. holosericea</i>	86,67	236,00	351,00
	<i>E. jambolana</i>	8,33	10,33	0,00
4	<i>A. mangium</i>	51,33	167,33	293,67
	<i>C. glaziovii</i>	33,00	27,67	0,00
5	<i>A. mangium</i>	48,00	162,67	264,33
	<i>E. jambolana</i>	8,67	11,00	7,33
6	<i>E. scomburkii</i>	46,33	80,67	120,00
	<i>E. jambolana</i>	6,67	7,33	1,67
7	<i>A. mangium</i>	46,67	88,33	172,00
	<i>L. brasiliensis</i>	40,00	26,33	28,00
8	<i>A. holosericea</i>	95,00	280,67	362,33
	<i>C. glaziovii</i>	40,33	39,00	6,67
9	<i>E. scomburkii</i>	28,33	61,33	100,67
	<i>C. glaziovii</i>	27,00	39,00	0,00

Tabela 4.11 Taxa de sobrevivência e altura de plantas de espécies não leguminosas em função do plantio puro no experimento 1 e em consórcio com diferentes espécies leguminosas, no experimento 2, aos 12 meses após o plantio

Espécie não leguminosa	Plantio puro	Espécie leguminosa		
		<i>E. scomburkii</i>	<i>A mangium</i>	<i>A holosericea</i>
Sobrevivência				
----- % -----				
<i>L. brasiliensis</i>	35	53,3	66,7	46,7
<i>E. jambolana</i>	45	26,7	23,3	33,3
<i>C. glaziovii</i>	35	50,0	53,3	60,0
----- cm -----				
<i>L. brasiliensis</i>	24,1	35,0	26,3	41,0
<i>E. jambolana</i>	10,3	7,3	11,0	10,3
<i>C. glaziovii</i>	37,1	39,0	27,7	39,0

Tabela 4.12 Taxa de sobrevivência e altura de plantas de espécies não leguminosas em função do plantio consorciado com diferentes espécies leguminosas aos 24 meses após o plantio

Espécie não leguminosa	Plantio puro	Espécie leguminosa		
		<i>E. scomburkii</i>	<i>A mangium</i>	<i>A holosericea</i>
Sobrevivência				
----- % -----				
<i>L. brasiliensis</i>	5,0	30,0	50,0	36,7
<i>E. jambolana</i>	0,0	3,3	6,7	0,0
<i>C. glaziovii</i>	0,0	0,0	16,7	3,3
----- cm -----				
<i>L. brasiliensis</i>	16	28,7	28,0	35,3
<i>E. jambolana</i>	0,0	1,7	7,3	0,0
<i>C. glaziovii</i>	0,0	0,0	0,0	6,7

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento inicial das plantas nos experimentos foi muito prejudicado em função da época de plantio não ter sido muito favorável. As plantas passaram por um longo período de déficit hídrico nos meses subseqüentes ao plantio. Este efeito é muito claro ao se comparar as plantas de *A. mangium* que foram plantadas fora da área experimental, algumas semanas antes do plantio dos experimentos. No entanto, o período chuvoso subseqüente proporcionou condições mais favoráveis ao crescimento e, de maneira geral, as plantas responderam apresentando um bom desenvolvimento.

Observa-se uma clara tendência das espécies leguminosas apresentarem maior capacidade de adaptação e de crescimento. Dentre estas, as acácias têm se destacado de maneira muito clara. Os resultados com o segundo experimento mostram que ao longo dos primeiros 12 meses após o plantio as espécies leguminosas proporcionaram maior taxa de sobrevivência e de crescimento para as espécies não leguminosas. Aos 24 meses após o plantio, este efeito não ocorreu devido a elevada mortalidade de indivíduos das espécies não leguminosas, possivelmente em função da competição entre plantas das duas espécies por água e nutrientes.

O estudo realizado em área experimental de barragem de rejeitos da Companhia Mineira de Metais em Vazante, MG concluiu que as espécies mais indicadas para a 1ª etapa da revegetação são: *Acacia holosericea*, *Acacia farnesiana*, *Acacia auriculiformis*, *Mimosa caesalpinifolia*, *Leucaena leucocephala*, *Mimosa birmucronata*, *Enterolobium schomburkii* e *Prosopis juliflora*.

Sugere-se que os trabalhos de revegetação sejam continuados considerando, a partir de agora, o enriquecimento da área através da utilização de espécies nativas da região.

A utilização de espécies leguminosas fixadoras de N atmosférico neste trabalho foi essencial. Dentre as quatro espécies que não sobreviveram aos dois primeiros anos de experimento (experimento 1) não pertencem a família *Leguminosae* e a única que pertence (*Senna seamea*) não apresenta simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico.

A adição de matéria orgânica não apresentou efeito médio entre as espécies, conforme mostrou os resultados, todavia, a análise deste efeito individualmente para cada espécie foi significativa (*A mangium*, *A melanoxilon*, *A angustissima*, *A farnesiana* e *M. caesalpinifolia*) possibilitando taxa de sobrevivência maior.

Com o experimento 2 conclui-se que o sucesso do consórcio de espécies leguminosas e não leguminosas depende da escolha das espécies a serem combinadas, de maneira que não exista uma efetiva competição por água, nutrientes e luz que possa prejudicar as espécies de menor plasticidade. Das combinações avaliadas, as de maiores potencialidades para o programa de revegetação de barragens de rejeito da CMM são aquelas envolvendo a espécie *L. brasiliensis*.

No entanto, o leque de espécies ainda não é satisfatório. Faz-se necessário que novos experimentos sejam conduzidos no sentido de se buscar maior número de espécies, preferencialmente nativas, para que o programa de revegetação dos depósitos de rejeito apresente um elevado potencial de sustentabilidade e de harmonia com a paisagem da região.

Sugere-se, também, como pesquisa futura as possíveis mudanças no substrato e na dinâmica de nutrientes da área estudada e, também, a avaliação da existência ou não de fitotoxidez.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, W.A. & MELLO, J.W.V. (1998). **Fundamentos de pedologia e geologia de interesse no processo de recuperação de uma área degradada.** In Recuperação de áreas degradadas/ Editado por Luiz Eduardo Dias, Jaime Wilson Vargas de Mello. Departamento de Solos – Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas.

BARRETO, M.L. (2001). **Projeto Mineração, Minerais e Desenvolvimento Sustentável – MMSD: Relatório do Brasil.** Maria Laura Barreto (coord.). CETEM, Brasília, DF.

BRADSHAW, A. (1997). **Restoration of mines lands – using natural processes.** Ecological Engineering 8: 255-269.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. (1999) **Conservação do solo.** Ed. Ícone, 4<sup>a</sup> edição, São Paulo, SP.

BIDWELL, J. G. (1996). **Reclamation of the Usibelli coal mine near fairbanks, Alaska.** Spring. Restoration Case Studies.

BRANDT. (2001). **Mina subterrânea: *willemita*.** Estudo de Impacto Ambiental – EIA. BRANDT Meio Ambiente. Belo Horizonte, MG.

BURITY, H.A. et al. (2000). **Efetividade da inoculação com rizóbio e fungos micorrízicos arbusculares em mudas de sabiá submetidas a diferentes níveis de fósforo.** Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, volume 35.

CAMPELLO, E.F.C.; DIAS, L.E. & RIBEIRO JUNIOR, E.S. (2000). **Revegetação de áreas de mineração de ouro no cerrado com arbustos e árvores associados a microrganismos.** In Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas "Silvicultura Ambiental", IV, Blumenau, SC. SOBRADE, FURB.2000. Anais. (CD-rom, neste evento).

CAMPELLO, E.F.C. (1999). **A influência de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio na sucessão vegetal em áreas degradadas na Amazônia.** Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Curso de Ciência Florestal, para obtenção do Título de *Doctor Scientiae*, Viçosa.

CAMPELLO, E.F.C. (1998). **Sucessão vegetal na recuperação de áreas degradadas.** In Recuperação de áreas degradadas/ Editado por Luiz Eduardo Dias, Jaime Wilson Vargas de Mello. Departamento de Solos – Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas.

CARNEIRO et al. (1996). **Fungo micorrízico e superfosfato no crescimento de espécies arbóreas tropicais.** Scientia Forestalis n. 50, p. 21-36.

CASTRO, J.P.C. (1998). **Reabilitação de áreas degradadas – aspectos legais.** In Recuperação de áreas degradadas/ Editado por Luiz Eduardo Dias, Jaime Wilson Vargas de Mello. Departamento de Solos – Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL. (2001). **Projeto Mineração, Minerais e Desenvolvimento Sustentável – MMSD: Relatório do Brasil.** Maria Laura Barreto (coord.). CETEM, Brasília, DF.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL. (2002). **Perspectivas do Meio Ambiente para o Brasil.** Serviço Geológico do Brasil (coord.). CETEM, Brasília, DF.

CHEN, H., ZHENG, C. & ZHU, Y. (1998). **Phosphorus: a limiting factor for restoration of soil fertility in a newly reclaimed coal mined site in Xuzhou, China.** Land Degradation & Development 9: 115-121.



CHEUNG, K.C. et al. (2000). **Revegetation of lagoon ash using the legume species *Acacia auriculiformis* and *Leucaena leucocephala***. Environmental Pollution 109: 75 – 82.

COELHO, F.S. (1973). **Fertilidade do Solo**. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 2ª edição. Campinas, SP.

CUNDELL, A. M. (1977). **The role of microorganisms in the revegetation of Strip- Mined Land in the Western Utah States**. Journal os Range Manegement 30 (4).

DAMASCENO, E.C. (1998). **A importância social e econômica da mineração**. Revista Brasil Mineral, nº 162.

DANIELS, W.L. e STEWART, B.R. (2000). **Reclamation of Appalachian coal refuse disposal areas**. In: Barnhisel, R.I., Darmody, R.G., Daniels, W.L. (Eds.) Reclamation of drastically disturbed lands. American Society of Agronomy Madison, WI. USA. p. 433-459.

DAVIDE A.C. & FARIA, J.M.R. (1994) **Comportamento de espécies florestais em área degradada, com duas adubações de plantio**. Projeto Mata Ciliar, Convênio CEMIG, UFLA e FAEPE, Lavras, MG.

DIAS, L.E. (2001). **Tópicos sobre recuperação de áreas degradadas**. Notas de aula, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

DIAS, L.E. et al. (1999). **The use of nitrogen-fixing trees to revegetate bauxite and gold mines areas in the tropics: *Can trees substitute topsoil return?*** In Beijing International Symposium Land Reclamation (ISLR), Beijing, China, 1999. Proceedings China Coal Industry. Publishing House, 317-325.

DIAS L.E. (1998). **Caracterização de substratos para fins de recuperação de áreas degradadas** In Recuperação de áreas degradadas/ Editado por Luiz Eduardo Dias, Jaime Wilson Vargas de Mello. Departamento de Solos – Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas.

DIAS L.E. & GRIFFITH, J.J. (1998). **Conceituação e caracterização de áreas degradadas** In Recuperação de áreas degradadas/ Editado por Luiz Eduardo Dias, Jaime Wilson Vargas de Mello. Departamento de Solos – Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. (1979). **Deposição de rejeitos de mineração**. Ministério das Minas e Energia – DNPM, Gravataí, SC.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. (1986). **Curso de controle da poluição na mineração: alguns aspectos**. Ministério das Minas e Energia – DNPM, vol. 2, Brasília.

FARIA, S.M. & LIMA, H.C. (1998). **Additional studies of the nodulation status of legume species in Brazil**. Plant and Soil 200 (2): 185-192.

FRANCO, A.A. et al. (1996). **Uso de leguminosas associadas a microrganismos na revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas – PA**. Itaguaí: Embrapa CNPBA.

FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C.; DIAS, L.E. & FARIA, S.M. (1995). **Revegetation of acidic residues from bauxite mining using nodulated and mycorrhizal legume trees**. *Nitrogen Fixing Trees research reports (special issue)*: 313-320.

FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C.; DIAS, L.E. & FARIA, S.M. (2000). **Revegetação de áreas degradadas pela extração de bauxita na Mina Saracá em Porto Trombetas-PA**. Relatório de Atividades de 1999. Seropédica, RJ. 69p.

FREIRE, J.R.J. (1992). **Fixação do nitrogênio pela simbiose rizóbio/leguminosas**. In Microbiologia do solo. (Cardoso, E.J.B.N et al coordenadores). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, SP: 121-140.

GISLER, C.V.T. (1995). **O uso da serapilheira na recomposição da cobertura vegetal em áreas mineradas de bauxita, Poços de Caldas, MG**. Dissertação

apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia, São Paulo.

GRAN, C.D. & LONERAGAN, W.A. (2001). **The effects of burning on the understory composition of rehabilitated bauxite mines in Western Australia: *community changes and vegetation succession***. *Forest Ecology and Management* 145: 255-279.

GRAVES, J.D. et al. (1997). **Intraspecific transfer of carbon between plants linked by a common mycorrhizal network**. *Plant and Soil* 192 (2): 153-159.

GRAZZIOTTI, P.H. (1999). **Comportamento de fungos ectomicorrízicos, *Acacia mangium* e espécies de *Pinus* e *Eucaliptus* em solos contaminados por metais pesados**. Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de pós graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Doutor, Lavras, MG.

GRIFFITH, J.J.; DIAS, L.E. & JUCKSCH, I. (1995). **Rehabilitation of mine sites in Brazil using native vegetation**. In MAJUNDAR, S.K.; MILLER, E. Willard; BRENNER, F.J. (eds). *Forests – a Global Perspective*. Easton, PA, Pennsylvania, Sr. Shyamal K. Majudar.

GRIFFITH, J.J. & TOY, T.J. (2001). **Evolution in revegetation of iron-ore mines in Minas Gerais State, Brazil**. *Rehabilitation of Degraded Sites*. *Unasyvia* 207.

HART, P.B.S. et al. (1999). **Land restoration management after topsoil mining and implication for restoration policy guidelines in New Zealand**. *Land Degradation & Development* 10: 435-453.

HILSON, G. (2000). **Barriers to implementing cleaner technologies and cleaner production (CP) practices in the mining industry: a case study of the Americas**. *Minerals Engineering* 13: 699-717.

IBAMA. (1990). **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração**. Brasília, IBAMA, 96p.

IBGE. (1993). **Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil**. Sueli Sirena Caldeiron – coordenadora. – Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.

IBGE (2001). [www.ibge.gov.br/cidadesat](http://www.ibge.gov.br/cidadesat)

JOLY, A.B. (1998). **Botânica: introdução a taxonomia vegetal**. Companhia Editora Nacional: São Paulo, SP.

KOPEZINSKI, I. (1998). **Avaliação da degradação ambiental produzida por mineração no município de Poços de Caldas (MG) considerando procedimentos de mapeamento geotécnico**. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Geotecnia, São Carlos.

LOCH, R.J. (2000). **Using rainfall simulation to guide planning and management of rehabilitated areas: Part 1. Experimental methods and results from a study at the Northparkes Mine, Australia**. Land Degradation & Development 11: 221-240.

LORENZI, H. (1992). **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas nativas do Brasil**. Plantarum: São Paulo, SP.

MARTINS, C.R.; MIRANDA, C.C & MIRANDA, L.N. (1999). **Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de *Aristida setifolia* em áreas degradadas do cerrado**. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 34, n. 4, p. 665-674.

MONTERROSO, C. et al. (1998). **Evaluation of the land reclamation project at the As Pontes Mine (NW Spain) in relation to the suitability of the soil for plant growth**. Land Degradation & Development 9: 441-451.

MRN. (1999). **Revegetação dos tanques de rejeito/Tailing ponds revegetation**. Environment Report. MRN – Mineração Rio do Norte, Porto Trombetas – PA.

NORMAN, D. K. & RAFORTH, R. L. (1998). **Innovations and trends in reclamation of metal-mine tailings in Washington**. Washington Geology, vol. 26, nº 2/3.

NOYD, R. K. et al. (1997). **Native plant productivity and litter decomposition in reclamation of taconite iron ore tailing**. J. Environ. Qual. 26: 682-687.

O'NEILL, C.; GRAY, N.F. & WILLIAMS, M. (1998). **Evaluation of the rehabilitation procedure of a pyrite mine tailings pond in Avoca, Southeast Ireland**. Land Degradation & Development 9: 67-79.

TOZÓRIO, T.F. (2000). **Potencial de uso da serapilheira na recuperação de áreas degradadas por mineração de ferro, Mariana – MG**. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Curso de Ciência Florestal, para obtenção do Título de *Magister Scientiae*, Viçosa.

PARIZOTTO, J.A. (1995). **O gerenciamento ambiental: um estudo de caso de cinco empresas de mineração no Brasil**. Qualidade e Produtividade. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq.

PAUL, K.; BLACK, S. & CONYERS, M. (2001). **Development of nitrogen mineralisation gradients through surface soil depth and their influence on surface soil pH**. Plant and Soil 234 (2): 239-246.

PRIMACK, R.B. & RODRIGUES, E. (2001). **Biologia da conservação**. Richard B. Primack, Efraim Rodrigues. Londrina: E. Rodrigues.

REHMAN, S. et al. (2000). **The relationship between ions, vigour and salinity tolerance of Acacia seeds**. Plant and Soil 220 (1-2): 229-233.

REICHMAN, S.M. et al. (2001). **Seedling responses of three australian tree species to toxic concentrations of zinc in solution culture**. Plant and Soil 235 (2) p. 151-158.

REINERT, D.J. (1998). **Recuperação de solos em sistemas agropastoris**. In Recuperação de áreas degradadas/ Editado por Luiz Eduardo Dias, Jaime Wilson Vargas de Mello. Departamento de Solos – Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas.

REZENDE, A.L.; BEZERRA, F.L.G. & GUERRA JUNIOR, P. (1998). **Pesquisa gestão ambiental na indústria brasileira**. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES, Confederação Nacional das Indústrias – CNI, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE – Rio de Janeiro: BNDES; Brasília – DF: CNI, SEBRAE.

RIGOBELLO, A.E. (1999). **Meio ambiente: um potencial de agregação de valor ao acionista**. Projeto apresentado como exigência para obtenção do título *Máster Business Administration* Empresarial pela Fundação Dom Cabral, sob a orientação do Prof. Alexandre de Pádua Carrieri, Belo Horizonte, MG.

RICKLEFS, R.E. (1996). **A economia da natureza**. Cecília Bueno, Pedro P. de Lima e Silva – tradutores, Editora Guanabara Koogan S.A, Rio de Janeiro, RJ.

RILLIG, M.C. et al. (2001). **Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils**. *Plant and Soil* 233 (2): 167-177.

SAGGIN JUNIOR, O.J. (1997). **Micorrizas arbusculares em mudas de espécies arbóreas nativas do sudeste brasileiro**. Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de doutorado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Doutor, Lavras, MG.

SALAZAR LORENZO, J.M.S. (1991). **Regeneração natural de uma área minerada de bauxita em Poços de Caldas, Minas Gerais**. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Curso de Ciência Florestal, para obtenção do Título de *Magister Scientiae*, Viçosa, MG.

SANCHEZ, L.E. (1987). **Avaliação do impacto ambiental na mineração**. *Revista Brasil Mineral*, nº 48.

SCHULZ, F. & WIEGLEB, G. (2000). **Development options of natural habitats in a post-mining landscape.** Land Degradation & Development 11: 99-110.

SCHREINER, R.P. et al. (2001). **Seedling responses of three Australian tree species to toxic concentration of zinc in solution culture.** Plant and Soil 235 (2): 151-158.

SETE. (2000). **Relatório e Plano de Controle Ambiental RCA/PCA Barragem de rejeito da Cia Mineira de Metais.** Soluções e Tecnologia Ambiental – SETE, Nova Lima, MG.

SHETTY, K.G. et al. (1994). **Effects of micorrhizae and other soil microbes on revegetation of heavy metal contaminated mine spoil.** Environmental Pollution 86: 181-188.

SILVEIRA, A.P.D. (1992). **Micorrizas.** In Microbiologia do solo. (Cardoso, E.J.B.N et al coordenadores). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, SP: 121-140.

SIMÃO JUNIOR, R. (2001). **Uso do SIG como ferramenta de auxílio na recuperação de áreas degradadas.** Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental, São Carlos.

SOARES, C.R.F.S. et al (2002). **Diagnóstico e reabilitação de área degradada pela contaminação por metais pesados.** In: V Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas. Anais. Belo Horizonte, 2002.

SKOUSEM, J. (1997) **Revegetation species and practices.** Powell River Project: Reclamation guidelines for surface-mined land in Southwest Virginia. Publication number 460-122, 1997. [www.ext.vt.edu](http://www.ext.vt.edu)

SKOUSEN, J.G.; JONSON C.D. & GARBUTT, K. (1994). **Natural revegetation of 15 abandoned mine land sites in West Virginia.** J. Environ. Qual. 23: 1224-1230.

SOUZA, M.P. (2000). **Instrumentos de Gestão Ambiental: fundamentos e práticas**. Editora Riani Costa, São Carlos.

STROHMAYER, P. (1999). **Soil stockpiling for reclamation and restoration activities after mining and construction**. International Restoration Efforts. Vol. 4.

WASCHKIES, C. & HÜTTL, R.F. (1999). **Microbial degradation of geogenic organic C and N in mine spoils**. Plant and Soil 213 (1-2): 221-230.

ZANGARO FILHO, W. (1997). **Micorrizas arbusculares em espécies arbóreas nativas da Bacia do Rio Tibagi (PR) e suas relações com os grupos sucessionais**. Tese apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Ciências na Área de Botânica, São Paulo, SP.

ZELEZNIK J.D. & SKOUSEN J.G. **Survival of three tree species on old reclaimed surface mines in Ohio**, 1996. [www.wvu.edu/~agexten/landrec/land.htm](http://www.wvu.edu/~agexten/landrec/land.htm)

WEB

[www.antenna.ne/wise/uranium/mdaf.html](http://www.antenna.ne/wise/uranium/mdaf.html)

[www.estadao.com.br/ciencia/noticias](http://www.estadao.com.br/ciencia/noticias)

[www.dct.uminho.pt](http://www.dct.uminho.pt)

[www.anbg.gov.au](http://www.anbg.gov.au)

[www.fs.fed.us](http://www.fs.fed.us)

[www.nubg.org](http://www.nubg.org)

[www.ildis.org/Legumeweb](http://www.ildis.org/Legumeweb)

[www.hear.org](http://www.hear.org)

[www.anbq.gov.au](http://www.anbq.gov.au)

[www.winrock.org/forestry](http://www.winrock.org/forestry)

[www.ansci.cornell.edu](http://www.ansci.cornell.edu)

[www.nasa.utep.edu](http://www.nasa.utep.edu)

[www.arbolesornamentales.com](http://www.arbolesornamentales.com)

[www.semarnat.gov.mx](http://www.semarnat.gov.mx)

[www.cnpf.embrapa.br](http://www.cnpf.embrapa.br)

[www.sansaodocampo.com.br](http://www.sansaodocampo.com.br)

[www.madeirasdobrasil.eng.br](http://www.madeirasdobrasil.eng.br)



[www.acquanacaste.ac.cr](http://www.acquanacaste.ac.cr)

[www.cotianet.com.br](http://www.cotianet.com.br)

[www.floraisdosul.com.br](http://www.floraisdosul.com.br)

[www.polmilsp.gov.br](http://www.polmilsp.gov.br)

[www.cct.ufpb.br](http://www.cct.ufpb.br)

[www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)

[www.eistein.uab.es](http://www.eistein.uab.es)

[www.alicesoftware.com](http://www.alicesoftware.com)

[www.ipef.br](http://www.ipef.br)

[www.bibvirt.futuro.usp.br](http://www.bibvirt.futuro.usp.br)

[www.tribunadonorte.com.br](http://www.tribunadonorte.com.br)

[www.jardimdeflores.com.br](http://www.jardimdeflores.com.br)

[www.uol.com.br/aurelio](http://www.uol.com.br/aurelio)

ANEXO A

---

## ANEXO A – Informações sobre o Zinco

As informações sobre o zinco foram obtidas a partir do Sumário Mineral Brasileiro (2002) elaborado pelo DNPM.

Em 2001, as reservas mundiais de zinco são da ordem de 440 milhões de toneladas. O Brasil aparece entre os sete países de destaque, conforme mostram as Tabelas seguintes.

**TABELA 1. Reserva Mundial de Zinco**

DISCRIMINAÇÃO	RESERVAS (10 <sup>3</sup> t)	
	2001 (e)	%
China	93.000	21,1
Estados Unidos	80.000	18,2
Austrália	80.000	18,2
Canadá	31.000	7,0
Peru	13.000	3,0
México	8.000	1,8
Brasil	5.200	1,2
Outros Países	130.000	29,5
<b>TOTAL</b>	<b>440.200</b>	<b>100</b>

Fonte: DNPM-DIRIN e U.S. Geological Survey (Mineral Commodity Summaries – 2002).  
Inclui reservas medidas e indicadas.

**TABELA 2. Produção Mundial de Zinco**

DISCRIMINAÇÃO	PRODUÇÃO (10 <sup>3</sup> t)		
	2000 (e)	2001 (e)	%
China	1.710	1.700	18,8
Austrália	1.420	1.500	16,6
Peru	910	1.050	11,6
Canadá	936	950	10,5
Estados Unidos	829	830	9,2
México	393	390	4,3
Brasil	100	111	1,2
Outros Países	2.530	2.510	27,8
<b>TOTAL</b>	<b>8.828</b>	<b>9.041</b>	<b>100</b>

Fonte: DNPM-DIRIN e U.S. Geological Survey (Mineral Commodity Summaries – 2002).  
Dados estimados, exceto Brasil.

Cerca de 86,2% das reservas brasileiras estão localizadas nos municípios de Vazante e Paracatu. Os demais Estados que possuem reservas de zinco, com suas respectivas participações são os seguintes: Rio Grande do Sul (8,5%), Bahia (2,4%),



Paraná (1,9%) e Pará (1%). Salienta-se que a produção mundial apresentada na Tabela 3.2 refere-se a proveniente apenas de Vazante e Paracatu.

Com a aquisição da Companhia Paraibuna de Metais, a CMM passa a ser a única produtora de minério de zinco e zinco metálico no Brasil, elevando sua participação do mercado mundial em 2,7%.

As principais aplicações do zinco dão-se nos processos de galvanização (revestimentos anti-corrosivos) e fundição de peças para construção civil e indústria automobilística, na indústria eletrônica, na fabricação de ferragens, na indústria de confecção (zíperes e fivelas), na fabricação de pilhas e zamac (liga zinco-alumínio) para fechaduras e dobradiças. Sob a forma de óxido de zinco é utilizado na fabricação de pneus, tintas e ração animal, na indústria farmacêutica/cosmética e outras. A construção civil (44%) e a indústria automobilística (22%) são os setores que mais consomem zinco no Brasil.

Dentre alguns dos clientes da CMM, destacam-se os seguintes: General Motors do Brasil, Fiat, Belgo Mineira, Companhia Siderúrgica Nacional, Pirelli, Goodyear, Bridgestone-Firestone, Recapagens Bandag e Michelin, Microlite Nordeste, Linhas correntes YKK e Usiminas.

ANEXO B

---

## ANEXO B – Esquema dos experimentos

FIGURA 1 - Disposição de Espécies nas Parcelas Consorciadas - Experimento 2

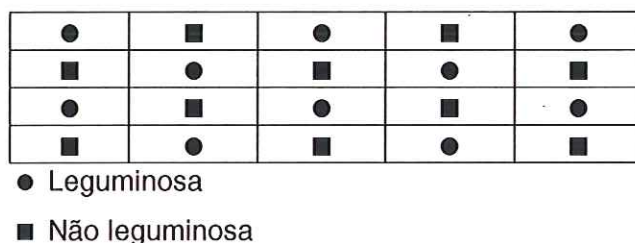


FIGURA 2 - Experimento 1: Parcelas Homogêneas Divididas em 6 Blocos - Blocos 1, 4 e 5 receberam Estercos Bovino + Adubação Básica. Blocos 2, 3 e 6 receberam apenas a Adubação Básica.

BLOCO 1		BLOCO 2		BLOCO 3	
Aroeira	Melanoxilon	Enterolobium	Albizia	Melanoxilon	Leucaena
Leucaena	Auricoliformes	Holosericea	Melanoxilon	Enterolobium	Birmucronata
Albizia	Holosericea	Senna	Sabiá	Auricoliformes	Cinamomum
Casuarina	Mangium	Casuarina	Farnesiana	Aroeira	Casuarina
Farnesiana	Cinamomum	Angico	Jamelão	Mangium	Jamelão
Enterolobium	Birmucronata	Leucaena	Testemunha	Senna	Jacaré
Angico	Jamelão	Cinamomum	Algaroba	Sabiá	Angustissima
Senna	Testemunha	Jacaré	Mangium	Albizia	Holosericea
Sabiá	Jacaré	Birmucronata	Angustissima	Angico	Algaroba
Angustissima	Algaroba	Aroeira	Auricoliformes	Farnesiana	Testemunha

BLOCO 4		BLOCO 5		BLOCO 6	
Jamelão	Aroeira	Sabiá	Jamelão	Jacaré	Melanoxylon
Angico	Albizia	Leucaena	Melanoxylon	Casuarina	Enterolobium
Sabiá	Angustissima	Enterolobium	Jacaré	Algaroba	Angustissima
Melanoxylon	Farnesiana	Testemunha	Mangium	Jamelão	Farnesiana
Leucaena	Algaroba	Angico	Algaroba	Auricoliformis	Sabiá
Auricoliformis	Jacaré	Farnesiana	Holosericea	Leucaena	Aroeira
Birmucronata	Mangium	Senna	Aroeira	Angico	Testemunha
Senna	Testemunha	Albizia	Cinamomum	Senna	Albizia
Cinamomum	Enterolobium	Birmucronata	Auricoliformis	Mangium	Cinamomum
Holosericea	Casuarina	Casuarina	Angustissima	Holosericea	Birmucronata

**FIGURA 3 - Experimento 2: Parcelas Consorciadas Utilizando 3 Espécies Leguminosas (*Acacia mangium* - M, *Acacia holosericea* - H e *Enterolobium schomburkii* - E) e 3 Espécies Não Leguminosas (Aroeira - A, Jamelão - J e *Cinamomum sp* - C) Escolhidas ao Acaso em 3 Repetições.**

Bloco 1: Distribuição das mudas.

E	A	E	A	H	A	H	A
A	E	A	E	A	H	A	H
E	A	E	A	H	A	H	A
A	E	A	E	A	H	A	H
E	A	E	A	H	A	H	A
J	H	J	H	C	M	C	M
H	J	H	J	M	C	M	C
J	H	J	H	C	M	C	M
H	J	H	J	M	C	M	C
J	H	J	H	C	M	C	M
M	J	M	J	E	J	E	J
J	M	J	M	J	E	J	E
M	J	M	J	E	J	E	J
J	M	J	M	J	E	J	E
M	J	M	J	E	J	E	J
A	M	A	M	H	C	H	C
M	A	M	A	C	H	C	H
A	M	A	M	H	C	H	C
M	A	M	A	C	H	C	H
A	M	A	M	H	C	H	C
E	C	E	C	TESTEMUNHA			
C	E	C	E				
E	C	E	C				
C	E	C	E				
E	C	E	C				

## Bloco 2: Distribuição das mudas.

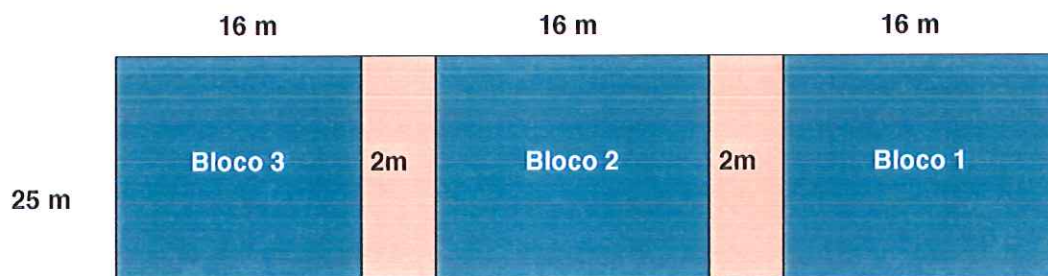
M	C	M	C	H	A	H	A
C	M	C	M	A	H	A	H
M	C	M	C	H	A	H	A
C	M	C	M	A	H	A	H
M	C	M	C	H	A	H	A
J	H	J	H	C	H	C	H
H	J	H	J	H	C	H	C
J	H	J	H	C	H	C	H
H	J	H	J	H	C	H	C
J	H	J	H	C	H	C	H
M	J	M	J	E	C	E	C
J	M	J	M	C	E	C	E
M	J	M	J	E	C	E	C
J	M	J	M	C	E	C	E
M	J	M	J	E	C	E	C
A	M	A	M	J	E	J	E
M	A	M	A	E	J	E	J
A	M	A	M	J	E	J	E
M	A	M	A	E	J	E	J
A	M	A	M	J	E	J	E
E	A	E	A	TESTEMUNHA			
A	E	A	E				
E	A	E	A				
A	E	A	E				
E	A	E	A				



## Bloco 3: Distribuição das mudas.

E	A	E	A	M	J	M	J
A	E	A	E	J	M	J	M
E	A	E	A	M	J	M	J
A	E	A	E	J	M	J	M
E	A	E	A	M	J	M	J
A	H	A	H	J	E	J	E
H	A	H	A	E	J	E	J
A	H	A	H	J	E	J	E
H	A	H	A	E	J	E	J
A	H	A	H	J	E	J	E
H	C	H	C	M	C	M	C
C	H	C	H	C	M	C	M
H	C	H	C	M	C	M	C
C	H	C	H	C	M	C	M
H	C	H	C	M	C	M	C
A	M	A	M	J	H	J	H
M	A	M	A	H	J	H	J
A	M	A	M	J	H	J	H
M	A	M	A	H	J	H	J
A	M	A	M	J	H	J	H
C	E	C	E	TESTEMUNHA			
E	C	E	C				
C	E	C	E				
E	C	E	C				
C	E	C	E				

FIGURA 4 - Esquema geral do ensaio 2:



REGISTRO FOTOGRÁFICO

---

**Registro Fotográfico<sup>12</sup>**

Fotografia 1 – Barragem de rejeitos da CMM antes do plantio. Caracterização do substrato. Fotografia de outubro de 2000.



Fotografia 2 – Aspecto do substrato da barragem de rejeitos. Fotografia de outubro de 2000.

<sup>12</sup> Direitos autorais das fotografias: Priscilla Melleiro Piagentini



Fotografia 3 – Viveiro de Mudas – Instituto Estadual de Floresta. Lagamar - MG. Fotografia de outubro de 2000.



Fotografia 4 – Plantio. Fotografia tirada em 5 de fevereiro de 2001.



Fotografia 5 – Experimento 1 - outubro de 2001.



Fotografia 6 – Vista geral do experimento - outubro de 2001.



Fotografia 7 – Plantio homogêneo de *Prosopis juliflora* – fevereiro de 2002.



Fotografia 8 – *Acacia holosericea*, *Acacia mangium* e *Acacia auriculiformis* – fevereiro de 2002.



Fotografia 9 (esquerda) – Serapilheira da espécie *Prosopis juliflora*. Fotografia 10 (direita) – Serapilheira da espécie *Acacia auriculiformis*. Fotografias de agosto de 2002 – Experimento 1.



Fotografia 11 – Plantio consorciado *Acacia holosericea* (leguminosa) e *Cinnamomum glaziovii* (não leguminosa). Fotografia de agosto de 2002 – Experimento 2.



Fotografia 12 – Situação em março de 2004 – 2 anos após o plantio.



Fotografia 13 – Situação em março de 2004 – 2 anos após o plantio.





Fotografia 14 – Situação em março de 2004 – 2 anos após o plantio.



Fotografia 15 – Situação em março de 2004 – 2 anos após o plantio.



Fotografia 16 – Situação em março de 2004 – 2 anos após o plantio.



Fotografia 17 – Situação em março de 2004 – 2 anos após o plantio.



Fotografia 18 – Situação em março de 2004 – 2 anos após o plantio.



Fotografia 19 – Situação em março de 2004 – 2 anos após o plantio.



Fotografia 20 – Serapilheira - Situação em março de 2004 – 2 anos após o plantio.



Fotografia 21 – Situação em março de 2004 – 2 anos após o plantio.