**POTENCIAL DE REABILITAÇÃO DO SOLO DE UMA ÁREA
DEGRADADA, ATRAVÉS DA REVEGETAÇÃO E DO MANEJO
MICROBIANO**

PAULO FURTADO MENDES FILHO

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”,
Universidade de São Paulo, para obtenção
do título de Doutor em Agronomia, Área de
Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo – Brasil
Agosto – 2004

**POTENCIAL DE REABILITAÇÃO DO SOLO DE UMA ÁREA
DEGRADADA, ATRAVÉS DA REVEGETAÇÃO E DO MANEJO
MICROBIANO**

PAULO FURTADO MENDES FILHO

Engenheiro Agrônomo

Orientadora: Profa. Titular **ELKE JURANDY BRAN NOGUEIRA CARDOSO**

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”,
Universidade de São Paulo, para obtenção
do título de Doutor em Agronomia, Área de
Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo – Brasil
Agosto - 2004

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Mendes Filho, Paulo Furtado

Potencial de reabilitação do solo de uma área degradada, através da revegetação e do manejo microbiano / Paulo Furtado Mendes Filho. - - Piracicaba, 2004.
89 p. : il.

Tese (doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004.
Bibliografia.

1. Degradação do solo 2. Fixação simbiótica de nitrogênio 3. Fungos micorrízicos
4. Manejo do solo 5. Microbiologia 6. Revegetação 7. Solos I. Título

CDD 631.45

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus pais,
pela dedicação e exemplo de vida.

Aos meus irmãos Dante, Amílcar e Fernanda,
pela amizade e carinho.

À minha esposa Lúcia e meus
filhos, Marina e Paulo, motivação
constante para todos os projetos de vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, que permitiu e estimulou meu afastamento para a realização do programa de doutoramento.

À Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, pela acolhida e possibilidade de concretização do projeto de pesquisa e formação.

À CAPES, através do Programa Institucional de Capacitação Docente e Técnica, pelo apoio financeiro concedido durante a realização do programa.

À Professora Titular do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso, pela dedicação, incentivo e valiosa orientação dispensadas.

Aos Técnicos do Laboratório de Microbiologia do Solo do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas – ESALQ/USP Denise de Lourdes Mescoloti Colombo e Luis Fernando Baldesin, pelo fundamental apoio durante todas as fases de condução e análise dos experimentos, além da amizade pessoal valiosa.

Aos colegas do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, especialmente à Professora Vânia Felipe Freire Gomes, pelo apoio e compreensão dispensados ao longo do período de formação.

A todos os colegas do Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas – ESALQ/USP, pela amizade, pelo constante fórum de discussão científica mantido e também pelos momentos de descontração ocasionais.

À Antonia Gonçalves (Toinha), cujo apoio foi indispensável para a concretização de tão importante projeto profissional e de vida.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xii
SUMMARY	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
3 MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Caracterização do substrato	15
3.2 Espécies vegetais cultivadas	17
3.3 Inoculações	18
3.4 Adubações	18
3.5 Determinações	19
4 RESULTADOS	21
4.1 <i>Canavalia ensiformis</i>	22
4.1.1 Peso da matéria seca e altura da parte aérea.....	22
4.1.2 pH do rejeito após cultivo.....	23
4.1.3 Micélio externo total e colonização radicular.....	24
4.1.4 Peso da matéria seca e número de nódulos.....	25
4.1.5 Conteúdos totais de nitrogênio e fósforo na parte aérea.....	26
4.1.6 Respirimetria basal no rejeito após cultivo.....	26
4.2 <i>Cajanus cajan</i>	27

4.2.1	Peso da matéria seca e altura da parte aérea.....	27
4.2.2	pH do rejeito após cultivo.....	31
4.2.3	Micélio externo total e colonização radicular.....	32
4.2.4	Peso da matéria seca e número de nódulos.....	33
4.2.5	Conteúdos totais de nitrogênio e fósforo na parte aérea.....	34
4.2.6	Respirometria basal no rejeito após cultivo.....	37
4.3	<i>Acacia mangium</i>	38
4.3.1	Peso da matéria seca e altura da parte aérea.....	39
4.3.2	pH do rejeito após cultivo.....	41
4.3.3	Micélio externo total e colonização radicular.....	42
4.3.4	Peso da matéria seca e número de nódulos.....	44
4.3.5	Conteúdos totais de nitrogênio e fósforo na parte aérea.....	46
4.3.6	Respirometria basal no rejeito após cultivo.....	48
4.4	<i>Parkia multijuga</i>	49
4.4.1	Peso da matéria seca e altura da parte aérea.....	49
4.4.2	pH do rejeito após cultivo.....	50
4.4.3	Micélio externo total e colonização radicular.....	53
4.4.4	Conteúdos totais de nitrogênio e fósforo na parte aérea.....	53
4.4.5	Respirometria basal acumulada no rejeito após cultivo.....	53
4.5	<i>Schinus terebinthifolia</i>	55
4.5.1	Peso da matéria seca e altura da parte aérea.....	55
4.5.2	pH do rejeito após cultivo.....	57
4.5.3	Micélio externo total e colonização radicular.....	59
4.5.4	Conteúdos totais de nitrogênio e fósforo na parte aérea.....	59
4.5.5	Respirometria basal no rejeito após cultivo.....	61
4.6	<i>Inga edulis</i>	62
4.6.1	Peso da matéria seca e altura da parte aérea.....	62
4.6.2	pH do rejeito após cultivo.....	62
4.6.3	Micélio externo total e colonização radicular.....	64
4.6.4	Peso da matéria seca e número de nódulos.....	65

4.6.5 Conteúdos totais de nitrogênio e fósforo na parte aérea.....	65
4.6.6 Respirometria basal no rejeito após cultivo.....	66
5 DISCUSSÃO	68
6 CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Respiração diária e acumulada no rejeito de mineração de cassiterita antes da instalação dos experimentos, com e sem indução com glicose	16
2 Temperaturas mensais mínimas, médias e máximas da casa-de-vegetação durante a condução dos experimentos	21
3 Efeito da interação MIC x COMP sobre o pH do rejeito após cultivo com <i>C. ensiformis</i>	23
4 Comportamento do pH no rejeito cultivado com <i>C. ensiformis</i> sob os tratamentos adotados	24
5 Efeito da interação MIC x TMF x COMP sobre ColnMz em raízes de <i>C. ensiformis</i>	25
6 Respirometria basal acumulada no rejeito após cultivo com <i>C.ensiformis</i>	27
7 Efeito da interação MIC x COMP sobre PMSPA em <i>C. cajan</i>	29
8 Efeito da interação MIC x TMF sobre PMSPA em <i>C. cajan</i>	29
9 Efeito da interação MIC x COMP sobre AltPA em <i>C. cajan</i>	30
10 Efeito da interação MIC x COMP sobre o pH do rejeito após cultivo com <i>C.cajan</i>	31
11 Comportamento do pH no rejeito cultivado com <i>C. cajan</i> sob os tratamentos adotados	32
12 Efeito da interação MIC x COMP sobre ColnMz em raízes de <i>C. cajan</i>	33
13 Efeito da interação MIC x COMP sobre PMSNod de <i>C. cajan</i>	34
14 Efeito da interação MIC x TMF sobre PMSNod de <i>C. cajan</i>	35

15 Efeito da interação MIC x COMP sobre N-PA de <i>C. cajan</i>	36
16 Efeito da interação MIC x COMP sobre P-PA de <i>C. cajan</i>	37
17 Efeito da interação MIC x TMF sobre P-PA de <i>C. cajan</i>	37
18 Respirometria basal acumulada no rejeito após cultivo com <i>C. cajan</i>	38
19 Efeito da interação MIC x TMF x COMP sobre PMSPA de <i>A. mangium</i>	40
20 Efeito da interação MIC x COMP x TMF sobre AltPA de <i>A. mangium</i>	41
21 Efeito da interação MIC x COMP sobre o pH do rejeito após cultivo com <i>A. mangium</i>	42
22 Comportamento do pH no rejeito cultivado com <i>A. mangium</i> sob os tratamentos adotados	42
23 Efeito da interação MIC x TMF x COMP sobre MET no rejeito após cultivo com <i>A. mangium</i>	43
24 Efeito da interação MIC x COMP x TMF sobre ColnMz nas raízes de <i>A. mangium</i>	44
25 Efeito da interação MIC x COMP sobre PMSNod nas raízes de <i>A. mangium</i>	45
26 Efeito da interação MIC x COMP x TMF sobre NumNod nas raízes de <i>A. mangium</i>	46
27 Efeito da interação MIC x COMP sobre N-PA de <i>A. mangium</i>	47
28 Efeito da interação MIC x COMP sobre P-PA de <i>A. mangium</i>	48
29 Respirometria basal acumulada no rejeito após cultivo com <i>A. mangium</i>	49
30 Efeito da interação COMP x TMF sobre AltPA em <i>P. multijuga</i>	51
31 Efeito da interação MIC x COMP sobre o pH do rejeito após cultivo com <i>P. multijuga</i>	52
32 Comportamento do pH no rejeito cultivado com <i>P. multijuga</i> sob os tratamentos adotados	52
33 Efeito da interação MIC x COMP sobre P-PA de <i>P. multijuga</i>	54
34 Respirometria basal acumulada no rejeito após cultivo com <i>P. multijuga</i>	54
35 Efeito da interação MIC x COMP sobre PMSPA de <i>S. terebinthifolia</i>	56
36 Efeito da interação MIC x TMF sobre PMSPA de <i>S. terebinthifolia</i>	57

37 Efeito da interação MIC x TMF x COMP sobre pH Solo no rejeito cultivado com <i>S. terebinthifolia</i>	58
38 Comportamento do pH no rejeito cultivado com <i>S. terebinthifolia</i> sob os tratamentos adotados	58
39 Efeito da interação MIC x COMP sobre N-PA de <i>S. terebinthifolia</i>	60
40 Efeito da interação MIC x COMP sobre P-PA de <i>S. terebinthifolia</i>	60
41 Respirometria basal no rejeito após cultivo com <i>S. terebinthifolia</i>	61
42 Efeito da interação MIC x COMP x TMF sobre pH do rejeito cultivado com <i>I. edulis</i>	63
43 Comportamento do pH no rejeito cultivado com <i>I. edulis</i> sob os tratamentos adotados	64
44 Efeito da interação MIC x COMP sobre ColnMz no rejeito cultivado com <i>I. edulis</i>	65
45 Efeito da interação MIC x COMP sobre P-PA de <i>I. edulis</i>	66
46 Respirometria basal acumulada no rejeito após cultivo com <i>I. edulis</i>	67
47 Comportamento do pH do rejeito após cultivo com seis diferentes espécies ..	72
48 Dependência micorrízica nas seis espécies cultivadas no rejeito ($D_{\text{dependência}} M_{\text{micorrízica}} = \{\text{matéria seca da planta micorrizada} - \text{matéria seca da planta não micorrizada}\} / \{\text{matéria seca da planta micorrizada}\} \times 100$)	74
49 Respirometria no rejeito após cultivo com as seis espécies estudadas, aos oito dias de ensaio	75
50 Aspecto das plantas das espécies <i>C. ensiformis</i> (A), <i>C. cajan</i> (B) e <i>A. mangium</i> (C), cultivadas no rejeito e sob os oito diferentes tratamentos	76
51 Aspecto das plantas das espécies <i>P. multijuga</i> (A), <i>I. edulis</i> (B) e <i>S. terebinthifolia</i> (C), cultivadas no rejeito e sob os oito diferentes tratamentos	77

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Características químicas do rejeito utilizado nos experimentos	15
2 Valores de probabilidade de significância de F obtidos na análise de variância das variáveis estudadas para os fatores de tratamento e suas interações em <i>C. ensiformis</i>	22
3 Valores de probabilidade de significância de F obtidos na análise de variância das variáveis estudadas para os fatores de tratamento e suas interações em <i>Cajanus cajan</i>	28
4 Valores de probabilidade de significância de F obtidos na análise de variância das variáveis estudadas para os fatores de tratamento e suas interações em <i>Acacia mangium</i>	39
5 Valores de probabilidade de significância de F obtidos na análise de variância das variáveis estudadas para os fatores de tratamento e suas interações em <i>P. multijuga</i>	50
6 Valores de probabilidade de significância de F obtidos na análise de variância das variáveis estudadas para os fatores de tratamento e suas interações em <i>S. terebinthifolia</i>	55
7 Valores de probabilidade de significância de F obtidos na análise de variância das variáveis estudadas para os fatores de tratamento e suas interações em <i>I. edulis</i>	62

POTENCIAL DE REABILITAÇÃO DO SOLO DE UMA ÁREA DEGRADADA, ATRAVÉS DA REVEGETAÇÃO E DO MANEJO MICROBIANO

Autor: PAULO FURTADO MENDES FILHO

Orientadora: Profa. Dra. ELKE JURANDY BRAN NOGUEIRA CARDOSO

RESUMO

A degradação de extensas áreas devido às atividades mineradoras a céu aberto tem trazido sérios prejuízos econômicos e, principalmente, graves danos ao ambiente. Esse tipo de atividade, além de alterar as características originais dos solos, levam a perda de grande parte de seus conteúdos de matéria orgânica e da biodiversidade natural, condições básicas para uma atividade biológica sustentável. A revegetação dos solos dessas áreas, com o objetivo de restabelecer suas características químicas, físicas e biológicas a um nível mínimo que permita o desenvolvimento de espécies vegetais e da atividade microbiana, tão importante no estabelecimento e sucessão da microbiota, constitui-se numa prática muito recomendada. O objetivo dessa tese foi avaliar o potencial de reabilitação do solo degradado de uma área de mineração de cassiterita na região da Floresta Nacional do Jamari-RO, através de ensaios experimentais em casa-de-vegetação, utilizando-se a revegetação do rejeito com seis espécies de crescimento rápido e o manejo de microrganismos simbioses fixadores do N₂ e fungos micorrízicos arbusculares, associados ou não à adubação com composto orgânico e termofosfato. As espécies avaliadas foram *Canavalia ensiformis*, *Cajanus cajan*, *Acacia mangium*, *Parkia multijuga*, *Schinus terebinthifolia* e *Inga edulis*. Em casa-de-vegetação, os ensaios mostraram efeito significativo da aplicação do composto orgânico para todas as espécies cultivadas. A associação da adubação orgânica com a inoculação micorrízica produziu

maiores incrementos no peso da matéria seca da parte aérea de *C. cajan*, *A. mangium* e *S. terebinthifolia* do que a adubação com composto orgânico sem inoculação micorrízica. As leguminosas nodulíferas *C. cajan* e *A. mangium* também produziram mais matéria seca de nódulos quando associadas à adubação orgânica e fungos micorrízicos. À exceção de *P. multijuga*, a acumulação de N e P na parte aérea foi aumentada na presença do composto orgânico em todas as espécies porém, em *C. cajan*, *A. mangium* e *S. terebinthifolia*, esse acúmulo foi maior nas plantas micorrizadas. Na ausência de adubação com composto orgânico algumas espécies micorrizadas mostraram maior eficiência na utilização do termofosfato. O pH do rejeito após cultivo foi sempre maior do que aquele do rejeito original. Entretanto, nos vasos que continham plantas inoculadas com FMA e adubadas com composto orgânico, este incremento foi menor. A inoculação com FMA contribuiu para o aumento da quantidade de micélio externo total para a maioria das espécies cultivadas no rejeito. Pelos resultados obtidos, podemos concluir que, para o sucesso da revegetação do rejeito de mineração de cassiterita, a adição de composto orgânico é essencial para o estabelecimento das plantas e da microbiota do solo. As plantas inoculadas com fungos micorrízicos e adubadas com composto orgânico se desenvolvem melhor no rejeito do que as plantas não micorrizadas. As espécies vegetais devem ser selecionadas preferencialmente entre as micotróficas e as nodulíferas, uma vez que podem se estabelecer no ambiente com um menor aporte de insumos e com práticas de manejo menos onerosas.

REHABILITATION POTENTIAL OF A MINE SPOIL THROUGH REVEGETATION AND MICROBIAL MANAGEMENT

Author: PAULO FURTADO MENDES FILHO

Advisor: Prof. Dr. ELKE JURANDY BRAN NOGUEIRA CARDOSO

SUMMARY

The increasing degraded soil areas caused by open cast mining activities has brought critical damages to the environment. The mine spoil must be ameliorated with anthropogenic interferences, consisting of revegetating soils, introducing organic matter and microbial diversity, basic conditions for a sustainable soil biological activity. The objective of this thesis was to evaluate the rehabilitation potential of a mine spoil area by cultivating fast growing plant species and inoculating rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi, in the presense or absence of organic compost or thermophosphate. Thus, six plant species were cultivated under green-house conditions, to evaluate the potential of plant establishment on a cassiterite mining waste. Shoot height and dry weight, substrate pH, N and P shoot content, external mycelium and root nodule numbers and dry weight were determined. Fertilization with organic compost and mycorrhizal inoculation improved shoot dry weight of *C. cajan*, *A. mangium* and *S. terebinthifolia* and root nodule dry weight of the nodulating legumes. N and P shoot contents were higher in plants that were inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and fertilized with organic compost. The soil pH after cultivation was always much higher than the initial pH, somewhat in the presense of organic compost and mycorrhizal

inoculation of plants. External mycelium in the mining waste increased with mycorrhizal inoculation. We can conclude that for a successful revegetation of cassiterite mining spoil the addition of organic matter is essential for plant and microorganism establishment. It provides a better nutrient cycling and improves chemical and physical substrate characteristics. Plants inoculated with mycorrhizal fungi and growing in the presense of compost developed much better than non-mycorrhizal plants. Species selected for revegetation should be preferentially mycotrophpic and nodulating legumes as they will grow well even without the use of expensive fertilizers and management practices.

1 INTRODUÇÃO

A degradação do solo em diversas áreas do planeta é um problema dos tempos modernos que devemos enfrentar prioritariamente. Responsável por produzir impactos econômicos e ecológicos, tem várias causas e pode ocorrer em escala local, regional, nacional e global, determinando a perda da biodiversidade, diminuição da fertilidade do solo e interferência nos recursos hídricos, além da brusca alteração da paisagem.

As atividades mineradoras, buscando a extração dos recursos minerais, embora muito importantes do ponto de vista econômico, são práticas que trazem sérias consequências para o ambiente. Tais áreas tornam-se degradadas, perdendo a vegetação nativa e a fauna, além da remoção ou alteração da camada fértil do solo, o que causa forte impacto na composição qualitativa e quantitativa da microbiota edáfica. Muitas vezes, a atividade mineradora leva a uma intensa geração de subprodutos e rejeitos os quais produzirão depósitos improdutivos sobre o solo.

A revegetação dos solos dessas áreas, com a finalidade de recompor suas características químicas, físicas e biológicas a um nível mínimo que permita o desenvolvimento de espécies vegetais e a atividade microbiana, tão importante no estabelecimento e sucessão da macrobiota, constitui-se numa prática muito recomendada.

Fundamentado na hipótese de que é possível induzir-se a reabilitação de um solo degradado, de forma a que possa voltar a apresentar características biológicas mínimas que permitam iniciar um desenvolvimento sustentável, o presente trabalho de tese teve como objetivo avaliar o potencial de reabilitação do solo degradado de uma área de mineração de cassiterita na região da Floresta Nacional (FLONA) do Jamari, em Porto Velho-RO, através de ensaios experimentais em casa-de-vegetação, utilizando-se a

revegetação do rejeito com espécies de crescimento rápido e o manejo de microrganismos simbiossantes fixadores do nitrogênio atmosférico e fungos micorrízicos arbusculares, adubadas ou não com composto orgânico e termofosfato.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O uso racional dos recursos naturais sem grandes perturbações dos ecossistemas é hoje uma questão prioritária na pauta de discussão sobre o ambiente, uma vez que o homem necessita retirar da natureza os meios para seu sustento e desenvolvimento, utilizando tais recursos de forma equilibrada e com um mínimo de impacto ambiental.

A atividade de extração de recursos minerais, embora imprescindível para o mundo moderno, gera uma grande variedade de subprodutos e rejeitos que diferem quanto a seus atributos biológicos, químicos e físicos. A atividade mineradora, particularmente, promove um forte impacto sobre o ambiente com conseqüências danosas para as comunidades vegetais e microbianas do solo (Pfleger et al., 1994) de tal maneira que este ambiente alterado não mais consegue retornar ao seu estado original através de seus próprios meios naturais. Estes impactos precisam ser minimizados com a adoção de medidas intervencionistas que visem restabelecer as condições originais de equilíbrio desses ambientes degradados ou, na medida do possível, as mais próximas.

Degradação, de acordo com o Manual de Diretrizes para Recuperação de Áreas Degradadas (IBAMA, 1990), ocorre "...quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada, e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico forem alterados, juntamente com a inviabilização sócio-econômica da área". A degradação do solo pode também ser definida como uma perda ou redução da energia do sistema. Uma vez que todas as funções e usos de um solo estão baseados em fluxos de energia, um solo degradado tem suas funções ou usos perdidos ou diminuídos, tornando possível, assim, a distinção entre uma degradação natural daquela causada por atividades antrópicas, via de regra a mais impactante (Blum, 1998). Como exemplo desta última temos a atividade

mineradora, principalmente aquela implementada sem uma preocupação com o impacto ambiental que pode advir, constituindo-se numa das principais causas de formação de áreas abandonadas ou não geradoras de recursos utilizáveis que necessitam da intervenção do homem para permitir uma recuperação sustentável (Bell & Genske, 2000).

A mineração produz impactos ambientais significativos em todas as suas fases iniciando-se no momento da prospecção até o fechamento da mina. Provoca danos à vegetação, à paisagem, aos mananciais de água, à fauna original e ao solo (Ribeiro, 2000).

Em áreas em que a atividade mineradora predomina, o solo apresenta limitações ao estabelecimento e desenvolvimento espontâneos da cobertura vegetal, em função, essencialmente, entre outros fatores, dos baixos teores de matéria orgânica e de nutrientes apresentados.

O Brasil busca atualmente sua independência mineral, embora sem um adequado planejamento. Isto tem gerado uma utilização desordenada dos recursos naturais, o que tem contribuído para uma generalização das áreas degradadas em todo o território nacional, não havendo ainda uma precisa avaliação da real dimensão do problema (Ferreira, 2000).

O abandono desses campos após a extração dos minérios representa um sério prejuízo ecológico e econômico, já que estão situados principalmente em áreas de florestas tropicais, ecossistemas cujo equilíbrio pode ser facilmente rompido mas é de difícil recuperação (França, 1991).

Recuperação deve ser entendida como um termo genérico que inclui todos os aspectos de qualquer processo que leve a uma nova utilização da área degradada. Reabilitação, por outro lado, significa o retorno da área degradada necessariamente a um estado biológico apropriado, o qual dependerá dos objetivos de uso produtivo da área planejados em longo prazo (IBAMA, 1990).

Na América do Sul, a Argentina, Bolívia, Brasil e Peru destacam-se como potenciais produtores de estanho, elemento químico de símbolo Sn, classificado na

categoria dos metais não-ferrosos e constituinte (entre 60 a 79%) da cassiterita, bióxido estânico (SnO_2). A gênese da cassiterita está relacionada a processos de diferenciação magmática associados às rochas graníticas. Os depósitos originários da erosão dessas rochas primárias mineralizadas, transporte e sedimentação, destacam-se como importantes fontes econômicas de cassiterita (Rodrigues, 2001).

O estanho é um metal muito procurado e utilizado em vários processos industriais tais como a galvanoplastia, formação de ligas (bronze e soldas), fabricação de folhas-de-flandres, revestimento de dutos de cobre, manufatura de latas e químicos empregados na indústria de inseticidas e como agentes retardantes de chama na indústria de tintas e resinas (CESBRA, 2004).

No Brasil, as principais jazidas e minas estão localizadas na região Norte do país, particularmente nos estados do Amazonas e Rondônia, sendo exploradas a céu aberto e gerando fortes impactos ambientais.

Na recuperação ou, mais adequadamente, reabilitação dessas áreas, deve-se, embora nem sempre na prática isto tenha ocorrido, fazer uma opção biológica, associada às práticas não biológicas, que envolva aspectos como o preparo do substrato, implantação de uma comunidade de espécies vegetais e a restauração da macrofauna e da microbiota edáfica (Miao & Marrs, 2000).

Segundo Barth (1989), a recuperação ou a reabilitação de áreas degradadas não é uma questão a ser tratada de forma pontual, mas sim um processo que se inicia antes da mineração e somente termina muito tempo depois desta ter-se completado. É, pois, um processo complexo que deve ser planejado com uma longa visão de futuro e obrigatoriamente ter um caráter multidisciplinar de ações que visem o retorno às condições originais ou próximas (Dias & Griffith, 1998).

A Legislação Federal, através da nova Constituição Brasileira, promulgada em 05 de outubro de 1988, no seu artigo 255, estabelece que "...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 da lei.", sendo aqui usado o termo recuperação de forma genérica.

Ruivo et al. (2001) avaliaram a reabilitação de áreas mineradas submetidas à revegetação e destacaram que, devido aos baixos teores de carbono, nitrogênio e fósforo encontrados, há uma necessidade de maior aporte de matéria orgânica e um estímulo à atividade biológica para que ocorra uma recuperação mais rápida desses solos alterados. Resultados semelhantes também foram obtidos por Ros et al. (2003), estudando o efeito da aplicação de composto orgânico sobre os atributos químicos e biológicos de solos de regiões semi-áridas degradados.

Mulligan (1999), avaliando o sucesso da reabilitação de áreas de mineração de bauxita, constatou experimentalmente um aumento significativo na biomassa microbiana do solo quando ocorria a recolocação do horizonte superficial. A adoção desse manejo melhorou as características iniciais do solo, permitiu um maior aporte de matéria orgânica e o estabelecimento de um microclima mais favorável a um desenvolvimento futuro sustentável.

Somente para se ter uma idéia do impacto de uma ação degradadora sobre o ambiente, o efeito do desmatamento e queima da vegetação de um latossolo amarelo da Amazônia sobre a biomassa microbiana determinou a queda de cerca de dois terços da biomassa microbiana inicial, chegando ao desaparecimento total nos dez primeiros centímetros do perfil do solo. Quantitativamente, a biomassa microbiana total tende nesses casos a voltar a ser a mesma do solo original, porém sua distribuição no perfil será diferente, encontrando-se agora um máximo de concentração nos primeiros centímetros do perfil do solo (Cerri et al., 1985). Foi observado que a simples conversão de uma área sob mata natural em pastagem, muito comum na Amazônia, induz alterações quantitativas expressivas na biomassa microbiana presente (Geraldine et al., 1995).

A revegetação de áreas degradadas é uma prática clássica recomendada para a obtenção de um novo solo. Nesta prática, tanto espécies vegetais nativas ou não podem ser utilizadas, embora o restabelecimento das espécies nativas se constitua na prática ecologicamente mais recomendada. Entretanto, Faria & Chada (2003), embora reconheçam que a revegetação com espécies nativas pode aproveitar polinizadores e dispersores naturais para uma auto-regeneração, justificam o uso de espécies não nativas

que, por apresentarem baixa sustentabilidade local, funcionam como condicionadoras do substrato. Deve-se observar também que uma deposição de serapilheira na superfície do solo degradado produzirá uma diversidade considerável de espécies herbáceas nativas, além de promover uma mais rápida recuperação da atividade das comunidades microbianas do solo (IBAMA, 1990).

Considerando que o processo de recobrimento vegetal com vegetação natural é muito lento e usualmente leva à instalação de espécies indesejáveis do ponto de vista da reabilitação, é necessária a intervenção humana no processo, visando um rápido e adequado povoamento da área, bem como o melhoramento dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Poggiani, 1981).

O grande desafio decorrente desta prática reside na recriação de comunidades com os altos níveis de diversidade de espécies que caracterizam as diversas comunidades naturais, ou seja, recriar não apenas a estrutura da comunidade, mas também restabelecer os relacionamentos funcionais críticos da comunidade (Gross, 1992). Melloni et al. (2003), pesquisando a ocorrência, diversidade e eficiência dos fungos micorrízicos arbusculares em áreas de mineração de bauxita, concluíram que as espécies introduzidas na revegetação são fatores determinantes na recuperação da funcionalidade desses fungos no solo.

De acordo com Ewel (1992), deve-se julgar o sucesso do restabelecimento de um ecossistema através da observação de cinco princípios básicos: *sustentabilidade*, que é a capacidade da nova comunidade de se perpetuar; *invasibilidade*, que é a suscetibilidade desta comunidade em ser invadida por novas espécies, constituindo-se este fato em sintoma de utilização incompleta de água, luz e nutrientes; *produtividade*, que é função da eficiência de uso dos recursos pela comunidade; *retenção de nutrientes*, que é a capacidade da comunidade em não perder mais nutrientes do que a comunidade original anterior à degradação, o que poderia aumentar a invasibilidade; e *interações bióticas*, que é a capacidade da comunidade de plantas em interagir com outros organismos. Embora a macro e a microbiota tendam a colonizar espontaneamente um ambiente, algumas espécies chave são diretamente responsáveis pela integridade funcional de uma determinada comunidade e sua ausência compromete a sustentabilidade. Como exemplo

destas espécies podemos citar os diazotróficos, aqueles que incrementam a capacidade das raízes em absorver fósforo e outros nutrientes de baixa mobilidade no solo, além de qualquer outro organismo essencial para a cadeia alimentar. Ainda segundo Ewel (1992), para superar a fase crítica da germinação de sementes em áreas sob revegetação com espécies arbóreas, uma estratégia a ser recomendada seria a utilização de mudas pré-germinadas ao invés de sementes diretamente no solo.

A capacidade de fixar nitrogênio atmosférico em associação com microrganismos edáficos, além de outros atributos, faz das leguminosas o grupo de plantas de maior interesse como povoadoras de áreas degradadas. Árvores associadas a fixadores do nitrogênio atmosférico são geralmente encontradas como pioneiras na sucessão de espécies nestas áreas onde luz e água se encontram em abundância, ao contrário do nitrogênio (Aber, 1992). Estas leguminosas são, portanto, as mais indicadas como principal componente para a revegetação, quer pelas suas características de rusticidade ou pela adaptabilidade aos ambientes mais inóspitos. Entretanto, é comum não serem utilizadas nos programas de recuperação de áreas degradadas face ao desconhecimento das principais informações relacionadas ao manejo e fisiologia da germinação de suas sementes (Garcia et al., 2000).

Outra dificuldade que se apresenta na utilização dessas plantas é que nem todas as espécies da família Leguminosae são nodulíferas e que a capacidade de nodular pode variar com o ambiente. Moreira (1995), pesquisando 51 espécies de leguminosas (48 arbóreas nativas ou exóticas, 2 arbustivas e uma liana) cultivadas em diferentes solos da região amazônica, quanto à capacidade de formar nódulos, observou que o tipo de solo pode favorecer a nodulação de espécies arbóreas nativas, determinando quais estirpes de rizóbio podem prevalecer.

Costa et al. (2000), avaliando o fluxo de nutrientes em uma área degradada após dez anos de sua revegetação com leguminosas arbóreas, constataram que a área estudada foi reabilitada pela adição de carbono e nitrogênio ao sistema e pelo restabelecimento do fluxo de nutrientes através da deposição de serapilheira. Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira et al. (2000), em que *Acacia holosericea*, uma leguminosa arbórea duplamente inoculada com rizóbio e um fungo micorrízico, destacou-se na promoção do

enriquecimento de um solo degradado pela extração de bauxita sem o retorno da camada superficial (“topsoil”), operação que representa cerca de 70 a 80% dos custos finais de algumas empresas mineradoras.

Faria et al. (1996), estudando o desenvolvimento de *Acacia mangium* (Willd.), uma leguminosa de porte arbóreo, rústica e de boa adaptabilidade às condições adversas de solo e clima, observaram que quando duplamente inoculada com rizóbio e fungo micorrízico arbuscular, na presença de pequenas quantidades de fósforo, houve um incremento no crescimento e na nodulação da planta. Resultados semelhantes foram obtidos por Burity et al. (2000), Almeida et al. (1987) e Mendes Filho et al. (1986), estudando o sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), uma leguminosa de porte arbóreo adaptada a condições ambientais severas.

Carneiro et al. (1999), investigando o comportamento de forrageiras micorrizadas na revegetação de um solo degradado pela construção de uma hidrelétrica, constataram que o estilosantes (*Stylosanthes guianensis* Aubl. Sw.), uma leguminosa de porte herbáceo, além da associação simbiótica com bactérias fixadoras do nitrogênio atmosférico, apresentou uma grande capacidade multiplicadora de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo.

A associação simbiótica de espécies vegetais superiores com fungos micorrízicos pode contribuir para o crescimento e sobrevivência das plantas através da redução de estresses associados à nutrição, relação umidade/aeração, estrutura do solo, pH, teor de sais, presença de metais tóxicos e fatores bióticos, embora muitas práticas correntes de revegetação ignorem a dinâmica da interação fungo micorrízico arbuscular-comunidade vegetal (Pfleger et al., 1994).

Os fungos micorrízicos representam uma promissora ferramenta para ecossistemas em processo de revegetação, onde as deficiências nutricionais representam uma importante limitação ao desenvolvimento das plantas e a proporção de plantas capazes de formar micorrizas é alta. Estes fungos podem contribuir para o sucesso da prática através de mecanismos como o melhoramento das condições de estabelecimento e crescimento das espécies micorrizadas, sucesso este motivado pela maior capacidade de absorção de nutrientes, manutenção da diversidade vegetal, melhor capacidade das

plantas colonizadas em competir por recursos e contribuição para uma eficiente ciclagem de nutrientes e estabilidade do solo (Jasper, 1994).

Pesquisa realizada por Siqueira et al. (2001), utilizando espécies arbóreas nativas brasileiras, demonstrou haver grandes diferenças entre as espécies testadas quanto à colonização micorrízica arbuscular, responsividade em relação à inoculação, dependência micorrízica e eficiência na absorção de fósforo. Moreira-Souza & Cardoso (2002), pesquisando a dependência micorrízica de *Araucaria angustifolia* quanto à dependência micorrízica sob diferentes doses de fósforo, constataram que esta é dependente de colonização micorrízica, mesmo em doses elevadas de fósforo.

É necessário atentar para o fato de que alterações na vegetação decorrentes das atividades que degradam o ambiente podem provocar modificações na infectividade dos fungos micorrízicos, especialmente daqueles que predominantemente colonizam novas raízes a partir de fragmentos de hifas vegetativas em vez de esporos. Entretanto, ainda é bastante obscura a questão da heterogeneidade espacial da infectividade dos fungos micorrízicos ao longo da sucessão vegetal em um ecossistema (Boerner et al., 1996).

As simbioses que ocorrem nos nódulos rizobianos e nas células corticais das raízes das leguminosas atuam tipicamente de forma sinérgica (Fitter & Garbaye, 1994), na qual as micorrizas arbusculares melhoram a absorção de P que por sua vez beneficia as bactérias fixadoras e o funcionamento da enzima responsável pela fixação de N, a nitrogenase. A fixação simbiótica do N₂ é então aumentada, promovendo um maior crescimento micorrízico e radicular na planta.

É igualmente importante a interação existente entre a micorrização e os microrganismos de vida livre do solo, uma vez que, ao estimularem o processo de colonização, estão indiretamente melhorando a nutrição da planta (Paulino & Azcon, 1987).

As micorrizas arbusculares atuam no processo de transferência de nutrientes entre plantas via rede de comunicação micelial que se estabelece no solo, a qual aumenta a eficiência translocadora de água e nutrientes no solo. Uma vez que existe um

considerável gradiente de concentração de fósforo inorgânico entre a solução do solo (cerca de 10 μM) e o citoplasma das hifas-células da planta (cerca de 10 mM), a absorção de fósforo sob tais circunstâncias, tanto por parte do fungo como por parte das células da planta, ocorre na forma de um sistema especializado dependente de energia e envolvendo fatores regulatórios (Ezawa et al., 2002). Entretanto, deve-se ressaltar o fato de que a viabilidade do micélio micorrízico extramatricial pode ser um fator determinante na eficiência da absorção e translocação de nutrientes pelos fungos micorrízicos arbusculares (Schubert et al., 1987). Jasper et al. (1989), estudando o efeito da perturbação do solo sobre a infectividade do micélio externo micorrízico em plantas inoculadas, demonstraram que havia uma diminuição dessa característica em solos degradados em face da interrupção do fluxo de assimilados pela rede de hifas quebrada. O número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo, bem como a extensão total do micélio extramatricial, apresentaram bom nível de correlação com o potencial micorrízico representado pelo número de propágulos viáveis na rizosfera (Azcón-Aguilar et al., 2003).

Cruz & Martins (1997) comprovaram este movimento experimentalmente estudando a via pela qual nitrogênio marcado era transferido entre plantas de feijão e milho. Em milho, Cardoso Filho et al. (1999) observaram que na presença de baixas quantidades de fósforo lábil na solução do solo, a proporção de micélio micorrízico extramatricial ativo era significativamente maior em relação à quantidade total de micélio do fungo colonizador, embora a espécie do fungo utilizado possa determinar variações na intensidade dessas respostas como foi observado em soja por Nogueira & Cardoso (2000). Nessa simbiose, o fungo obtém a maior parte de seu carbono a partir das células colonizadas, translocando-o, então, para as hifas do micélio extramatricial na forma de carboidrato e lipídio (Bago et al., 2003).

Nesse sentido, a dupla associação de leguminosas com rizóbio e micorriza arbuscular torna-se muito interessante para a reabilitação de áreas degradadas, uma vez que a revegetação pode ser obtida eficientemente e com um baixo aporte de fertilizantes,

restringindo-se àqueles que apresentam lenta solubilização para a solução do solo, como é o caso dos fosfatos de rocha (Franco & Faria, 1997; Paulino et al., 1986).

Minhoni et al. (1993), estudando os efeitos da interação de apatita-de-araxá, matéria orgânica e fungo micorrízico arbuscular no crescimento e na absorção de nutrientes pela soja (*Glycine max* Merrill), observaram que o fosfato de rocha aplicado em plantas micorrizadas levou a um crescimento e absorção de nutrientes equivalentes às maiores doses de fosfato solúvel usadas, ao contrário das plantas não micorrizadas, em que a equivalência era encontrada quando da utilização de pequenas doses de fósforo solúvel. Hodge (2003) evidenciou experimentalmente o efeito dos fungos micorrízicos arbusculares no incremento e na captura de nitrogênio a partir da matéria orgânica quando ocorria competição entre plantas de espécies diferentes.

Trabalhos realizados com a associação tripla rizóbio-fungo micorrízico arbuscular-leguminosa, ao longo das duas últimas décadas, têm confirmado que a nodulação e o crescimento das plantas são incrementados e que o peso da matéria seca, bem como os teores de N e P são maiores naquelas micorrizadas (Miller, 1992), ratificando afirmações clássicas como as de Mosse et al. (1976) e Daft & El-Giahmi (1974).

Em áreas onde há baixa disponibilidade de N e P a simbiose rizóbio-micorriza arbuscular pode tornar-se uma importante alternativa para proporcionar um bom desenvolvimento de leguminosas e a conseqüente recuperação desses locais (Bonetti, 1984). A eficiência na absorção de fósforo pelos fungos micorrízicos arbusculares está relacionada à distribuição espacial e à extensão de suas hifas no solo (Jakobsen et al., 1992).

Campelo et al. (2000) utilizaram substratos remanescentes da lavra de ouro na região de Paracatu-MG para implantar o cultivo de leguminosas inoculadas com rizóbio e fungo formador de micorriza arbuscular. Os resultados evidenciaram a possibilidade de estabelecimento e crescimento de plantas diretamente no substrato, contudo mecanismos da sucessão vegetal como o estabelecimento de propágulos via regeneração

natural ainda não foram estudados. Resultados semelhantes foram obtidos por Faria et al. (2000) na revegetação de bacia de rejeito de mineração de ferro em Mariana-MG.

Produção e conteúdo de nutrientes presentes em serapilheira de leguminosas arbóreas cultivadas em área com resíduo de bauxita foram estudados por Fortes et al. (2000) tendo os autores concluído que as espécies *Acacia mangium*, *Mimosa caesalpiniefolia* e *Mimosa acutistipula* produziram as maiores quantidades de serapilheira, variando essas quantidades com a concentração dos elementos e com a quantidade do material depositado no solo.

Um outro aspecto importante a considerar sobre os benefícios da atividade dos fungos micorrízicos é o fato deles produzirem uma glicoproteína denominada glomalina, a qual está relacionada à agregação de partículas e ao conseqüente estoque de carbono no solo (Rillig et al., 2002). Rillig et al. (2003) sugerem que a quantificação dessa substância no solo possa se constituir em um importante indicador de mudanças ocorridas no uso da terra em solos sob florestas.

A glomalina é uma glico-proteína produzida pelas hifas dos fungos micorrízicos arbusculares e que é depositada sobre as partículas do solo. Devido às suas características adesivas, está correlacionada, em princípio, à estabilidade de microagregados do solo (Wright, 2000). Sua identificação e descrição data de 1996, tendo sido sua importância destacada pela abundância na produção e pela resistência em permanecer no solo, mesmo sob condições bem severas (Wright & Upadhyaya, 1998). Esta estabilidade no solo nos permite, através de uma única amostragem, estabelecer com razoável segurança seu teor no solo (Lutgen et al., 2003).

Um outro aspecto interessante relacionado ao teor de glomalina no solo é que sua quantificação experimental tem demonstrado variações em termos de concentração em resposta a perturbações no ecossistema (Rillig et al., 2003).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Com a finalidade de se alcançar os objetivos propostos, foram instalados seis experimentos em casa-de-vegetação localizada nas dependências do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Setor de Microbiologia do Solo, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/ESALQ/USP, em Piracicaba, Estado de São Paulo.

Foi utilizado como substrato para os experimentos um rejeito da lavra de cassiterita proveniente da operação da mineradora CESBRA-BRASCAN na Floresta Nacional (FLONA) do Jamari, Estado de Rondônia, localizada entre os meridianos 62°44'05'' e 63°16'54''w e os paralelos 9°00'00'' e 9°30'00''s de latitude.

Um delineamento estatístico inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (adição e omissão de inóculo à base de fungo micorrízico arbuscular) x 2 (adição e omissão de termofosfato) x 2 (adição e omissão de composto orgânico), com 4 repetições, foi adotado para todos os seis experimentos. A fim de se obter homogeneidade da variância, os dados percentuais foram transformados em $(x/100)^{1/2}$ e os dados relativos a número de nódulos na planta transformados em $(x + 0,5)^{1/2}$. Os dados foram submetidos à análise de variância (procedimento GLM) e testes de média (*t* de Student a 5%) para desdobramento das interações significativas (comando LSMEANS) do SAS (SAS 1988).

Cada parcela experimental foi constituída de uma planta cultivada em 600 g do rejeito da lavra de cassiterita natural não esterilizada, acondicionada em vasos plásticos não transparentes e submetida aos diferentes tratamentos. Durante a condução dos experimentos a umidade do solo nos vasos foi mantida através de irrigação com água destilada e esterilizada.

3.1 Caracterização do Substrato

As características químicas do substrato, conforme análise prévia para fins de fertilidade, realizada pelo Laboratório de Análises de Solo da ESALQ/USP, são apresentadas na Tabela 1.

Em todos os lotes do rejeito enviados pela mineradora foi avaliada a atividade microbiana através da respirometria (Alef, 1995), nos quais foi constatado que muito pouca atividade respiratória ocorria, mesmo sob indução com glicose. Para a maioria das amostras testadas os valores de respiração não ultrapassaram $0,3 \text{ mg g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de CO_2 , tendo a respiração acumulada no final do ensaio (dez dias), com indução, alcançado valor pouco superior a $1,2 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1}$ (Figura 1). Sem indução, esse valor não chegou a $0,8 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1}$.

Tabela 1. Características químicas do rejeito utilizado nos experimentos

pH	MO	P	S-SO ₄	K ⁺	Ca ⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al ³⁺	SB	T	V	M
CaCl ₂	gdm ⁻³	mgdm ⁻³	mgdm ⁻³	mmol _c dm ⁻³							%	%
4,8	9,0	2,0	60,0	0,1	1,0	1,0	1,0	13,0	2,1	15,1	14	32
Micronutrientes (mgdm ⁻³)												
	B		Cu			Fe		Mn			Zn	
	0,12		0,1			6,0		2,0			0,2	

Métodos utilizados: MO: ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 2molL^{-1} + H_2SO_4 5molL^{-1} , com determinação por colorimetria; S-SO₄: NH_4OAc $0,5\text{N}$ em HOAc $0,25\text{N}$ (10ml TFSA/25ml), com determinação por turbidimetria; P: resina, com determinação por colorimetria; K: determinado por fotometria de chama; Ca, Mg e Al extraídos com KCl 1molL^{-1} , com determinação por titulometria; H+Al: determinado através da solução SMP e quantificado em potenciômetro; a partir dos resultados obtidos calcularam-se os valores de SB (soma de bases), T (capacidade de troca catiônica), m (saturação de alumínio) e V (saturação de bases). Micronutrientes: Cu, Fe, Mn e Zn – DTPA-EDTA, pH 7,3; B – $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,125% em forno de microondas (10ml TFSA/20ml BaCl_2 0,125%)

Figura 1 - Respiração diária e acumulada no rejeito de mineração de cassiterita antes da instalação dos experimentos, com e sem indução com glicose

O clima predominante na região é o quente e úmido, com curta estação seca (tropical com chuvas tipo monção) e classificação, de acordo com a tabela de climas de Köpen, “Amwi”. O relevo típico da floresta é o levemente ondulado, apresentando temperatura média de 22°C e precipitação média anual de 1750 a 2750 mm. A vegetação nativa típica da região é a Floresta Ombrófila Aberta (nas terras baixas e submontana) e com pequenas manchas de Floresta Ombrófila Densa. Já existem áreas com plantio de espécies nativas visando a recuperação de áreas degradadas pela mineração de cassiterita.

O complexo Jamari é representado principalmente por granitóides e migmatitos com altas concentrações de cassiterita e de outros minerais estratégicos como a wolframita, columbita-tantalita, nióbio, fluorita e semi-preciosos. Grande parte do

complexo Jamari encontra-se recoberto pela extensa sedimentação Cenozóica, que na área recebe a denominação de Formação Içá, constituída de arenitos e argilitos intercalados e camadas de turfa.

Os solos representativos da área são classificados como latossolo amarelo, latossolo vermelho amarelo, latossolo vermelho, espodossolo e neossolo quartzarênico, gleiossolo e neossolo litólico. São solos minerais, muito meteorizados, profundos de textura média a muito argilosa. Sua drenagem varia de bem a excessivamente drenados, são muito porosos e têm pequena relação textural e pouca diferenciação entre horizontes. Devido ao alto grau de intemperismo e processo intenso de lixiviação, apresentam valores baixos de saturação e soma de bases, predominando a acidez trocável, fato que os torna fortemente ácidos e com saturação de alumínio muito alta (França, 1991).

A FLONA do Jamari dista cerca de 110km a sudeste da Cidade de Porto Velho-RO, pela BR 364, rumo a Cuiabá, ocupando uma área total de 231.000 ha (França, 1991). A área de exploração mineral abrange cerca de 60.000 ha da FLONA do Jamari em jazidas primárias e aluvionares do complexo de mineração Santa Bárbara/Jacundá, onde predomina a extração a céu aberto e beneficiamento mecânico para separação da cassiterita .

3.2 Espécies Vegetais Cultivadas

Duas espécies de leguminosas comerciais herbáceas, feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) e feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Huth) e três espécies de leguminosas arbóreas, acácia (*Acacia mangium* Willd.), parkia da amazônia (*Parkia multijuga* Benth.), e ingá (*Inga edulis* Mart.), e uma espécie não leguminosa arbórea, aroeira pimenteira (*Schinus terebinthifolia* Schlecht. & Cham.), foram cultivadas para avaliação do desenvolvimento no substrato rejeito da lavra de mineração de cassiterita. Entre as espécies de leguminosas utilizadas, quatro eram nodulíferas (*Canavalia ensiformis*, *Cajanus cajan*, *Acacia mangium* e *Inga edulis*) e uma não nodulífera (*Parkia multijuga*).

As sementes das leguminosas herbáceas foram obtidas no comércio local, através de doação por parte da empresa SEMENTES PIRAÍ SA. As sementes das leguminosas

arbóreas *A. mangium* e *P. multijuga* e da não leguminosa arbórea *S. terebinthifolia* foram obtidas junto ao Instituto de Pesquisas Florestais–IPEF/ESALQ/USP, enquanto as sementes de *I. edulis* foram enviadas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária–EMBRAPA, Unidade Amazônia Ocidental.

3.3 Inoculações

As leguminosas nodulíferas receberam uma inoculação à base de uma mistura de rizóbios selecionados provenientes da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária–Centro de Recursos Microbiológicos-FEPAGRO/CERGS-RS e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA/CNPBS-RJ, de acordo com as seguintes recomendações: SEMIA-6156 e SEMIA 6158 (*C. ensiformis*), SEMIA-6156 e SEMIA 6157 (*C. cajan*), SEMIA-6158 (*S. atterrimum*), SEMIA 6387 e SEMIA 6420 (*A. mangium*), BR 6609, BR 6610 e BR 5609 (*Inga edulis*). As estirpes rizobianas foram multiplicadas, a partir de cultivos liofilizados, em meio de cultura líquido “Yeast Mannitol Broth” (YMB) com azul de bromotimol e mantidas sob agitação em agitador orbital de mesa durante 8 dias, quando amostras do caldo bacteriano foram assepticamente coletadas para avaliação da morfologia e concentração de células, de acordo com procedimentos preconizados por Somasegaran & Hoben (1985).

Aos vasos dos tratamentos que receberam inoculação com fungos micorrízicos arbusculares foi adicionada uma mistura padronizada das espécies *Glomus clarum*, *G. intraradices* e *Gigaspora rosea*, todas pertencentes ao banco de inóculo do Setor de Microbiologia do Solo/ESALQ/USP. A inoculação das parcelas foi efetuada mediante a aplicação ao substrato, logo abaixo da linha de semeadura das sementes pré-germinadas, de cerca de 30g de uma mistura de solo, raízes colonizadas e propágulos (hifas e esporos) das espécies micorrízicas utilizadas.

3.4 Adubações

Aos vasos dos tratamentos que receberam adubação mineral fosfatada foi aplicado por ocasião do plantio o termofosfato YOORIN (16,5% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico), em dose única equivalente a 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 , enquanto naqueles que

receberam adubação orgânica foi aplicado composto preparado no CEPARA/ESALQ/USP contendo 1% de nitrogênio, 40% de matéria orgânica, 40% de umidade e relação C/N de 18:1, em dose única equivalente a 30 ton ha⁻¹, igualmente por ocasião do plantio. Ambos os adubos foram incorporados ao substrato na forma de pequenas partículas misturadas mecanicamente e de forma mais homogênea possível.

3.5 Determinações

Por ocasião da colheita dos experimentos (60 dias para as espécies herbáceas e 90 dias para as espécies arbóreas), as plantas foram medidas e cortadas à altura do colo do caule para a determinação da altura (Alt PA) e, após secagem em estufa com fluxo de ar forçado a 65°C, do peso do material seco da parte aérea (PMSPA). Os nódulos foram retirados das raízes das plantas noduladas, limpos e secos e colocados em estufa de secagem a 65°C, até peso constante, quando foi determinado o número por planta (NumNod) e peso da matéria seca (PMSNod) dos nódulos.

A quantificação do micélio externo total (MET) no solo das parcelas experimentais foi procedida utilizando-se o método proposto por Cardoso Filho (1994) e modificado por Melloni (1996), enquanto a taxa de colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares (ColnMz) foi determinada conforme metodologias descritas por Phillips & Hayman (1970), Vierheilig et al. (1998) e Giovanetti & Mosse (1980).

A dependência micorrízica (DM), conforme definida por Gerdemann (1975), foi estimada pela diferença percentual na produção de matéria seca da parte aérea entre as plantas inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e as plantas não inoculadas ($D_{\text{dependência}} M_{\text{icorrízica}} = \{\text{matéria seca da planta micorrizada} - \text{matéria seca da planta não micorrizada}\} / \{\text{matéria seca da planta micorrizada}\} \times 100$), de acordo com metodologia descrita por Plenchette et al. (1983), Janos (1988) e Moreira-Souza & Cardoso (2002), para o nível de adubação mineral e orgânica adotado.

Foram também determinados no tecido vegetal da parte aérea os conteúdos totais de nitrogênio (N-PA) e fósforo (P-PA). O nitrogênio foi determinado através da digestão sulfúrica das amostras e quantificação da amônia pelo método semi-micro-

Kjeldahl. O fósforo foi determinado via digestão nítrico-perclórica das amostras e determinação através da colorimetria do metavanadato (Malavolta et al., 1989).

No rejeito após a colheita das plantas, foram avaliados ainda a atividade respirométrica basal (Alef, 1995) e o pH em CaCl_2 0,01M.

4 RESULTADOS

A análise dos resultados obtidos nos experimentos realizados está agrupada por espécie vegetal, apresentada em função de cada variável e considerando o efeito dos fatores de tratamento impostos no delineamento estatístico adotado, considerando-se o nível $P < 0,05$ de significância. Apenas as interações significativas que contribuíram para a discussão no contexto da hipótese proposta serão levadas em consideração na avaliação dos resultados.

Com exceção do experimento com a espécie *I. edulis* (conduzido de maio a julho/2003) que, por apresentar sementes recalcitrantes e somente ser possível a coleta de sementes para o plantio no início do ano, todos os demais experimentos foram conduzidos nos meses de agosto a dezembro de 2002.

As temperaturas na casa-de-vegetação durante a condução dos experimentos estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Temperaturas mensais mínimas, médias e máximas da casa-de-vegetação durante a condução dos experimentos

4.1 *Canavalia ensiformis*

A análise de variância para as variáveis estudadas em *Canavalia ensiformis* está apresentada na Tabela 2, onde se observam os valores de probabilidade de significância do Teste F para o efeito principal dos fatores de tratamento e suas interações.

Tabela 2. Valores de probabilidade de significância de F obtidos na análise de variância para as variáveis estudadas para os fatores de tratamento e suas interações em *C. ensiformis*

Causa de Variação	PMSPA	AltPA	pHSolo	MET	ColnMz	N-PA	P-PA	PMSNod	NumNod
Pr > F									
MIC	ns	ns	0.0003**	<,0001**	<,0001**	ns	ns	ns	**
COMP	<,0001**	<,0001**	<,0001**	<,0001**	<,0001**	0,0002**	<,0001**	<,0001**	<,0001**
TMF	ns	ns	0,0094**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MIC x COMP	ns	ns	ns	ns	<,0001**	ns	ns	ns	ns
MIC x TMF	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TMF x COMP	ns	ns	ns	0,0097**	0,0056**	ns	ns	ns	ns
MIC X TMF X COMP	ns	ns	ns	ns	0,0056**	ns	ns	ns	ns
CV %	28,8	22,3	2,4	28,2	17,7	35,2	29,7	31,2	14,3
* significativo (P < 0,05) pelo Teste F			MIC inoculado com FMA						
** significativo (P < 0,01) pelo Teste F			COMP adubado com composto						
ns não significativo			TMF adubado com termofosfato						
CV Coeficiente de variação									

4.1.1 Peso da Matéria Seca e Altura da Parte Aérea

Tanto a produção de matéria seca como a altura da parte aérea de *Canavalia ensiformis* apresentaram efeito estatisticamente significativo (P < 0,01) apenas para o fator presença de composto (COMP), não havendo efeito estatisticamente significativo para os demais fatores e interações (Tabela 2). Para essa espécie vegetal, com características de planta herbácea e de crescimento rápido, a adubação com composto orgânico foi o único fator determinante do maior crescimento vegetativo observado quando cultivada no rejeito utilizado como substrato. Não houve contribuição da inoculação com fungos micorrízicos, da adubação com composto orgânico, adubação com termofosfato nem de qualquer efeito de interação para essas duas variáveis.

4.1.2 pH do Rejeito Após o Cultivo

Houve efeito estatisticamente significativo ($P < 0,01$) dos fatores inoculação micorrízica (MIC) e presença de composto orgânico sobre o pH do rejeito após cultivo, bem como de sua interação (Tabela 2). O desdobramento da interação MIC x COMP (Figura 3) evidencia que o efeito da adubação com composto orgânico foi significativo tanto na presença como na ausência de inoculação micorrízica. O efeito da inoculação com FMA foi significativo apenas na presença de composto orgânico. Observa-se também que o incremento no pH do rejeito quando se associa a inoculação micorrízica com a aplicação do composto orgânico foi significativamente menor do que o alcançado na ausência de inoculação micorrízica. O comportamento do pH no rejeito submetido aos tratamentos adotados após cultivo está representado na Figura 4.

Figura 3 – Efeito da interação MIC x COMP sobre o pH do rejeito após cultivo com *C. ensiformis* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t , $P < 0,05$)

Figura 4 – Comportamento do pH no rejeito cultivado com *C. ensiformis* sob os tratamentos adotados (Mz=micorriza arbuscular Tmf=termofosfato Comp=Composto orgânico)

4.1.3 Micélio Externo Total e Colonização Radicular

A análise de variância para MET e ColnMz (Tabela 2) evidencia efeito significativo ($P < 0,01$) para inoculação micorrízica (MIC) e adubação com composto orgânico (COMP) para ambas as variáveis. Houve efeito de interação significativo entre os fatores adubação com termofosfato (TMF) x COMP, para MET, e MIC x COMP, TMF x COMP e MIC x COMP x TMF, para Colonização Micorrízica (ColMz).

A inoculação micorrízica e a aplicação de composto contribuíram, isoladamente, para a maior quantidade de micélio externo total observada no rejeito após cultivo. A ausência de interação significativa entre esses dois fatores significa que MET na presença de inoculação micorrízica ou na presença de composto orgânico apresentou respostas semelhantes, indistintamente.

Para a variável ColnMz, a inoculação com FMA foi a única responsável pela colonização radicular de *Canavalia ensiformis*. Os tratamentos que não receberam inoculação com FMA não apresentaram qualquer vestígio de estruturas típicas desses fungos (micélio, arbúsculos, vesículas ou esporos), mesmo sendo o substrato não estéril, indicando que tanto o rejeito original como o composto aplicado não continha

propágulos de espécies nativas de FMA ativas na presença dessa espécie vegetal. O efeito do composto e do termofosfato sobre a colonização de raízes somente foi significativo, por conseguinte, na presença de plantas inoculadas.

A Figura 5 representa o efeito da interação tripla MIC x TMF x COMP, na qual a presença de inoculação micorrízica mostrou-se significativa sobre todas as interações sem inoculação. A presença de termofosfato em plantas inoculadas com FMA, sem adubação orgânica, teve colonização radicular superior àquelas sem termofosfato e sem composto orgânico. O melhor suprimento de P nas plantas que receberam adubação orgânica e termofosfato não permitiu significância da adubação com termofosfato na dose empregada, como ocorreu naquelas que não receberam composto orgânico.

Figura 5 – Efeito da interação MIC x TMF x COMP sobre ColnMz em raízes de *C. ensiformis* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

4.1.4 Peso da Matéria Seca e Número de Nódulos

A análise de variância para as variáveis PMSNod e NumNod (Tabela 2) indicou efeito significativo apenas do fator COMP ($P < 0,01$). Somente a adubação com

composto orgânico produziu efeito significativo sobre as duas variáveis analisadas, uma vez que tanto os valores para a matéria seca como para o número de nódulos produzidos pelas plantas adubadas com composto orgânico foram estatisticamente superiores quando comparadas com aquelas que não receberam adubação orgânica. Os demais fatores de tratamento (MIC e TMF) não apresentaram efeito significativo nem isoladamente nem quando interagiram.

4.1.5 Conteúdos Totais de Nitrogênio e Fósforo na Parte Aérea

A análise de variância para as variáveis N-PA e P-PA (Tabela 2) nos permite observar comportamento semelhante ao apresentado para PMSNod e NumNod para essa espécie vegetal, em que apenas o fator de tratamento COMP apresentou efeito significativo ($P < 0,01$), tanto para o conteúdo de nitrogênio como para o de fósforo na parte aérea das plantas.

Não houve efeito significativo para os demais fatores (MIC e TMF), sendo a aplicação de composto orgânico o manejo que contribuiu efetivamente para um maior acúmulo desses nutrientes na planta.

4.1.6 Respirometria Basal no Rejeito Após Cultivo

Os dados obtidos a partir do ensaio para determinação da respirometria basal no rejeito após cultivo estão representados na Figura 6. O histograma permite a observação de que, no rejeito após cultivo, os valores de respiração acumulada aos oito dias de ensaio superaram, em todos os tratamentos, aqueles valores obtidos no mesmo período para o rejeito original. Devido aos altos valores de coeficiente de variação (CV) encontrados na análise de variância dos dados para essa variável, a análise estatística foi desconsiderada.

Figura 6 – Respirometria basal acumulada no rejeito após cultivo com *C.ensiformis* (a linha escura horizontal representa a respiração acumulada no rejeito original, aos oito dias de ensaio; Mz=FMA Pt=termofosfato Cp=composto orgânico)

4.2 *Cajanus cajan*

A análise de variância para as variáveis estudadas em *Cajanus cajan* está apresentada na Tabela 3, onde se observam os níveis de probabilidade de significância obtidos do Teste F para o efeito principal dos fatores de tratamento e suas interações.

4.2.1 Peso da Matéria Seca e Altura da Parte Aérea

Através do resultado obtido pela análise de variância para as variáveis PMSPA e AltPA observa-se efeito significativo ($P < 0,01$) para os fatores de tratamento MIC, COMP e TMF, além das interações significativas MIC x COMP e MIC x TMF, para PMSPA, e MIC, COMP e interação MIC x COMP, para AltPA (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de probabilidade de significância de F obtidos na análise de variância das variáveis estudadas para os fatores de tratamento e suas interações em *Cajanus cajan*

Causa de Variação	PMSPA	AltPA	pHSolo	MET	ColnMz	N-PA	P-PA	PMSNod	NumNod
Pr > F									
MIC	<.0001**	0,0004**	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**	ns	<.0001**
COMP	<.0001**	<.0001**	<.0001**	ns	0,0283*	<.0001**	<.0001**	0,0023*	<.0001**
TMF	0,0045**	ns	0,0004**	0,0063**	ns	ns	0,0185*	ns	0,0424*
MIC X COMP	<.0001**	0,0222*	0,0395*	ns	0,0283*	<.0001**	<.0001**	ns	<.0001**
MIC X TMF	0,0093**	ns	ns	ns	ns	ns	0,0144*	ns	0,0220*
TMF X COMP	ns	ns	ns	0,0283*	ns	ns	ns	ns	ns
MIC X TMF X COMP	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV	11,4	17,4	1,5	37,0	26,3	29,6	15,2	16,9	18,3
* significativo (P < 0,05) pelo Teste F			MIC inoculado com FMA						
** significativo (P < 0,01) pelo Teste F			COMP adubado com composto						
ns não significativo			TMF adubado com termofosfato						
CV Coeficiente de variação									

O estudo da interação MIC x COMP para PMSPA (Figura 7) permite a afirmação de que houve efeito significativo da inoculação micorrízica tanto na presença como na ausência de adubação com composto orgânico, sendo a associação da inoculação com FMA e adubação orgânica a que maior efeito teve sobre a produção de matéria seca da parte aérea de *Cajanus cajan*. A aplicação de composto orgânico produziu efeitos significativos tanto na ausência como na presença de inoculação micorrízica em comparação aos tratamentos que não receberam adubação com composto orgânico.

A interação MIC x TMF sobre PMSPA quando desdobrada (Figura 8) indica que, na presença de inoculação micorrízica, a adubação com termofosfato contribuiu para os maiores valores de peso da matéria seca da parte aérea obtidos, comprovando uma melhor utilização do termofosfato pelas plantas micorrizadas. Mesmo na ausência de adubação com termofosfato a inoculação com FMA mostrou-se mais eficiente em relação às plantas que não receberam inoculação.

Figura 7 – Efeito da interação MIC x COMP sobre PMSPA em *C. cajan* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

Figura 8 – Efeito da interação MIC x TMF sobre PMSPA em *C. cajan* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

O efeito da interação observada para AltPA entre os fatores MIC e COMP (Figura 9) evidencia que o efeito da inoculação com FMA somente foi significativo na presença de composto orgânico, uma vez que na ausência de colonização não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos que não receberam a adubação orgânica. De forma semelhante ao que ocorreu para a variável PMSPA, o maior valor para a altura da parte aérea das plantas avaliadas foi conseguido quando se associou a inoculação com FMA e a adubação com composto orgânico. A adição de composto orgânico beneficiou o crescimento das plantas tanto na presença como na ausência de inoculação com FMA.

Figura 9 – Efeito da interação MIC x COMP sobre AltPA em *C. cajan* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

4.2.2 pH do Rejeito Após o Cultivo

Pela análise de variância para a variável pH_{Solo} (Tabela 3) observa-se significância ($P < 0,01$) para os efeitos principais dos fatores MIC, COMP e TMF, além da interação significativa MIC x COMP ($P < 0,05$).

Na interação MIC x COMP, houve efeito significativo da adubação orgânica para os dois níveis de inoculação micorrízica (Figura 10). O maior incremento, porém, sobre o pH do rejeito cultivado com *C. cajan* foi observado quando ocorreu a adubação orgânica sem inoculação micorrízica. É importante notar que a inoculação micorrízica produziu menores incrementos no valor de pH do rejeito após cultivo tanto na presença como na ausência de adubação orgânica. O comportamento do pH no rejeito nos diversos tratamentos após cultivo pode ser observado na Figura 11.

Figura 10 – Efeito da interação MIC x COMP sobre o pH do rejeito após cultivo com *C. cajan* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

Figura 11 - Comportamento do pH no rejeito cultivado com *C. cajan* sob os tratamentos adotados (Mz=micorriza arbuscular Tmf=termofosfato Comp=Composto orgânico)

4.2.3 Micélio Externo Total e Colonização Radicular

A análise de variância para as variáveis MET e ColnMz (Tabela 2) evidencia efeito significativo ($P < 0,01$) para o efeito principal dos fatores MIC, TMF e interação TMF x COMP ($P < 0,05$), para MET, e efeito principal dos fatores MIC ($P < 0,01$), COMP e da interação MIC x COMP ($P < 0,05$), para ColnMz.

A produção de micélio externo total no rejeito após cultivo foi influenciada tanto pela inoculação com FMA como pela adubação com termofosfato isoladamente. A existência de efeito de interação entre os fatores TMF x COMP, nesse caso, foi previsível e não será aqui discutida.

O estudo da interação MIC x COMP sobre a colonização micorrízica em *C. cajan* (Figura 12) indica que, na ausência de adubação orgânica, o efeito da inoculação micorrízica foi significativamente maior do que na presença de adubação com composto orgânico, condição em que o maior valor percentual de colonização radicular foi obtido.

Na ausência de inoculação micorrízica, nenhum vestígio de colonização foi observado (micélio, arbúsculos, vesículas ou esporos), mesmo sendo o rejeito não estéril.

Figura 12 – Efeito da interação MIC x COMP sobre ColnMz em raízes de *C. cajan* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

4.2.4 Peso da Matéria Seca e Número de Nódulos

A análise de variância para as variáveis MSNod e NumNod (Tabela 3) evidencia efeito significativo para os efeitos principais dos fatores MIC e COMP ($P < 0,01$) e TMF ($P < 0,05$), além das interações significativas MIC x COMP ($P < 0,01$) e MIC x TMF ($P < 0,05$), para MSNod. Para a variável NumNod houve efeito significativo apenas para o fator COMP ($P < 0,01$).

O desdobramento do efeito da interação MIC x COMP sobre PMSNod de *C. cajan* indica diferença estatística significativa da inoculação micorrízica apenas na presença de composto orgânico. Nesse caso, foi encontrado o maior valor para peso da matéria seca dos nódulos rizobianos.

O efeito da aplicação de composto orgânico aos tratamentos foi significativo tanto na presença como na ausência da inoculação micorrízica. Nota-se também que, na ausência de adubação com composto orgânico, não houve diferença estatística

significativa entre plantas inoculadas e não inoculadas com FMA sobre o peso da matéria seca dos nódulos.

Figura 13 - Efeito da interação MIC x COMP sobre PMSNod de *C. cajan* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

Ao se decompor o efeito da interação MIC x TMF sobre PMSNod (Figura 14), constata-se ter havido efeito significativo da adubação com termofosfato apenas na presença de inoculação micorrízica, efeito esse que influenciou no maior valor de peso de matéria seca nodular obtido. Na ausência de adubação com termofosfato, a presença de FMA implicou em aumento do peso da matéria seca dos nódulos, com diferença significativa sobre as plantas não inoculadas, nesse caso tendo sido o efeito significativo provocado pela presença do termofosfato.

O número de nódulos produzidos pelas plantas analisadas apresentou resposta significativa apenas à aplicação de composto orgânico, não tendo havido efeito significativo de qualquer outro fator de tratamento ou interação.

4.2.5 Conteúdos Totais de Nitrogênio e Fósforo na Parte Aérea

A análise de variância para as variáveis N-PA e P-PA (Tabela 3) evidencia efeito significativo para os efeitos principais dos fatores MIC, COMP e interação MIC x COMP ($P < 0,01$), para N-PA, e MIC, COMP, TMF e interações MIC x COMP e MIC x

TMF ($P < 0,01$), para P-PA.

Figura 14 - Efeito da interação MIC x TMF sobre PMSNod de *C. cajan* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

Ao se analisar o efeito da interação MIC x COMP sobre N-PA (Figura 15), podemos observar que a inoculação micorrízica teve efeito significativo apenas na presença do composto orgânico. A adubação orgânica propiciou incrementos no conteúdo total de nitrogênio na parte aérea tanto na presença como na ausência da inoculação com FMA, mas o maior valor obtido para o conteúdo de nitrogênio total na parte aérea ocorreu quando associamos a inoculação micorrízica com a adição de composto orgânico. Na ausência de composto orgânico, não ocorreu diferença significativa entre as plantas inoculadas e não inoculadas.

Figura 15 – Efeito da interação MIC x COMP sobre N-PA de *C. cajan* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

O desdobramento da interação MIC x COMP (Figura 16) sobre o conteúdo total de P na parte aérea permite a identificação de efeito significativo da adubação orgânica tanto na presença como na ausência de inoculação micorrízica. As plantas micorrizadas, tanto na presença como na ausência de composto orgânico, apresentaram efeitos significativos sobre as não micorrizadas. O maior valor para o conteúdo total de P na parte aérea, entretanto, foi alcançado quando se associou a adubação orgânica com a inoculação com FMA. É importante ressaltar que, na ausência de composto orgânico, as plantas micorrizadas ainda assim apresentaram valores maiores para a variável P-PA do que as não micorrizadas.

Ainda em relação ao conteúdo de P total na parte aérea de *C. cajan*, analisamos o efeito da interação MIC x TMF (Figura 17), onde constatamos não haver diferença significativa entre os efeitos dos níveis do fator TMF na ausência de inoculação micorrízica. A presença de fungos micorrízicos arbusculares colonizando as raízes de *C. cajan*, com a adição de termofosfato, produziu os maiores efeitos no conteúdo de P na parte aérea das plantas superior aos das plantas não inoculadas.

Figura 16 – Efeito da interação MIC x COMP sobre P-PA de *C. cajan* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

Figura 17 – Efeito da interação MIC x TMF sobre P-PA de *C. cajan* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

4.2.6 Respirometria Basal no Rejeito Após Cultivo

Os dados relativos à respiração basal no rejeito após o cultivo com *C. cajan* estão apresentados na Figura 18.

O histograma permite a observação de que, no rejeito após cultivo, os valores de respiração acumulada aos oito dias de ensaio superaram, em todos os tratamentos, aqueles obtidos no mesmo período para o rejeito original. Devido aos altos valores de coeficiente de variação (CV) encontrados na análise de variância dos dados para essa variável, a análise estatística foi desconsiderada.

Figura 18 – Respirometria basal acumulada no rejeito após cultivo com *C. cajan* (a linha escura horizontal representa a respiração acumulada no rejeito original, aos oito dias de ensaio; Mz=FMA Pt=termofosfato Cp=composto orgânico)

4.3 *Acacia mangium*

A análise de variância para as variáveis estudadas em *Acacia mangium* está apresentada na Tabela 4, onde se observam os níveis de probabilidade de significância obtidos através do Teste F para o efeito principal dos fatores de tratamento e suas interações.

Tabela 4. Valores de probabilidade de significância de F obtidos na análise de variância das variáveis estudadas para os fatores de tratamento e suas interações em *Acacia mangium*

Causa de Variação	PMSPA	AltPA	pHSolo	MET	ColnMz	N-PA	P-PA	PMSNod	NumNod
Pr > F									
MIC	<,0001**	<,0001**	<,0001**	0,0361*	<,0001**	<,0001**	<,0001**	<,0001**	<,0001**
COMP	ns	<,0001**	<,0001**	ns	<,0001**	<,0001**	<,0001**	<,0001**	<,0001**
TMF	<,0001**	0,0060**	ns	ns	<,0001**	ns	ns	<,0001**	0,0003**
MIC x COMP	<,0001**	0,0004**	<,0001**	0,0207*	<,0001**	<,0001**	<,0001**	<,0001**	<,0001**
MIC x TMF	ns	ns	ns	ns	<,0001**	ns	ns	ns	0,0079**
TMF x COMP	ns	ns	ns	0,0055**	<,0001**	ns	ns	ns	0,0070**
MIC X TMF X COMP	0,0370*	0,0101*	ns	0,0060**	<,0001**	ns	ns	ns	0,0304**
CV %	33,9	15,3	1,8	44,5	28,1	40,4	33,6	22,0	12,6
* significativo (P < 0,05) pelo Teste F ** significativo (P < 0,01) pelo Teste F ns não significativo CV Coeficiente de variação									
MIC inoculado com FMA COMP adubado com composto TMF adubado com termofosfato									

4.3.1 Peso da Matéria Seca e Altura da Parte Aérea

A análise de variância para essas variáveis (Tabela 4) evidencia efeito estatisticamente significativo ($P < 0,01$) para os fatores de tratamento MIC e COMP, além das interações MIC x COMP ($P < 0,01$) e MIC x TMF x COMP ($P < 0,05$), para PMSPA, e para os fatores MIC, COMP e TMF ($P < 0,01$), além das interações MIC x COMP ($P < 0,01$) e MIC x TMF x COMP ($P < 0,05$), para AltPA.

O estudo do desdobramento da interação tripla MIC x TMF x COMP em relação à variável PMSPA (Figura 19), com ênfase no efeito da inoculação micorrízica e considerando os níveis dos fatores TMF e COMP conjuntamente, permite estabelecer que a presença de fungos micorrízicos somente não estimulou a produção de matéria seca da parte aérea das plantas na dupla ausência de termofosfato e adubação orgânica. Para a adubação orgânica associada à inoculação com FMA não houve efeito significativo da presença de termofosfato na dose aplicada. É importante ressaltar que a inoculação micorrízica, mesmo na ausência de adubação com composto orgânico, teve efeito significativo quando na presença de termofosfato.

Figura 19 – Efeito da interação MIC x TMF x COMP sobre PMSPA de *A.mangium* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

A análise da interação MIC x COMP x TMF em relação à variável AltPA, conforme podemos observar na Figura 20, apresenta comportamento semelhante ao obtido para PMSPA, em que a inoculação micorrízica na presença de adubação orgânica incrementou significativamente a altura da parte aérea das plantas, independentemente da presença ou não de termofosfato. A adubação com termofosfato foi significativa somente na ausência de composto orgânico nas plantas inoculadas com FMA. A ausência de efeito significativo entre plantas que receberam termofosfato ou não, na ausência de adubação com composto orgânico e sem inoculação micorrízica comprova a melhor utilização do termofosfato pelas plantas micorrizadas.

Figura 20 – Efeito da interação MIC x COMP x TMF sobre AltPA de *A. mangium* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t , $P < 0,05$)

4.3.2 pH do Rejeito Após o Cultivo

A análise de variância para a variável pHSolo (Tabela 4) indicou efeito significativo para os fatores MIC e COMP ($P < 0,001$) e para a interação MIC x COMP ($P < 0,01$).

Os maiores valores de pH do rejeito após cultivo foram obtidos nos vasos que receberam adubação com composto orgânico cultivados com plantas não inoculadas com fungos micorrízicos (Figura 21). Em plantas micorrizadas, a adição de composto orgânico produziu, ao final do experimento, incrementos significativamente menores do que os obtidos com plantas micorrizadas e adubadas com composto orgânico. Na ausência de adubação orgânica não foi detectada diferença significativa para os dois níveis do fator de tratamento MIC.

O comportamento do pH no rejeito após cultivo pode ser observado na Figura 22.

Figura 21 – Efeito da interação MIC x COMP sobre o pH do rejeito após cultivo com *A. mangium* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

Figura 22 – Comportamento do pH no rejeito cultivado com *A. mangium* sob os tratamentos adotados (Mz=micorriza arbuscular Tmf=termofosfato Comp=Composto orgânico)

4.3.3 Micélio Externo Total e Colonização Micorrízica

A análise de variância (Tabela 4) para a variável MET evidenciou efeito significativo ($P < 0,05$) para os fatores MIC e interações MIC x COMP e MIC x TMF, além da interação tripla MIC x TMF x COMP ($P < 0,01$). Para a variável ColnMz houve

efeito significativo ($P < 0,01$) para todos os efeitos principais e interações de fatores de tratamento testados pelo Teste F.

O estudo do desdobramento da interação tripla MIC x TMF x COMP em relação a variável MET (Figura 23), com ênfase no efeito da inoculação micorrízica e considerando conjuntamente os níveis dos fatores TMF e COMP, permite identificar efeito significativo apenas dentro dos níveis do fator MIC na dupla ausência de composto orgânico e termofosfato. Nesse caso, a inoculação micorrízica teve a maior influência na produção de micélio externo total no rejeito após cultivo.

Figura 23 – Efeito da interação MIC x TMF x COMP sobre MET no rejeito após cultivo com *A. mangium* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

O estudo da interação MIC x TMF x COMP sobre a percentagem de colonização micorrízica de raízes de *A. mangium* (Figura 24) indica efeito significativo da micorrização na ausência de composto orgânico e termofosfato sobre todos os demais

desdobramentos. Na ausência de inoculação micorrízica não foi observado qualquer vestígio de presença de fungos micorrízicos (micélio, vesículas, arbúsculos ou esporos), mesmo sendo o rejeito não estéril.

Figura 24 – Efeito da interação MIC x COMP x TMF sobre ColnMz nas raízes de *A. mangium* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

4.3.4 Peso da Matéria Seca e Número de Nódulos

A análise de variância para as variáveis PMSNod e NumNod (Tabela 4) evidencia efeito significativo ($P < 0,01$) para os efeitos principais dos fatores de tratamento MIC, COMP e TMF e também para a interação MIC x COMP ($P < 0,01$), para PMSNod. Já para a variável NumNod houve efeito significativo ($P < 0,01$) entre os efeitos principais de MIC, COMP e TMF, bem como para as interações MIC x COMP, MIC x TMF e MIC x TMF x COMP.

O efeito da interação MIC x COMP para a variável PMSNod (Figura 25) evidencia que a adubação com composto orgânico foi significativa tanto na presença como na ausência de inoculação micorrízica, embora tenha sido a associação da inoculação micorrízica e adubação orgânica a responsável pelos maiores valores de peso

da matéria seca dos nódulos rizobianos em raízes de *A. mangium* obtidos. Mesmo na ausência de adubação com composto orgânico, a inoculação com FMA ainda estimulou mais a nodulação do que nas plantas não micorrizadas.

Figura 25 – Efeito da interação MIC x COMP sobre PMSNod nas raízes de *A. mangium* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

O comportamento da variável NumNod em função do efeito da interação significativa MIC x COMP x TMF pode ser observada na Figura 26. A inoculação micorrízica, nesse caso, produziu efeito significativo sobre o número de nódulos formados em raízes de *A. mangium* na presença de composto orgânico, independentemente da presença de termofosfato. Na ausência de composto orgânico, as plantas micorrizadas somente produziram mais nódulos na presença de termofosfato, embora em quantidade inferior aos produzidos na presença de adubação orgânica. Sem adubação orgânica e termofosfato, as plantas não micorrizadas não diferiram significativamente das micorrizadas e tiveram os piores valores para a variável NumNod.

Figura 26 – Efeito da interação MIC x COMP x TMF sobre NumNod nas raízes de *A. mangium* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t , $P < 0,05$)

4.3.5 Conteúdos Totais de Nitrogênio e Fósforo na Parte Aérea

A análise de variância para as variáveis N-PA e P-PA (Tabela 4) evidencia efeito principal significativo ($P < 0,01$) para os fatores MIC e COMP, além da interação MIC x COMP para ambas.

O estudo da interação MIC x COMP para N-PA (Figura 27) nos permite inferir que o composto orgânico, quer na presença ou na ausência de fungos micorrízicos, resultou sempre em maiores valores para o nitrogênio acumulado na parte aérea da planta. Na presença de FMA, contudo, a acumulação de nitrogênio foi a maior obtida. Mesmo na ausência de composto orgânico, as plantas micorrizadas apresentaram maior conteúdo de N em comparação com aquelas não inoculadas. A adição de composto ao rejeito dos vasos das plantas sem inoculação micorrízica produziu efeito sobre o número de nódulos formados que não diferiu daquele produzido pela micorrização das plantas não adubadas com composto orgânico.

Figura 27 – Efeito da interação MIC x COMP sobre N-PA de *A. mangium* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

O conteúdo total de P na parte aérea sofreu, da mesma forma, o efeito significativo da interação MIC x COMP (Figura 28), na qual seu desdobramento evidencia comportamento semelhante ao obtido quando do estudo do efeito da mesma interação sobre a variável N-PA.

Na presença de composto orgânico, as quantidades de P acumuladas na parte aérea foram superiores àquelas acumuladas quando na ausência de composto orgânico. A associação da inoculação com FMA e de composto orgânico produziu os maiores valores para o P acumulado na parte aérea das plantas avaliadas. Na ausência de composto orgânico a inoculação micorrízica não teve efeito significativo para os dois níveis do fator MIC.

Figura 28 – Efeito da interação MIC x COMP sobre P-PA de *A. mangium* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

4.3.6 Respirometria Basal no Rejeito Após Cultivo

Os dados relativos à respiração basal no rejeito após o cultivo com *A. mangium* estão apresentados na Figura 29.

Observa-se pelo histograma que, à exceção dos tratamentos com inoculação micorrízica e termofosfato e sem inoculação micorrízica e sem termofosfato, ambos na ausência de composto, todos os demais superaram os valores de respiração acumulada aos oito dias do rejeito original. Devido aos altos valores de coeficiente de variação (CV) encontrados na análise de variância dos dados para essa variável, a análise estatística foi desconsiderada.

Figura 29 – Respirometria basal acumulada no rejeito após cultivo com *A.mangium* (a linha escura horizontal representa a respiração acumulada no rejeito original, aos oito dias de ensaio; Mz=FMA Pt=termofosfato Cp=composto orgânico)

4.4 *Parkia multijuga*

A análise de variância para as variáveis estudadas em *Parkia multijuga* está apresentada na Tabela 5, onde se observam os valores de probabilidade de significância de F para o efeito principal dos fatores de tratamento e suas interações.

4.4.1 Peso da Matéria Seca e Altura da Parte Aérea

Pela análise de variância para as variáveis PMSPA e AltPA (Tabela 5) observa-se que, para a primeira variável, houve efeito principal significativo apenas do fator de tratamento TMF. Entretanto, nesse caso, as plantas adubadas apenas com o termofosfato na ausência de inoculação micorrízica, produziram menos matéria seca na parte aérea do

que as que não receberam adubação com termofosfato. Para a segunda variável (AltPA), houve efeito principal significativo do fator TMF ($P < 0,05$) bem como da interação TMF x COMP ($P < 0,05$).

Tabela 5. Valores de probabilidade de significância de F obtidos na análise de variância das variáveis estudadas para os fatores de tratamento e suas interações em *P. multijuga*

Causa de Variação	PMSPA	AltPA	pHSolo	MET	ColnMz	N-PA	P-PA
Pr > F							
MIC	ns	ns	ns	ns	<,0001**	ns	ns
COMP	ns	ns	<,0001**	ns	ns	ns	0,0113*
TMF	0,0357*	0,0427*	0,0095**	ns	ns	ns	ns
MIC x COMP	ns	ns	<,0001**	ns	ns	ns	0,0320*
MIC x TMF	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TMF x COMP	ns	0,0285*	<,0001**	ns	ns	ns	ns
MIC X TMF X COMP	ns	na	ns	ns	ns	ns	ns
CV %	23,2	11,1	2,0	45,5	30,3	35,6	14,8

* significativo ($P < 0,05$) pelo Teste F

** significativo ($P < 0,01$) pelo Teste F

ns não significativo

CV Coeficiente de variação

MIC inoculado com FMA

COMP adubado com composto

TMF adubado com termofosfato

O efeito da interação TMF x COMP sobre a variável AltPA, como podemos observar na Figura 30, ratifica o comportamento atípico observado para PMSPA, pelo menor valor de altura da parte aérea alcançado nas plantas adubadas com termofosfato na ausência de adubação com composto orgânico. Este resultado sugere um possível efeito depressivo da presença de termofosfato sobre o crescimento de *P. multijuga*.

4.4.2 pH do Rejeito Após Cultivo

Pela análise de variância para a variável pHSolo (Tabela 5) observa-se significância ($P < 0,01$) para os efeitos principais dos fatores COMP e TMF, além das interações MIC x COMP e TMF x COMP.

Figura 30 – Efeito da interação COMP x TMF sobre AltPA em *P. multijuga* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

O estudo da interação MIC x COMP (Figura 31) sobre o pH do rejeito após cultivo indica que a adubação orgânica, tanto na presença como na ausência de inoculação micorrízica, teve efeito significativo sobre os valores de pH, aumentando-os em relação ao pH do rejeito antes do cultivo. O maior valor de pH foi alcançado na presença de adubação com composto orgânico e ausência de inoculação micorrízica. É importante ressaltar que o efeito da associação da adubação orgânica com a inoculação com FMA resultou num menor incremento do pH do rejeito após cultivo.

O comportamento do pH no rejeito após cultivo pode ser observado na Figura 32.

Figura 31 – Efeito da interação MIC x COMP sobre o pH do rejeito após cultivo com *P. multijuga* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

Figura 32 – Comportamento do pH no rejeito cultivado com *P. multijuga* sob os tratamentos adotados (Mz=micorriza arbuscular Tmf=termofosfato Comp=Composto orgânico)

4.4.3 Micélio Externo Total e Colonização Radicular

A análise de variância para as variáveis MET e ColnMz (Tabela 5) evidenciou efeito significativo apenas para o efeito principal do fator MIC sobre a colonização micorrízica. Esse resultado era esperado uma vez que não houve vestígio de estruturas típicas de fungos micorrízicos nos tratamentos não inoculados. Embora os valores de colonização radicular para essa espécie tenham alcançado cerca de 30% da extensão do córtex, não contribuíram para promover efeito significativo sobre o micélio externo total no rejeito após cultivo, não havendo correlação significativa entre essas duas variáveis em *P. multijuga*.

4.4.4 Conteúdos Totais de Nitrogênio e Fósforo na Parte Aérea

A análise de variância para as variáveis N-PA e P-PA (Tabela 5) não identificou efeito significativo de nenhum fator de tratamento sobre o conteúdo total de nitrogênio na parte aérea de *P. multijuga*. Para a variável P-PA houve efeito principal significativo do fator COMP ($P < 0,05$) e da interação MIC x COMP ($P < 0,05$).

O efeito da interação MIC x COMP (Figura 33) sobre o conteúdo total de P na parte aérea se desdobra no efeito significativo da inoculação com fungo micorrízico apenas na presença de composto orgânico. Na ausência de inoculação com FMA não houve efeito significativo da adubação orgânica sobre a acumulação de P na parte aérea de *P. multijuga*. Na ausência de composto orgânico não houve efeito significativo para os dois níveis do fator MIC.

4.4.5 Respirometria basal acumulada no rejeito após cultivo

Os dados relativos à respiração basal no rejeito após o cultivo com *P. multijuga* estão apresentados na Figura 34.

Observa-se pelo histograma que, à exceção do tratamento em que se associou a inoculação micorrízica à adubação orgânica e adição de termofosfato, todos os demais superaram os valores de respiração acumulada do rejeito original aos oito dias de ensaio. Devido aos altos valores de coeficiente de variação (CV) encontrados na análise de variância dos dados para essa variável, a análise estatística foi desconsiderada.

Figura 33 – Efeito da interação MIC x COMP sobre P-PA de *P. multijuga* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

Figura 34 - Respirimetria basal acumulada no rejeito após cultivo com *P. multijuga* (a linha escura representa a respiração acumulada no rejeito original, aos oito dias de ensaio; Mz=FMA Pt=termofosfato Cp=composto orgânico)

4.5 *Schinus terebinthifolia*

A análise de variância para as variáveis estudadas em *Schinus terebinthifolia* está apresentada na Tabela 6, onde se observam os valores de probabilidade de significância de F obtidos para o efeito principal dos fatores de tratamento e suas interações.

Tabela 6. Valores de probabilidade de significância de F obtidos na análise de variância das variáveis estudadas para os fatores de tratamento e suas interações em *S. terebinthifolia*

Causa de Variação	PMSPA	AltPA	pHSolo	MET	ColnMz	N-PA	P-PA
Pr > F							
MIC	<,0001**	<,0001**	ns	0,0004**	<,0001**	<,0001**	<,0001**
COMP	ns	<,0001**	<,0001**	ns	ns	<,0001**	<,0001**
TMF	<,0001**	ns	<,0001**	0,0482*	ns	ns	ns
MIC x COMP	<,0001**	ns	0,0037**	ns	ns	<,0001**	<,0001**
MIC x TMF	0,0097**	ns	0,0461*	ns	ns	ns	ns
TMF x COMP	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MIC X TMF X COMP	ns	ns	0,0201*	ns	ns	ns	ns
CV %	26,6	18,4	1,2	38,2	16,2	28,3	34,7
* significativo (P < 0,05) pelo Teste F			MIC inoculado com FMA				
** significativo (P < 0,01) pelo Teste F			COMP adubado com composto				
ns não significativo			TMF adubado com termofosfato				
CV Coeficiente de variação							

4.5.1 Peso da Matéria Seca e Altura da Parte Aérea

Pela análise de variância para as variáveis PMSPA e AltPA (Tabela 6) observa-se efeito significativo (P < 0,01) para os fatores MIC e COMP, além das interações MIC x COMP e MIC x TMF, para PMSPA, e para o efeito principal (P < 0,01) dos fatores MIC e COMP, para AltPA.

O desdobramento do efeito da interação MIC x COMP para a variável PMSPA (Figura 35) mostra que houve efeito significativo para a adubação com composto orgânico nos dois níveis do fator MIC, sendo a associação da inoculação micorrízica com a adubação orgânica a interação que estimulou a maior produção de matéria seca da parte aérea para a planta estudada.

Na ausência de adubação com composto orgânico, a inoculação micorrízica produziu efeito significativo sobre PMSPA das plantas. É importante ressaltar que

mesmo na ausência de adubação com composto orgânico houve diferença significativa entre as plantas inoculadas e não inoculadas com FMA.

Figura 35 – Efeito da interação MIC x COMP sobre PMSPA de *S. terebinthifolia* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t , $P < 0,05$)

Em relação à interação MIC x TMF (Figura 36) para a mesma variável, observamos no seu desdobramento efeito significativo da inoculação micorrízica tanto na presença como na ausência de adubação com termofosfato. Plantas inoculadas com fungo micorrízico e adubadas somente com termofosfato apresentaram os maiores valores de peso da matéria seca da parte aérea. Em plantas não inoculadas com FMA, não houve diferença estatística significativa em relação à presença ou não de adubação com termofosfato, comprovando ter sido as plantas micorrizadas mais eficientes na utilização do termofosfato na ausência de adubação orgânica.

A inoculação micorrízica e a aplicação de composto orgânico exerceram efeitos significativos isoladamente sobre a altura da parte aérea de *S. terebinthifolia*. Em ambos os casos a presença desses dois fatores causou os maiores valores obtidos para essa variável.

Figura 36 – Efeito da interação MIC x TMF sobre PMSPA de *S. terebinthifolia* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

4.5.2 pH do Rejeito Após Cultivo

Pela análise de variância para a variável pH_{Solo} (Tabela 6) observa-se significância ($P < 0,01$) para os efeitos principais COMP e TMF, além das interações MIC x COMP ($P < 0,01$), MIC x TMF ($P < 0,05$) e MIC x TMF x COMP ($P < 0,05$).

A interação MIC x TMF x COMP (Figura 37) comprovou a inexistência de efeito significativo da inoculação micorrízica na ausência de adubação orgânica e de termofosfato. As plantas inoculadas em vasos adubados com composto orgânico e termofosfato produziram um incremento menor no pH do rejeito do que as que não foram inoculadas. O mesmo efeito foi observado nos vasos adubados apenas com composto orgânico, com e sem inoculação micorrízica.

Na ausência de composto orgânico a adição de termofosfato provocou um incremento significativo do pH do rejeito das plantas inoculadas com FMA em relação às que não receberam a inoculação.

O comportamento do pH do rejeito após o cultivo com *S. terebinthifolia* pode ser observado na Figura 38.

Figura 37 – Efeito da interação MIC x TMF x COMP sobre pH_{Solo} no rejeito cultivado com *S. terebinthifolia* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

Figura 38 – Comportamento do pH no rejeito cultivado com *S. terebinthifolia* sob os tratamentos adotados (Mz=micorriza arbuscular Tmf=termofosfato Comp=Composto orgânico)

4.5.3 Micélio Externo Total e Colonização Radicular

A análise de variância para as variáveis MET e ColnMz (Tabela 6) evidencia efeito significativo dos fatores MIC ($P < 0,01$) e TMF ($P < 0,05$), para MET, e do fator MIC ($P < 0,01$), para ColnMz.

A inoculação com fungos micorrízicos ou a adubação com termofosfato tiveram efeitos significativos isolados sobre a quantidade de micélio externo total, aumentando-a quando na presença desses dois fatores.

Deve-se ressaltar que não havia propágulos ativos de FMA no rejeito (micélio, arbusculos, vesículas ou esporos) e, conseqüentemente, qualquer colonização foi produzida apenas pela inoculação.

4.5.4 Conteúdos Totais de Nitrogênio e Fósforo na Parte Aérea

A análise de variância de N-PA e P-PA (Tabela 6) apresentou efeito principal significativo ($P < 0,01$) para os fatores MIC e COMP para ambas as variáveis, além da interação significativa ($P < 0,01$) MIC x COMP.

A inoculação com fungos micorrízicos teve efeito significativo sobre o conteúdo de N na parte aérea das plantas tanto na presença quanto na ausência de adubação com composto orgânico (Figura 39). Plantas micorrizadas e adubadas com composto orgânico apresentaram os maiores valores de nitrogênio acumulado na parte aérea. A ausência de inoculação micorrízica e de adubação com composto orgânico produziu os menores valores para N-PA entre as plantas.

Em relação ao conteúdo de P na parte aérea de *S. terebinthifolia*, o efeito da interação MIC x COMP (Figura 40), quando desdobrado, indicou diferença estatística significativa da composição adubação com composto orgânico e inoculação micorrízica, associação essa responsável pelos maiores valores de conteúdo de P na parte aérea das plantas. Não houve diferença significativa entre as plantas inoculadas com FMA que não receberam adubação orgânica daquelas que não foram inoculadas com FMA, tanto na ausência como na presença de adubação orgânica.

Figura 39 – Efeito da interação MIC x COMP sobre N-PA de *S. terebinthifolia* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

Figura 40 – Efeito da interação MIC x COMP sobre P-PA de *S. terebinthifolia* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

4.5.5 Respirometria Basal no Rejeito Após Cultivo

Os dados relativos à respiração basal no rejeito após o cultivo com *S. terebinthifolia* estão apresentados na Figura 41.

Observa-se pelo histograma que houve um incremento na atividade respirométrica acumulada aos oito dias do ensaio no rejeito cultivado com *S. terebinthifolia* para todos os tratamentos em relação aos valores de respiração do rejeito original em igual período. Devido aos altos valores do coeficiente de variação (CV) encontrados na análise de variância dos dados para essa variável, a análise estatística foi desconsiderada.

Figura 41 - Respirometria basal no rejeito após cultivo com *S. terebinthifolia* (a linha escura horizontal representa a respiração no rejeito original, aos oito dias de ensaio; Mz=FMA Pt=termofosfato Cp=composto orgânico)

4.6 *Inga edulis*

A análise de variância para as variáveis estudadas em *Inga edulis* está apresentada na Tabela 7, onde se observam os valores de probabilidade de significância de F obtidos para o efeito principal dos fatores de tratamento e suas interações.

Tabela 7 - Valores de probabilidade de significância de F obtidos na análise de variância das variáveis estudadas para os fatores de tratamento e suas interações em *I. edulis*

Causa de Variação	PMSPA	AltPA	pHSolo	MET	ColnMz	N-PA	P-PA	PMSNod	NumNod
Pr > F									
MIC	ns	ns	0,0289*	0,0151*	<,0001**	ns	0,0337*	ns	ns
COMP	0,0336*	ns	ns	ns	<,0001**	0,0221*	0,0001**	0,0024**	0,0001**
TMF	0,0322*	ns	0,0146*	ns	ns	ns	0,0059**	ns	ns
MIC x COMP	ns	ns	0,0003*	ns	<,0001**	ns	0,0121*	ns	ns
MIC x TMF	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TMF x COMP	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MIC X TMF X COMP	ns	ns	0,0289*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV %	25,9	19,9	2,0	44,6	14,2	33,1	22,9	34,8	18,7
* significativo (P < 0,05) pelo Teste F				MIC inoculado com FMA					
** significativo (P < 0,01) pelo Teste F				COMP adubado com composto					
ns não significativo				TMF adubado com termofosfato					
CV Coeficiente de variação									

4.6.1 Peso da Matéria Seca e Altura da Parte Aérea

Pela análise de variância para as variáveis PMSPA e AltPA (Tabela 7) observaram-se efeitos significativos (P < 0,05) dos fatores COMP e TMF, para PMSPA, e ausência de efeito significativo sobre AltPA para todos os fatores de tratamento e suas interações.

O peso da matéria seca da parte aérea de *I. edulis* apresentou efeito significativo devido à inoculação com FMA e aplicação de composto orgânico isoladamente. Em ambos os casos, a presença dos referidos fatores produziu incrementos sobre os valores obtidos para a variável.

4.6.2 pH do Rejeito Após Cultivo

Pela análise de variância para a variável pH_{Solo} (Tabela 7) observa-se significância ($P < 0,05$) para os efeitos principais MIC e TMF, além das interações MIC x COMP ($P < 0,01$) e MIC x TMF x COMP ($P < 0,05$), sobre o pH do rejeito após cultivo.

A adubação com termofosfato isoladamente resultou no incremento significativo do pH do rejeito após cultivo quando comparado com a ausência da adubação.

A interação MIC x COMP x TMF quando desdobrada (Figura 42) evidenciou efeito significativo da inoculação micorrízica sobre o pH do rejeito após cultivo apenas na ausência de adubação orgânica mas com adição de termofosfato. Para as demais combinações não foi encontrado efeito significativo.

O comportamento do pH no rejeito após cultivo pode ser observado na Figura 43.

Figura 42 – Efeito da interação MIC x COMP x TMF sobre o pH do rejeito cultivado com *I. edulis* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t , $P < 0,05$)

Figura 43 – Comportamento do pH no rejeito cultivado com *I. edulis* sob os tratamentos adotados (Mz=micorriza arbuscular Tmf=termofosfato Comp=Composto orgânico)

4.6.3 Micélio Externo Total e Colonização Radicular

Pela análise de variância das variáveis MET e ColnMz (Tabela 7) pode ser observado efeito significativo apenas do fator MIC ($P < 0,05$), para MET, e dos fatores MIC e COMP, além da interação MIC x COMP ($P < 0,01$), para ColnMz.

A quantidade de micélio externo total avaliado no rejeito após cultivo apresentou valor significativo apenas na presença de inoculação micorrízica. Não houve diferença estatística significativa para os demais fatores de tratamento nem de suas interações.

O comportamento dos níveis dos fatores na interação MIC x COMP para a variável ColnMz pode ser observado na Figura 44. Houve diferença estatística significativa entre os níveis de adubação com composto orgânico na presença de inoculação micorrízica. A associação da inoculação com FMA e adubação orgânica implicou nos maiores valores para o percentual de colonização micorrízica. As plantas não inoculadas com fungos micorrízicos não apresentaram qualquer vestígio de colonização por parte desses fungos (micélio, arbúsculos, vesículas ou esporos), mesmo sendo o rejeito estéril.

Figura 44 – Efeito da interação MIC x COMP sobre ColnMz no rejeito cultivado com *I. edulis* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

4.6.4 Peso da Matéria Seca e Número de Nódulos

A análise de variância das variáveis PMSNod e NumNod (Tabela 7) identifica efeito principal significativo apenas para o fator COMP ($P < 0,01$) em ambos os casos.

A adubação com composto orgânico foi o fator que contribuiu tanto no incremento do peso da matéria seca como no número de nódulos formados nas raízes de *I. edulis*. Nenhum outro fator de tratamento, nem suas interações, induziram efeito significativo sobre as variáveis avaliadas.

4.6.5 Conteúdos Totais de Nitrogênio e Fósforo na Parte Aérea

Pela análise de variância das variáveis N-PA e P-PA, podemos observar efeito significativo do fator COMP ($P < 0,05$), para N-PA, e MIC ($P < 0,05$), COMP e TMF ($P < 0,01$), além da interação MIC x COMP ($P < 0,05$), para P-PA.

A presença de adubação com composto orgânico foi, para o conteúdo total de nitrogênio na parte aérea, o único fator a apresentar efeito significativo sobre os que não receberam adubação orgânica.

O desdobramento da interação MIC x COMP (Figura 45) indica que a inoculação micorrízica, na presença de adubação com composto orgânico, foi responsável pelos maiores valores de P acumulado na parte aérea de *I. edulis*. Não houve diferença estatística significativa quando comparamos o conteúdo total de P na parte aérea das plantas que não receberam nem inoculação micorrízica nem adubação com composto orgânico.

Figura 45 – Efeito da interação MIC x COMP sobre P-PA de *I. edulis* (médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste *t*, $P < 0,05$)

4.6.6 Respirometria Basal no Rejeito Após Cultivo

Os dados relativos à respiração basal no rejeito após o cultivo com *I. edulis* estão apresentados na Figura 46.

Observa-se pelo histograma que todos os tratamentos superaram os valores de respiração acumulada do rejeito original aos dias de ensaio. Devido aos altos valores do coeficiente de variação (CV) encontrados na análise de variância dos dados para essa variável, a análise estatística foi desconsiderada.

Figura 46 – Respirometria basal acumulada no rejeito após cultivo com *I. edulis* (a linha escura horizontal representa a respiração acumulada no rejeito original, aos oito dias de ensaio; Mz=FMA Pt=termofosfato Cp=composto orgânico)

5 DISCUSSÃO

O desenvolvimento das plantas cultivadas no rejeito de mineração de cassiterita apresentou respostas diferenciadas para as variáveis pesquisadas em função dos fatores de tratamento adotados e das próprias espécies utilizadas.

O efeito da aplicação de composto orgânico produziu incrementos no crescimento das espécies estudadas, à exceção de *P. multijuga*, cujas plantas não apresentaram diferenças estatísticas significativas para o peso da matéria seca da parte aérea na presença de adubação orgânica. Efeitos benéficos da aplicação de composto orgânico ao solo e sobre o crescimento das plantas de áreas semi-áridas ou degradadas têm sido comprovados extensivamente por vários pesquisadores. A incorporação de composto orgânico aos solos dessas áreas, devido à maior estabilidade da matéria orgânica contida, pode melhorar suas características químicas, além de promover um maior adensamento vegetal na cobertura do solo (Ros et al., 2003). Por serem ricos principalmente em carbono, promovem a atividade microbiana e o crescimento sustentável, melhorando, por conseguinte, os ciclos biogeoquímicos, conforme resultados encontrados por Pascual et al. (1977). Melhoras nas propriedades físicas de solos de regiões degradadas também foram observadas quando se associou a aplicação de composto orgânico e fungos micorrízicos a várias espécies vegetais cultivadas (Celik et al., 2004).

O crescimento de *C. cajan*, *A. mangium* e *S. terebinthifolia*, avaliado pelo peso de matéria seca da parte aérea produzida, foi fortemente influenciado pela presença conjunta de inoculação com fungo micorrízico e adubação com composto orgânico. Resultados semelhantes, em que o desenvolvimento das plantas inoculadas com fungos micorrízicos foi sensivelmente aumentado na presença de adubação orgânica, foram

encontrados por Fries et al. (1996), Linderman & Daves (2001), Gaur & Adholeya (2002) e Atimanav & Adholeya (2002). Joner & Jakobsen (1995) sugeriram que os fungos micorrízicos influenciam a exsudação de fosfatases pelas raízes, aumentando a absorção de P por parte das raízes colonizadas. Lima (2004), pesquisando a influência de substâncias húmicas sobre raízes micorrizadas, observou efeito estimulante dessas substâncias na simbiose. Sugere o autor que os ácidos húmicos atuam como moléculas bioativas no estímulo da atividade da H^+ -ATPase no tonoplasto e na membrana plasmática das células, alterando o número de sítios mitóticos, morfologia radicular e atividade enzimática de membranas. Entretanto, as explicações bioquímicas sobre o mecanismo envolvido no estímulo ao maior desenvolvimento de plantas micorrizadas na presença de adubação orgânica ainda não estão bem compreendidos.

Para essas três espécies, a presença de colonização micorrízica em suas raízes, mesmo na ausência dos demais fatores de tratamento, foi ainda capaz de promover incrementos no desenvolvimento das plantas significativamente superiores aos daquelas não micorrizadas, evidenciando serem essas espécies altamente micotróficas.

Benefícios advindos da associação de fungos micorrízicos com raízes de muitas espécies já são conhecidos há bastante tempo (Mosse et al., 1976), sendo as respostas das plantas micorrizadas fortemente afetadas pelos fatores ambientais em que se dá a simbiose e também por questões intrínsecas à própria planta (Brundrett, 1991; Saggin-Júnior & Siqueira, 1995). O comportamento de *C. ensiformis*, *P. multijuga* e *I. edulis*, em termos de produção de matéria seca da parte aérea, comprovou essa diversidade de resposta quando comparada com *C. cajan*, *A. mangium* e *S. terebinthifolia*, nas condições experimentais assumidas. Para as três primeiras espécies, a associação da inoculação micorrízica com a adubação com composto orgânico não teve efeito sobre a produção de matéria seca da parte aérea.

A incorporação de N e P por parte de *C. cajan*, *A. mangium* e *S. terebinthifolia* foi maior nas plantas inoculadas com FMA e adubadas com composto orgânico conjuntamente. Essa resposta ocorreu nas mesmas proporções em que aumentaram a altura e produção de biomassa vegetal. Tais aumentos no crescimento de plantas micorrizadas estão em acordo com resultados obtidos por Smith & Gianinazzi-Pearson

(1988) e Atimanav & Adholeya (2002). *C. ensiformis* e *I. edulis*, ao contrário, incorporaram mais nitrogênio apenas na presença de composto orgânico, embora essa última tenha apresentado maior conteúdo de fósforo quando associada a fungos micorrízicos e composto orgânico. Na espécie *P. multijuga* não houve efeito significativo decorrente da adubação orgânica e da inoculação micorrízica sobre o conteúdo total de nitrogênio na parte aérea. Suas sementes excepcionalmente grandes ainda apresentavam razoável integridade ao final do período experimental, fornecendo nutrientes às plantas a partir de suas reservas. Entretanto, houve efeito significativo da interação TMF x COMP sobre a altura da parte aérea e da interação MIC x COMP sobre o conteúdo total de P na parte aérea. Diferenças entre espécies quanto ao efeito da simbiose com fungos micorrízicos sobre a produção de matéria seca e absorção de N e P já foram observadas por outros pesquisadores, tanto em espécies arbóreas (Siqueira & Saggin-Júnior, 2001) como em espécies herbáceas (Atimanav & Adholeya, 2002).

Houve correlação altamente significativa entre as variáveis N-PA, P-PA e MSPA para todas as espécies cultivadas no rejeito.

As leguminosas nodulíferas *C. cajan* e *A. mangium* produziram mais matéria seca de nódulos quando adubadas com composto orgânico e inoculadas com fungos micorrízicos ou termofosfato simultaneamente. A adubação com composto orgânico foi o único fator de tratamento a exercer efeito significativo sobre a matéria seca dos nódulos em *C. ensiformis* e *I. edulis*.

Uma vez que P foi fator limitante para a fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico no rejeito utilizado, leguminosas com um melhor suprimento desse nutriente puderam fixar mais N para complementação de suas necessidades nutricionais. Entretanto, a adubação com termofosfato foi importante para a nodulação de *C. cajan* e *A. mangium* nos tratamentos sem inoculação micorrízica, embora que, na dose utilizada, pouco contribuiu para o crescimento das seis espécies estudadas. Tais resultados sugerem que a quantidade de termofosfato por vaso foi insuficiente para influenciar mais efetivamente no desenvolvimento das plantas ou, ainda, que o tempo de condução dos experimentos deveria ter sido maior, principalmente para as espécies arbóreas, para que houvesse uma maior disponibilidade de fósforo.

No caso do rejeito utilizado como substrato, as respostas obtidas podem ser explicadas pela baixa quantidade de matéria orgânica contida, consequência da retirada da serapilheira do solo de mineração e oxidação acelerada da matéria orgânica residual do rejeito durante o processamento e depósito. Conseqüentemente, para os estádios iniciais de revegetação desse substrato, a adubação orgânica foi um fator imprescindível para dar suporte ao estabelecimento de uma biota sustentável.

O pH do rejeito após cultivo apresentou um padrão de resposta peculiar para praticamente todas as seis espécies estudadas, conforme podemos observar na Figura 47. Para todas elas houve um incremento no pH do rejeito após cultivo em relação ao determinado no rejeito original. Houve efeito estatisticamente significativo da interação entre inoculação com fungo micorrízico e adubação com composto orgânico. Entretanto, esse efeito produziu um menor incremento no pH do rejeito quando comparado com a adubação orgânica na ausência de inoculação micorrízica, à exceção do que ocorreu com *I. edulis*, em que não houve diferença significativa para a mesma interação. Efeito semelhante de alteração no pH rizosférico foi encontrado por Xiao-Lin et al. (1991), estudando a depleção de fósforo e alterações no pH nas interfaces raiz-solo e hifa-solo de *Trifolium repens*. Esses autores sugerem que a alteração no pH da interface hifa-solo pode ser atribuída a um mecanismo exsudativo induzido pela presença do fungo simbiote, à semelhança do que ocorre com raízes na presença de fungos ectomicorrízicos. Por outro lado, Bago & Azcón-Aguilar (1997) encontraram alterações no pH da interface hifa-solo determinadas pela forma de N disponível para a absorção pela planta, sendo que a predominância de N-NH_4^+ provocou a acidificação e a de NO_3^- uma alcalinização inicial. Contudo, as razões para a diminuição do pH do rejeito induzida pela colonização micorrízica, em comparação com os tratamentos com composto orgânico e sem micorriza, ainda permanece controversa. É importante também ressaltar que, nos tratamentos em que as plantas foram inoculadas com fungos micorrízicos e sem composto orgânico e termofosfato, houve uma uniforme e clara tendência de diminuição do pH do rejeito em comparação com os não micorrizados para todas as espécies, com exceção de *I. edulis*.

É provável que, devido à maior exploração do pequeno volume do substrato dos vasos pelas raízes colonizadas, a magnitude desse efeito para os tratamentos com adubação com composto orgânico possa ter sido mais facilmente detectável.

Podemos observar, ainda de acordo com a mesma figura, uma contribuição diferenciada das espécies cultivadas para o pH do rejeito. Essas diferenças podem ser atribuídas às características fisiológicas das espécies empregadas, bem como ter sido influenciadas pela microbiota estabelecida em cada caso.

Figura 47 – Comportamento do pH do rejeito após cultivo com seis diferentes espécies (Mz=micorriza Tmf=termofosfato Cp=composto)

A quantidade de micélio externo total no rejeito cultivado com *P. multijuga* não se alterou na presença dos fatores de tratamentos adotados, havendo efeito significativo apenas para a intensidade de colonização das raízes por fungos micorrízicos. Essa resposta para a variável ColnMz era previsível, uma vez que o rejeito não continha espécies nativas ativas desse fungo e a colonização de suas raízes foi devida unicamente à inoculação. Para *A. mangium*, a quantidade de micélio externo total no rejeito e o

percentual de colonização radicular somente foram significativos quando plantas inoculadas com FMA foram cultivadas na ausência de composto orgânico e termofosfato. A percentagem de colonização radicular, entretanto, nem sempre nos permite inferir sobre o efeito do endófito no crescimento da planta (Ezeta & Santos, 1981). Não houve correlação estatisticamente significativa entre essas duas variáveis para ambas as espécies.

Em relação às espécies *C. ensiformis*, *C. cajan*, *S. terebinthifolia* e *I. edulis*, coeficientes de correlação estatisticamente significativos foram encontrados entre as variáveis MET e ColnMz. Tal resultado implica em que o aumento obtido na quantidade de micélio externo total no rejeito para essas espécies teve a contribuição de fungos micorrízicos. Essa contribuição é importante para o solo pois, muitas vezes, a quantidade de hifas micorrízicas externas se constitui em um melhor índice de avaliação da eficiência desses fungos do que as próprias raízes colonizadas (Graham et al., 1982), pois melhoram a adaptação da planta ao solo e a qualidade da rizosfera, fatores críticos para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável e um ecossistema funcional (Barea et. al., 2002). É importante ressaltar que a metodologia empregada na quantificação do micélio externo total não permite distinguir diferenças entre micélio de FMA e micélio dos demais fungos do solo.

A dependência micorrízica, avaliada pela diferença percentual entre peso da matéria seca das plantas micorrizadas e não micorrizadas (Figura 48), evidenciou dependência micorrízica para as espécies *C. cajan*, *A. mangium* e *S. terebinthifolia* em todas as situações de interação com as adubações empregadas. Tais espécies se mostraram, portanto, micotróficas, especialmente *A. mangium* que, na presença de termofosfato, desenvolveu o mais alto grau de dependência micorrízica (mais de 90%). A dependência micorrízica para *I. edulis* ocorreu apenas na presença de adubação com termofosfato e, mesmo assim, com valores pouco maiores que 26%. Para *C. ensiformis*, a dependência micorrízica não chegou a 5% no tratamento sem composto orgânico e termofosfato. *P. multijuga* apresentou dependência micorrízica apenas nos tratamentos com composto orgânico, alcançando valores pouco maiores que 21%. Os valores negativos para dependência micorrízica encontrados em *C. ensiformis*, *P. multijuga* e *I.*

edulis indicam que, além de se mostrarem pouco micotróficas, o endófito não funcionou como um simbiote em determinadas situações, sugerindo, para esses casos, o desenvolvimento de um mecanismo simbiótico não mutualístico.

Figura 48 - Dependência micorrízica nas seis espécies cultivadas no rejeito
 $(D_{\text{dependência } M_{\text{icorrízica}}} = \{(\text{matéria seca da planta micorrizada}) - (\text{matéria seca da planta não micorrizada})\} / \{(\text{matéria seca da planta micorrizada})\} \times 100)$

Os resultados da respirometria acumulada aos oito dias de ensaio para o conjunto das seis espécies estão apresentados na Figura 49.

A atividade respiratória acumulada, quantificada no rejeito após cultivo, foi superior, para todas as espécies, aos níveis respirométricos encontrados no rejeito original sem indução. Contudo, os tratamentos com inoculação micorrízica e sem adubação com composto orgânico e termofosfato, para *A. mangium*, e com inoculação

micorrízica, com composto orgânico e com termofosfato, para *P. multijuga*, resultaram em valores respirométricos acumulados inferiores aos obtidos no rejeito original aos oito dias de ensaio. Estes poucos resultados contraditórios, entretanto, podem ter ocorrido em função da grande variabilidade apresentada pelos dados coletados para esse parâmetro e não refletirem, necessariamente, uma diminuição da capacidade respiratória do rejeito após cultivo. A respirometria é considerada um dos melhores parâmetros para medir a atividade dos microrganismos do solo. Assim, certamente, o incremento que ocorreu na comunidade microbiana do rejeito durante o cultivo das diferentes espécies está refletido no aumento dessa variável.

Figura 49 – Respirometria no rejeito após cultivo com as seis espécies estudadas, aos oito dias de ensaio (a linha escura horizontal representa a respiração no rejeito original sem indução, aos oito dias de ensaio; Mz=FMA Pt=termofosfato Cp=composto orgânico)

As Figuras 50 e 51 mostram os aspectos das seis espécies cultivadas no rejeito por ocasião da colheita dos experimentos (60 dias para *C. ensiformis* e *C. cajan* e 90 dias para *A. mangium*, *P. multijuga*, *S. terbinthifolia* e *I. edulis*), todas na mesma sequência de tratamentos.

Figura 50 -Aspecto das plantas das espécies *C. ensiformis* (A), *A. mangium* (B) e *C. cajan* (C), cultivadas no rejeito e sob os oito diferentes tratamentos

Figura 51 - Aspecto das plantas das espécies *P. multijuga* (A), *I. edulis* (B) e *S. terebinthifolia* (C), cultivadas no rejeito e sob os oito diferentes tratamentos

Para sistematizar os resultados obtidos nesse trabalho, podemos assim resumir-los:

- a adubação com composto orgânico foi importante para todas as seis espécies cultivadas no rejeito;
- a associação da inoculação com fungos micorrízicos e da aplicação de composto orgânico aumentou expressivamente a produção de matéria seca da parte aérea das espécies *C. cajan*, *A. mangium* e *S. terebinthifolia*;
- as leguminosas nodulíferas foram beneficiadas pela adubação com composto orgânico, tendo as espécies *C. cajan* e *A. mangium* produzido mais matéria seca de nódulos quando associadas à inoculação micorrízica;
- à exceção da espécie *P. multijuga*, a acumulação de nitrogênio e fósforo na parte aérea foi aumentada na presença de composto orgânico nas demais espécies estudadas, tendo sido mais expressiva nas espécies *C. cajan*, *A. mangium* e *S. terebinthifolia* na presença de inoculação micorrízica;
- na ausência de adubação com composto orgânico, algumas espécies micorrizadas mostraram maior eficiência na utilização do termofosfato aplicado;
- o pH do rejeito após cultivo foi menor nas plantas inoculadas com fungos micorrízicos e adubadas com composto orgânico, e
- a inoculação com fungos micorrízicos contribuiu para o aumento da quantidade de micélio externo total para a maioria das espécies estudadas.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com o cultivo de seis diferentes espécies no rejeito de mineração de cassiterita, adubadas ou não com composto orgânico e termofosfato e submetidas à inoculação de microrganismos simbiotes nos permite as seguintes conclusões:

1 – Na revegetação do rejeito de mineração de cassiterita é fundamental a adição de matéria orgânica como fonte de N, P e outros nutrientes essenciais ao estabelecimento de uma microbiota e de uma comunidade de espécies vegetais diversificadas;

2 – Um manejo adequado do rejeito, visando o estímulo aos fungos micorrízicos arbusculares nativos que ainda existirem, ou mesmo a inoculação de mudas a serem utilizadas na revegetação dessas áreas, além da correção de outras deficiências minerais, deve ser adotado;

3 – A escolha das espécies utilizadas na revegetação do rejeito de mineração de cassiterita deve levar em consideração a eficiência micorrízica sob as condições críticas de cultivo;

4 – O emprego de leguminosas arbóreas, nodulíferas e de crescimento rápido na revegetação de áreas degradadas pela mineração de cassiterita mostrou ser mais indicado para um estabelecimento sustentável e com baixo aporte de insumos, e

5 – A utilização de formas de adubo mineral fosfatado de lenta solubilização, como os fosfatos de rocha, deve ser estimulada para garantir uma reserva de fósforo potencialmente disponível e essencial à atividade biológica sustentável, desde que a espécie vegetal possa utiliza-lo eficientemente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABER, J.D. Restored forests and the identification of critical factors in species-site interactions. In: JORDAN III, W.R.; GILPINS, M.E.; ABER, J.D. (Ed.). **Restoration ecology, a synthetic approach to ecological research**. New York: Cambridge University Press, 1992. p.241-250.
- ALEF, K. Soil Respiration. In: ALEF, K.; NANNPIERI, P. (Ed.) **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. p.234-245.
- ALMEIDA, R.T.; FREIRE, V.F.; VASCONCELOS, I. Efeitos da interação *Glomus macrocarpum*, *Rhizobium* sp. e níveis nrescentes de fosfatos de rocha sobre o desenvolvimento de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e de leucena (*Leucaena leucocephala* Lam. De Witt.). **Ciência Agronômica**, v.18, n.1, p.131-136, 1987.
- ATIMANAV, G.; ADHOLEYA, A. Arbuscular-mycorrhizal inoculation of five tropical fodder crops and inoculum production production in marginal soil amended with organic matter. **Biology and Fertility of Soils**, v.35, n.3, p.214-218, 2002.
- AZCÓN-AGUILAR, C.; PALENZUELA, J.; ROLDÁN, A.; BAUTISTA, S.; VALLEJO, R.; BAREA, J. M. Analisis of the mycorrhizal potencial in the rhizosphere of representative plant species from Desertification-Threatened Mediterranean Shrublands. **Applied Soil Ecology**, v.22, n.1, p.29-37, 2003.
- BAGO, B.; PFEFFER, P. E.; ABUBAKER, J.; JUN, J.; ALLEN, J. W.; BROUILLETTE, J.; DOUDS, D. D.; LAMMERS, P. J. SHCHAR-HILL, Y. Carbon export from arbuscular mycorrhizal roots involves the translocation of carbohydrates as well as Lipid. **Plant Physiology**, v.131, n.3, p.1496-1507, 2003.

- BAREA, J.M.; AZCÓN, R.; AZCÓN-AGUILAR, C. Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality. **Antonie van Leeuwenhoek**, v.81, n.1/4, p.343-351, 2002.
- BARTH, R.C. **Avaliação da recuperação de áreas mineradas no Brasil**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, IBRAM, 1989. 41p. (Boletim Técnico, 1).
- BELL, F. G.; GENSKE, D. D. Restoration of derelict mining sites and mineral workings. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v.59, n.3, p.173-185, 2000.
- BLUM, W.E.H. Basic Concepts: Degradation, Resilience and Rehabilitation. In: LAL, R.; BLUM, W.E.H.; VALENTINE, C.; STEWART, B.A. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRC Press, 1998. p.1-30.
- BOERNER, R.E.J.; DeMARS, B.G.; LEICHT, P.N. Spatial patterns of mycorrhizal infectiveness of soil along a successional chronosequence. **Mycorrhiza**, v.6, n.2, p.79-90, 1996.
- BONETTI, R. Efeito de micorrizas vesiculares arbusculares na nodulação, crescimento e absorção de fósforo e nitrogênio em siratro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, n.2, p.189-192, 1984.
- BURITY, H.A.; LYRA, M.C.C.P. de.; SOUZA, E.S. de. MERGULHÃO, A.C.E.S.; SILVA, M.L.R.B. da. Efetividade da inoculação com rizóbio e fungos micorrízicos arbusculares em mudas de sabiá submetidas a diferentes níveis de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.4, p.801-807, Abril 2000.
- BRUNDRETT, M. Mycorrhizas in natural ecosystems. **Advances in Ecological Research**, v.21, p.171-313, 1991.
- CAMPELO, E.F.C.; DIAS, L.E.; RIBEIRO JUNIOR, E.S. Revegetação de áreas de mineração de ouro no cerrado com arbustos e árvores associadas a microrganismos. In: SIMPÓSIO NACIONAL – RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 4., Blumenau, 2000. **Anais**. Blumenau: FURB, 2000. p.117-118.

- CARDOSO FILHO, J. A. Quantificação do micélio extramatricial de *Glomus etunicatum* e da sua atividade, em simbiose com milho. Piracicaba, 1994. 121p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- CARDOSO FILHO, J.A.; PACOVSKY, R.E.; CARDOSO, E.J.B.N. Growth and metabolic activity of the extramatricial mycelium of endomycorrhizal maize plants. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.4, p.807-815, 1999.
- CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; CURI, N.; MOREIRA, F.M.S. Efeitos da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e da aplicação de fósforo no estabelecimento de forrageiras em solo degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.9, p.1669-1677, 1999.
- CELIK, I.; ORTAS, I.; KILIC, S. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. **Soil and Tillage Research**, v.78, n.1, p.59-67, 2004.
- CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B.P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em Latossolo Amarelo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, n.1, p.1-4, 1985.
- COMPANHIA ESTANÍFERA DO BRASIL. **Qualidade em estanho**. <http://www.cesbra.com.br/soldasefluxos.htm/químicos.htm> (10 Jan. 2004).
- COSTA, G.S.; FRANCO, A.A.; DAMASCENO, R.N.; FARIA, S.M. Reabilitação do fluxo de nutrientes pela deposição da serapilheira de leguminosas arbóreas em uma área com subsolo exposto em recuperação em analogia a uma capoeira. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. de. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: SOBRADE, UFV, 2000. p.112-113.
- CRUZ, A.F.; MARTINS, M.A. Transferência de nitrogênio entre plantas interconectadas por fungos micorrízicos arbusculares (FMAS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.4, p.559-565, 1997.
- DAFT, M. J.; EL-GIAHMI, A. A. Effect of *Endogone* mycorrhiza on plant growth. VII. Influence of infection on the growth and nodulation in french bean (*Phaseolus vulgaris*). **New Phytologist**, v.73, n.6, p.1139-1147, 1974.

- DIAS, L.E.; GRIFFITH, J.J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. de. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: SOBRADE, UFV, 1998. p.1-13.
- EWEL, J.J. Restoration is the ultimate test of ecological theory. In: JORDAN III, W.R.; GILPINS, M.E.; ABER, J.D. (Ed.). **Restoration ecology, a synthetic approach to ecological research**. New York: Cambridge University Press, 1992. p.31-33.
- EZAWA, T.; SMITH, S.; SMITH, F. A. P Metabolism and transport in AM fungi. **Plant and Soil**, v.244, n.1, p.221-230, 2002.
- EZETA, F.N.; SANTOS, O.M. Importância da endomicorriza na nutrição mineral do cacauero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.5, n.1, p.22-27, 1981.
- FARIA, M.P.; SIQUEIRA, J.O.; VALE, F.R. do.; CURI, N. Crescimento inicial da acácia em resposta a fósforo, nitrogênio, fungo micorrízico e rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.2, p.209-216, 1996.
- FARIA, S. M. de; CHADA, S. de S. **Interação microrganismos e plantas na recuperação de áreas degradadas**. <http://www.rc.unesp.br/xivbsbp/Mesa03MSMF.pdf> (27 Out. 2003).
- FERREIRA, C.A.G. Recuperação de áreas degradadas. **Informe Agropecuário**, v.21, n.202, p.127-130, jan/fev. 2000.
- FITTER, A.H.; GARBAYE, J. Interactions between mycorrhizal fungi and other soil organisms. In: ROBSON, A.D.; ABBOTT, L.K.; MALAJCZUK, N. (Ed.). **Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry**. Boston: Kluwer Academic, 1994. p.123-132.
- FORTES, J.L.O.; CAMPOS NETO, D.C.; FRANCO, A.A.; SANTOS, R.C.L.; COSTA, L.J.M.P. Produção e conteúdo de serapilheira de leguminosas arbóreas cultivadas em área com resíduo de bauxita. In: SIMPÓSIO NACIONAL – RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 4., Blumenau, 2000. **Anais**. Blumenau: FURB, 2000. p.230.
- FRANCO, A.A.; FARIA, S.M. de. The Contribution of N₂-fixing trees legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, v.29, n.5/6, p.897-903, 1997.

- FRANÇA, J.T. Estudo da sucessão secundária em áreas contíguas à mineração de cassiterita na floresta nacional do Jamari-RO. Piracicaba, 1991. 169p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- FRIES, I.; CALDEIRA, M.T.; PEREZ, C.J.R.; NAVARRO, A.J.P.; CULIANEZ, M.F.A; KUPPINGER, O.; STRANSKY, H.; PAGES, M.; HAGER, A.; SERRANO, R. A major isoform of the maize plasma membrane H⁺-ATPase: characterization and induction by auxin in coleoptiles. **Plant Cell**, v.8, n.9, p.1533-1544, 1996.
- GARCIA, L.C.; ABREU, D.C.A.; SOUSA, S.G.A. de. Aspectos silviculturais relacionados à tecnologia de sementes de espécies arbóreas pioneiras utilizadas na recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL – RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 4., Blumenau, 2000. **Anais**. Blumenau: FURB, 2000. p.56-57.
- GAUR, A.; ADHOLEYA, A. Arbuscular-mycorrhizal inoculation of five tropical fodder crops and inoculum production in marginal soil amended with organic matter. **Biology and Fertility of Soils**, v.35, n.3, p.214-218, 2002.
- GERALDES, A. P. A.; CERRI, C.C.; FEIGL, B.J. Biomassa microbiana de solo sob pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, n.1, p.55-60, 1995.
- GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi infection in roots. **New Phytologist**, v.84, n.3, p.489-500, 1980.
- GRAHAM, J.H; LINDERMAN, R.G.; MENGE, J.A. Development of external hyphae by different isolates of mycorrhizal *Glomus* spp. in relation to root colonization and growth of troyer citrange. **New Phytologist**, v.91, n.2, p.183-189, 1982.
- GROSS, K.L. Mechanisms of colonization and species persistence in plant communities. In: JORDAN III, W.R.; GILPINS, M.E.; ABER, J.D. (Ed.). **Restoration ecology, a synthetic approach to ecological research**. New York: Cambridge University Press, 1992. p.173-188.

- HODGE, A. Plant nitrogen capture from organic matter as affected by spatial dispersion, interspecific competition and mycorrhizal colonization. **New Phytologist**, v.157, n.2, p.303-314, 2003.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília, 1990. 96p.
- JAKOBSEN, I.; ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. **New Phytologist**, v.120, n.3, p.371-380, 1992.
- JASPER, D. A.; ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. Soil disturbance reduces the infectivity of external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v.112, n.1, p.93-99, 1989.
- JASPER, D.A. Management of mycorrhizas in revegetation. In: ROBSON, A.D.; ABBOTT, L.K.; MALAJCZUK, N. (Ed.). **Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry**. Boston: Kluwer Academic, 1994. p.211-219.
- JONER, E.J.; JAKOBSEN, I. Growth and extracellular phosphatase activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenced by soil organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, n.9, p.1153-1159, 1995.
- LIMA, W. L. Fungos micorrízicos arbusculares: bioquímica e morfologia da interação com ácidos húmicos e sua multiplicação em aeroponia. Seropédica, 2004. 92p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- LINDERMAN, R. G.; DAVIS, E. A. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth response to soil amendment with composted grape pomace or its water extract. **Horttechnology**, v.11, n.3, p.446-450, 2001.
- LUTGEN, E. R.; MUIR-CLAIRMONT, D.; GRAHAM, J.; RILLIG, M. C. Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalin in a Western Montana grassland. **Plant and Soil**, v.257, n.1, p.71-83, 2003.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1989. 201p.

- MELLONI, R. Quantificação de micélio extra-radicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas. Piracicaba, 1996. 83p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- MELLONI, R.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Fungos micorrízicos arbusculares em solos de área de mineração de bauxita em reabilitação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.2, p.267-276, 2003.
- MENDES FILHO, P. F.; ALMEIDA, R. T.; VASCONCELOS, I. Efeito da interação *Rhizobium* sp., fungos micorrízicos VA e fosfatos no desenvolvimento de mudas de sabiá, *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. **Ciência Agrônômica**, v.17, n.2, p.49-56, 1986.
- MIAO, Z.; MARRS, R. Ecological restoration and land reclamation in open-cast mines in Shanxi Province, China. **Journal of Environmental Management**, v.59, n.3, p.205-215, 2000.
- MINHONI, M.T.A.; CARDOSO, E.J.B.N.; EIRA, A.F. Efeitos da interação de fosfato de rocha, matéria orgânica e fungo micorrízico no crescimento e na absorção de nutrientes pela soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n.2, p.165-171, 1993.
- MILLER, R. M. Mycorrhizae and succession. In: JORDAN III, W.R.; GILPINS, M.E.; ABER, J.D. (Ed.). **Restoration ecology, a synthetic approach to ecological research**. New York: Cambridge University Press, 1992. p.205-219.
- MOREIRA, F.M.S. Nodulação e crescimento de leguminosas em dois solos da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, n.2, p.197-204, 1995.
- MOREIRA-SOUZA, M.; CARDOSO, E. J. B. N. Dependência micorrízica em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.4, p.905-912, 2002.
- MOSSE, B.; POWELL, C.L.; HAYMAN, D.S. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. IX. Interaction between VA mycorrhiza, rock phosphate and symbiotic nitrogen fixation. **New Phytologist**, v.76, n.2, p.331-342, 1976.

- MULLIGAN, D. Topsoil management and rehabilitation success at the Weipa bauxite mine. In: AMEEF INNOVATION CONFERENCE “ON THE TRESHOLD: RESEARCH INTO PRACTICE”, 1., Melbourne, 1999. **Proceedings**. Nottingham: IALR, 1999. p.67-74.
- NOGUEIRA, M.A.; CARDOSO, E.J.B.N. Produção de micélio externo por fungos micorrízicos arbusculares e crescimento da soja em função de doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.2, p.329-338, 2000.
- OLIVEIRA, D.M.; DIAS, L.E.; FRANCO, A.A.; CAMPELO, E.F.C.; FARIA, S.M. de. Estudo da contribuição da cobertura vegetal sobre a recuperação de solo degradado pela extração de bauxita em Porto Trombetas-PA. In: SIMPÓSIO NACIONAL – RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 4., Blumenau, 2000. **Anais**. Blumenau: FURB, 2000. p.108.
- PASCUAL, J. A.; GARCIA, C.; HÉRNANDEZ, T.; AYUSO, M. Changes in the microbial activity of an arid soil amended with urban organic wastes. **Biology and Fertility of Soils**, v.24, n.4, p.429-434, 1997.
- PAULINO, V.T.; AZCON, R. Respostas de *Centrosema pubescens* Benth. à inoculação de micorriza vesículo-arbuscular e microrganismos solubilizadores de fosfato em meio com fosfatos de rocha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, n.3, p.263-267, 1987.
- PAULINO, V.T.; PICCINI, D.F.; BAREA, J.M. Influência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares e fosfatos em leguminosas forrageiras tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, n.2, p.103-108, 1986.
- PFLEGER, F.L.; STEWART, E.L.; NOYD, R.K. Role of VAM fungi in mine land revegetation. In: PFLEGER, F.L.; LINDERMAN, R.G. (Ed.). **Mycorrhizae and plant growth**. St. Paul: APS Press, 1994. p.47-81.
- PHILLIPS, J.M.; HAYMAN, A.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**. v.55, p.158-161, 1970.

- PLENCHETTE, C.; FORTIN, J.A.; FURLAN, V. Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. **Plant and Soil**, v.70, n.2, p.199-209, 1983.
- POGGIANI, F.; SIMÕES, J. W.; MENDES FILHO, J. M. A.; MORAIS, A. L. Utilização de espécies florestais de rápido crescimento na recuperação de áreas degradadas. Piracicaba: **Série Técnica IPEF**, v.2, n.4, p.1-26, 1981.
- RIBEIRO, B. F. **Minérios e ambiente**. Campinas: Editora UNICAMP, 2000. cap. 18, p.325-339: Mineração: efeitos no meio ambiente e saúde humana.
- RILLIG, M. C.; WRIGHT, S. F.; EVINER, V. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. **Plant and Soil**, v.238, n.2, p.325-333, 2002.
- RILLIG, M. C.; RAMSEY, P. W.; MORRIS, S.; PAUL, E. A. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. **Plant and Soil**, v.253, n.2, p.293-299, 2003.
- RODRIGUES, A. F. S. Estanho. In: Departamento Nacional de Produção Mineral (Ed.). **Balanço mineral brasileiro 2001**. Brasília: DNPM, 2001. p.1-29.
- ROS, M.; HERNADEZ, M. T.; GARCÍA, C. Soil microbial activity after restoration for a semiarid soil by organic amendments. **Soil Biology and Biochemistry**, v.35, n.3, p.463-469, 2003.
- RUIVO, M. L. P.; BARROS, N. F.; SCHAEFFER, C. E. R. Vegetação, biomassa microbiana e características químicas do solo como indicadores de reabilitação de áreas mineradas na Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias**, n.36, p.137-160, 2001.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT: users guide**, release 6.03. SAS Institute Inc., Cary, 1988.
- SAGGIN-JÚNIOR, O.; SIQUEIRA, J. O. Evaluation of the symbiotic effectiveness of endomycorrhizal fungi for coffee tree. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, n.2, p.221-228, 1995.

- SCHUBERT, A.; MARZACHÍ, C.; MAZZITELI, M.; CRAVERO, M. C.; BONFANTE-FASOLO, P. Development of total and viable extraradical mycelium in the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus clarum* NICOL. & SCHENCK. **New Phytologist**, v.107, n.1, p.183-190, 1987.
- SIQUEIRA, J. O.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J. Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some brazilian native woody species. **Mycorrhiza**, v.11, n.5, p.245-255, 2001.
- SMITH, S. E.; GIANINAZZI-PEARSON, V. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.39, p.221-244, 1988.
- SOMASEGARAN, P.; HOBEN, H. J. **Methods in legume-rhizobium technology**. Honolulu: USAID, 1985. 450p.
- VIERHEILIG, H.; COUGHLAN, A. P.; WYSS, U.; PICHÉ, Y. Ink and vinegar, a simple technique for arbuscular mycorrhizal fungi. **Applied and Environmental Microbiology**, v.64, n.12, p.5004-5007, 1998.
- WRIGHT, S.; ANDERSON, R. L. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central great plains. **Biology and Fertility of Soils**, v.31, n.3/4, p.249-253, 2000.
- WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v.198, n.1, p.97-107, 1998.
- XIAO-LIN, L.; ECKHARD, G.; MARSCHNER, H. Phosphorus depletion and pH decrease at the root-soil and hyphae-soil interfaces of VA mycorrhizal white clover fertilized with ammonium. **New Phytologist**, v.119, n.3, p.397-404, 1991.