

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

“Atividade microbiana e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em espécies arbóreas”

MÁRCIA HELENA SCABORA

Orientador: Prof. Dra. Ana Maria Rodrigues Cassiolato

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP - Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de mestre em Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

| | |
|-------|---|
| S277a | <p>Scabora, Márcia Helena</p> <p>Atividade microbiana e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em espécies arbóreas / Márcia Helena Scabora. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2007 56 p.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2007</p> <p>Orientador: Ana Maria Rodrigues Cassiolato Bibliografia: p. 46-55</p> <p>1. Áreas degradadas. 2. Fungos micorrízicos arbusculares. 3. Cerrados. 4. Atividade microbiana.</p> |
|-------|---|

A Ana Maria Rodrigues Cassiolato que nos momentos de mestre foi o mais sincero dos amigos, e nos momentos de amigo o mais leal dos mestres.

DEDICO

As minhas irmãs Milene e Maysa, minha querida amiga Renata pelo apoio, carinho, incentivo e paciência, meu sobrinho Bruno e meus pais Miguel e Flozina.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus!

Agradeço a Vida!

A oportunidade de ser e estar a evoluir.

Agradeço aos Mestres Superiores!

Por serem o que são e por isso clarear minhas idéias.

A Prof^a Dra. Ana Maria Rodrigues Cassiolato, minha orientadora e amiga, que partilhou seus conhecimentos, orientando-me de maneira sábia e honrada, tornando possível à realização deste trabalho.

A Prof^a Dra. Rosilaine Carrenho pelos seus ensinamentos e amizade que foram muito valiosos na identificação de fungos micorrízicos arbusculares, e pela calorosa acolhida em sua casa.

A Universidade Estadual Paulista – Campus de Ilha Solteira, que possibilitou minha formação profissional.

A Capes pela concessão de bolsa.

Aos professores do curso de Pós Graduação que contribuíram para minha formação.

A todos os funcionários da pós-graduação pela ajuda.

A Flora Tiête pela doação de sementes para realização do experimento.

Agradeço a Família!

A meu pai Miguel e minha mãe Flozina, por ter me ensinado a lutar, nunca desistir de um objetivo e pelos seus ensinamentos que fizeram de mim a pessoa que sou hoje.

Ao meu querido Vovô que sempre torceu por mim.

Minhas irmãs Milene e Maysa, pela dedicação, pelo apoio, carinho, amizade nos momentos mais difíceis...AMO MUITO VOCÊS MENINAS.

Ao meu sobrinho Bruno que tanto amo, pelos momentos que me fez esquecer de tudo e ver a alegria nas coisas mais simples.

À minha querida tia Adílce (in memoriam) que por muitas vezes nesses anos foi meu ponto de apoio e incentivo nos momentos que tudo parecia dar errado e me faltava estímulo para continuar...

Guardo no coração esta lição de vida.

Agradeço aos Grandes Amigos!

Pois cuidam, apoiam, acolhem, orientam, aconselham e participam.

Renata minha amiga e companheira de república por tudo que passamos juntas e pelo suporte de informática sem o qual grande parte dessa dissertação não teria sido concluída.

Flavia por todas as vezes que precisei de um ombro para chorar e de alguém para me ouvir... obrigado por tudo AMIGÃ e irmã de coração.

Elaininha, Eduardo Burhian, Lílíam, Fabiana (Faby), Maria, João Alves (Fusca), José Aparecido (Russo), Marcelo (Motoça), Marco Basseto, Danilo (Piqui), Antony (Girino), Éilson (Roadie), Felipe (Negão), Victor e Evandro que participaram de diversos momentos da minha vida.

Aos amigos do laboratório!

Aos amigos de Laboratório da Microbiologia, pois passamos horas divertidas de trabalho, embora estressantes às vezes: Sueli, Tiago, Talles, Aline, Maria Clara, Eloísa. E também ao pessoal da Fitopatologia: Mercia, Wagner, Flaviana, Márcia Fernanda, Ana Paula, Juliana, Rafael e Aline.

Aos amigos Técnicos de laboratório!

À Vera minha grande amiga e mãe nas horas de aflição e alegria, José Antonio sem o qual grande parte deste trabalho não teria sido possível, Valdevino, Circélia, João Mariano, João Paixão, Carlinhos e Juarez. E a todos os funcionários da FEPE.

À minha antiga professora e hoje amiga Dra. Maria Luiza de Freitas Konrad, que me iniciou nos caminhos da pesquisa.

A todos que ajudaram de alguma forma meus sinceros agradecimentos...

*"Cada pessoa em sua existência pode ter duas atitudes: construir ou plantar.
Os construtores podem demorar anos em suas tarefas, mas um dia terminam
aquilo que estavam fazendo.
Então param e ficam limitados por suas próprias paredes.
A vida perde o sentido quando a construção acaba.
Mas existem os que plantam. Estes, às vezes, sofrem com tempestades, com as
estações, e raramente descansam.
Mas ao contrário de um edifício, o jardim jamais para de crescer.
E, ao mesmo tempo que exige atenção do jardineiro, também permite que, para
ele, a vida seja uma grande aventura.
Os jardineiros sempre se reconhecerão entre si, porque sabem que na história de
cada planta.
Está o crescimento de toda a Terra."
(Paulo Coelho)*

SCABORA, M.H. **Atividade microbiana e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em espécies arbóreas.** Ilha Solteira, 2007. 56f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO: A construção de usinas hidrelétricas, mesmo que necessária, causam degradação do solo, expondo o subsolo e originar as "áreas de empréstimo". Intervenções nessas áreas, escolhendo metodologia e selecionando espécies de plantas, podem acelerar sua regeneração, permitindo o processo sucessional. Fungos micorrízicos são eficientes na aquisição de água e nutrientes do solo, melhorando o crescimento das plantas, além de participar da agregação e estruturação do solo e, conseqüentemente, na sua recuperação. Esse trabalho teve o objetivo de avaliar a atividade microbiana (quantificação do carbono de CO₂ liberado), fertilidade e a diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) de espécies arbóreas de cerrado, crescendo em áreas de cerrado degradadas. O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), da UNESP- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria-MS, Brasil. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em fatorial 2 x 11, ou seja, duas áreas (pastagem degradada e subsolo exposto) e 11 espécies arbóreas, com quatro repetições, composta cada uma pela média de cinco plantas por espécie arbórea, por repetição. Nas covas foram depositados adubos orgânicos (1 1/2 composto) e químico (baseado no resultado da análise química), além de 50 mL de solo proveniente de uma área preservada de cerrado, como fonte de inóculo de microrganismos. Após dois anos de implantação do experimento, o solo e subsolo foram coletados, na profundidade 0 - 0,10 m) e usados na avaliação das características químicas e microbiológicas, como: quantificação do carbono do CO₂ (C-CO₂) liberado, número de esporos de FMA, porcentagem de colonização por FMA (COL) e identificação das espécies de FMA autóctones. Conclui-se que: a) Dois anos após a implantação do experimento verifica-se que o subsolo exposto, em relação ao solo da pastagem, submetido às mesmas adubações química e orgânica, e continua apresentando caráter ácido e pobre em nutrientes; b) as áreas avaliadas continuam apresentando-se frágeis, resultando em baixa esporulação e diversidade de FMA, mesmo tendo ocorrido aumento nos valores do primeiro para o segundo ano da implantação do

experimento; c) a esporulação dos FMA mostrou-se diretamente relacionada com o grau de degradação ambiental, indicando um possível facilitação do estabelecimento da simbiose pelas plantas em favorecimento da formação das comunidades de FMA no solo; e d) para a área com subsolo exposto, tingui, jacarandá e jatobá foram as espécies que proporcionaram estabelecimento e expressão de maior número de espécies de FMA, enquanto que na área de pastagem, ipê amarelo, angico, aroeira e jatobá, foram as espécies de plantas que mais estimularam as comunidades de FMA, sendo estas seis as espécies mais indicadas para a recuperação dessas áreas.

Termos de indexação: área de empréstimo, cerrado, carbono de CO₂ liberado, micorrização.

Microbial activity and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in tree species

SUMMARY: The construction of hydrelétric, even so necessaries, causes soil degradation, and may expose the subsoil and originate the "soil borrow areas". Interventions in such degraded areas, choosing methodologies and selecting plant species, can accelerate its regeneration, allowing the succession process. Mycorrhizal fungi are efficient on the transferring of water and nutrients from the soil to the plant, increasing the plant growth, as well as, participating on soil aggregation and structuration process and, consequently, its recuperation. This research had as objective to evaluate the microbial activity (quantification of evolution CO_2 carbon (C- CO_2)), soil fertility and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in tree species, growing in degraded cerrado areas. The research was conducted at the Teaching, Research and Extension Farm, UNESP - São Paulo State University, the College of Engineering of Ilha Solteira, located at Selvíria, Mato Grosso do Sul State, Brazil. The experimental design was a randomized complete block design in a 2 x 11 factorial, i.e., two areas (degraded pasture soil and exposed subsoil) and 11 tree species, with four replications, each one consisting of five plants. On the pit were dumped organic (1 1/2 L de compostagem) and chemical (based on the chemical analysis results) fertilizers and 50 mL of soil from a cerrado preserved areas as microorganisms inoculum. One year after the deployment of the experiment, soil / subsoil and roots were collected (depth of 0,00 - 0,10 m) and used to evaluate chemical and microbiological characteristics, such as, quantification of evolved C- CO_2 (C- CO_2), number of AMF spores (NSPO), percentage of arbuscular mycorrhizal colonization (COL) and identification of the native AMF species. Conclusion: a) after two years, the subsoil remained poor in nutrients, when compared to pasture soil, submitted to the same chemical and organic fertilization, and showing an acidic character; b) there were statistically significant differences in COL and NSPO between areas and tree species. Pasture exhibited higher evolved C- CO_2 values, indicating higher microbial activity. The AMF identification were performed by tree species, and there were no significant differences between indices of richness, diversity and evenness. Pasture soil and exposed subsoil showed low diversity and species richness, not showing differences between them. The genera *Acaulospora* and *Glomus* were of highest incidence in both areas, indicating their adaptability to the studied areas.

Indexing terms: degraded area, evolved C-CO₂, mycorrhization, subsoil, pasture, revegetation

LISTA DE TABELAS

| Tabela | | Página |
|---------------|---|---------------|
| 1 | Análise química dos solos antes da instalação do experimento..... |26 |
| 2 | Espécies arbóreas investigadas no projeto de revegetação..... |28 |
| 3 | Médias e probabilidades de F e coeficientes de variação (CV) para as características químicas para as áreas (solo de pastagem e subsolo exposto), épocas de amostragem e espécies arbóreas de cerrado. Ilha Solteira, 2004/2005..... |32 |
| 4 | Desdobramento das interações significativas para as variáveis pH, MO, P, K, Ca, Mg, H+Al, Al, SB, CTC e V% entre épocas de amostragem (1° e 2° anos) e áreas (pastagem e subsolo exposto). Ilha Solteira, 2004/2005..... |33 |
| 5 | Desdobramento das interações significativas para pH, Ca, Mg, H+Al, SB e V% entre áreas (solo de pastagem e subsolo exposto) e espécies arbóreas de cerrado. Ilha Solteira, 2004/2005..... |35 |
| 6 | Médias, probabilidades de F e coeficientes de variação (CV) para carbono do CO ₂ (C-CO ₂) liberado e número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares para espécies arbóreas de cerrado, áreas (solo de pastagem e subsolo exposto) e épocas de amostragem. Ilha Solteira, 2004/2005..... |36 |
| 7 | Desdobramento das interações significativas para carbono do CO ₂ liberado ($\mu\text{g CO}_2 \text{ g solo seco dia}^{-1}$) entre as épocas de amostragem (1° e 2° anos) e áreas (solo de pastagem e subsolo exposto). Ilha Solteira, 2004/2005..... |37 |

| | | |
|----|--|---------|
| 8 | Desdobramentos das interações significativas para as épocas de amostragem (1° e 2° anos) e as espécies arbóreas para número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (100 g de solo seco), entre as áreas (solo de pastagem e subsolo exposto) e épocas de amostragem. Ilha Solteira, 2004/2005..... |38 |
| 9 | Desdobramento das interações significativas para as áreas (solo de pastagem e subsolo exposto) e espécies arbóreas nativas para número de esporos de números de fungos micorrízicos arbusculares (100 g de solo seco). Ilha Solteira, 2004/2005..... |39 |
| 10 | Diversidade de Shannon, riqueza de espécies e equabilidade de Pielou para comunidades de fungos micorrízicos arbusculares, por área (solo de pastagem e subsolo exposto) e por espécie arbórea. Ilha Solteira, 2004/2005..... |40 |
| 11 | Espécies de FMA em área degradada, número acumulado (NE) de esporos freqüência de ocorrência (F) por área (solo de pastagem e subsolo exposto) em dois anos consecutivos. Ilha Solteira, 2004/2005..... |42 |

LISTA DE TABELAS DO ANEXO

- 1 :Coeficiente de correlação para carbono do CO₂ liberado (C-CO₂), número de esporos (ESP), fósforo (P), matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação de bases (V).....56

SUMÁRIO

| | Página |
|---|--------|
| 1. INTRODUÇÃO | 15 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 17 |
| 2.1. Áreas degradadas e recuperação..... | 17 |
| 2.2. Seleção de espécies arbóreas nativas..... | 19 |
| 2.3. Solo e Microrganismos..... | 20 |
| 2.3.1. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares autóctones..... | 21 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 25 |
| 3.1. Caracterização do local do experimento..... | 25 |
| 3.2. Histórico da área..... | 25 |
| 3.3. Análises iniciais do solo/subsolo..... | 26 |
| 3.3.1. Características químicas..... | 26 |
| 3.3.2. Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) autóctones..... | 27 |
| 3.4. Produção das mudas de espécies nativas de cerrado..... | 27 |
| 3.5. Delineamento Experimental e Instalação e condução dos experimentos..... | 28 |
| 3.6. Análises realizadas..... | 29 |
| 3.6.1. Análise das características químicas do solo de pastagem e do subsolo exposto..... | 29 |
| 3.6.2. Quantificação do C-CO ₂ liberado..... | 29 |
| 3.6.3. Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) autóctones..... | 30 |
| 3.6.4. Identificação das espécies de FMA autóctones..... | 30 |
| 3.7. Análise Estatística..... | 31 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 32 |
| 5. CONCLUSÕES | 45 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 46 |
| 7. ANEXO | 56 |

1. INTRODUÇÃO

Cerca de 85% do Brasil Central era originalmente caracterizado pela paisagem do cerrado, representando cerca de 1,5 a 2 milhões de km². O clima típico da região dos cerrados é quente, semi-úmido e notadamente sazonal, com verão chuvoso, inverno seco e a pluviosidade anual em torno de 800 a 1600 mm. Os solos são geralmente muito antigos, profundos e quimicamente pobres.

Como recurso natural e dinâmico, o solo é passível de ser erodido e degradado. Nesta condição, o desempenho de suas funções básicas fica severamente comprometido, diminuindo drasticamente a qualidade de vida nos ecossistemas, principalmente nos que sofrem interferência antrópica.

O Brasil possui extensas áreas degradadas, fruto das mais diversas atividades antrópica. Essas apresentam diferentes níveis de degradação, indo de uma redução da capacidade regenerativa até a perda dos horizontes férteis. A remoção ou perda dos horizontes A e B causa sérios problemas físicos, químicos, edáficos e biológicos ao substrato remanescente.

Durante a construção da hidrelétrica de Ilha Solteira, surgiram as “áreas de empréstimo”, ou seja, áreas onde as camadas superficiais foram removidas até o horizonte B. Apesar de necessárias, estas construções têm sido desastrosas, causando grande impacto ambiental na região que, mesmo após anos, continua apresentando baixa regeneração natural, expondo o solo ou subsolo aos processos de erosão, principalmente os ocasionados pelas chuvas.

Para a reabilitação dessas áreas é necessário o restabelecimento dos processos ecológicos vitais aos ecossistemas, como fluxo de energia e ciclagem de nutrientes. A revegetação busca recompor as características químicas, físicas e biológicas do solo a um mínimo que permita a atividade microbiana e o

desenvolvimento de espécies arbóreas nativas, tão importantes no processo de recuperação, estabelecimento e sucessão.

Os microrganismos participam da ciclagem de nutrientes e respondem prontamente aos manejos de uma área, podendo ser utilizados como indicadores biológicos para aferição da sustentabilidade dos sistemas. Dentre as inúmeras relações biológicas encontradas no solo destacam-se as simbioses mutualistas entre fungos e raízes (micorrizas), que levam à benefícios na nutrição das plantas, além de maior resistência a secas e patógenos, entre outros.

A diversidade das comunidades de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) pode ser um fator determinante na produtividade e na diversidade de plantas em um ecossistema. O ritmo do crescimento das plantas, a biomassa radical e a competição por fotoassimilados parecem ser fatores limitantes da esporulação de FMA, sendo então importante à avaliação de esporos para identificar as associações preferenciais entre espécies de plantas e fungos (CARRENHO et al., 2001, p.115-124).

Fundamentado na hipótese de que é possível induzir a reabilitação de um solo degradado, de forma que possa voltar a apresentar características químicas e biológicas mínimas que permitam iniciar um desenvolvimento sustentável, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a atividade microbiana (quantificação do carbono de CO₂ liberado), fertilidade do solo e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em espécies arbóreas crescendo em áreas degradadas de cerrado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Áreas degradadas e recuperação

Ecossistema degradado é o que, após certo distúrbio, teve eliminado, junto com a vegetação, os meios bióticos, apresentando assim, baixa resiliência, ou seja, o seu retorno ao estado anterior pode não acontecer, ou ser extremamente lento, necessitando da intervenção humana (CRESTANA et al., 2006, p.49-84). Área degradada é aquela que sofreu alterações de suas características originais, em função de causas naturais ou oriundas de ação antrópica (REICHMANN NETO, 1993, p.102-107).

Depois da Mata Atlântica, o Cerrado é o ecossistema brasileiro que mais sofreu alterações com a ocupação humana (EMBRAPA, 1999, 412 p.). As mudanças na vegetação causam um desequilíbrio no ecossistema, e as qualidades intrínsecas da nova vegetação forçosamente influenciarão nos processos físicos, químicos e biológicos do solo. Estes efeitos têm trazido conseqüências ecológicas e ambientais bastante visíveis, as quais geram ações dos diversos setores da sociedade, visando a preservação do que resta e a busca do desenvolvimento de tecnologia para a revegetação (CARNEIRO et al., 1996, p.21-36).

Existem vários sistemas que envolvem o reflorestamento misto com espécies nativas em áreas alteradas ou destruídas pela ação antrópica, mas muito pouco tem sido feito em áreas muito impactadas, como as que sofreram com obras para construção de hidrelétricas. Esta atividade, apesar de necessária, tem sido desastrosa, causando grande impacto ambiental na região. Em “áreas de empréstimo”, isto é, regiões onde os horizontes A e B do solo foram removidos para serem usados na construção de barragens hidrelétricas, o subsolo (horizonte C) aflora e, portanto, mesmo após anos, normalmente apresentam baixa regeneração

natural, expondo o solo a processos de erosão, principalmente os ocasionados pelas chuvas. Na construção da hidrelétrica de Ilha Solteira, a “área de empréstimo”, onde a camada agricultável foi removida e perdida, abrange milhares de hectares.

São numerosos os problemas nos processos de regeneração natural em áreas impactadas, os quais parecem estar, pelo menos em parte, associados às condições desfavoráveis do solo exposto, por exemplo, toxicidade do alumínio, acidez, altas temperaturas do solo e baixa atividade microbiana (PERRY et al., 1987, p.929-940). Os principais problemas edáficos associados a recuperação de áreas degradadas são: baixa taxa de infiltração de água no solo, reduzida capacidade de armazenamento de água, deficiência de oxigênio, aumento na densidade global, elevada resistência à penetração de raízes, falta de matéria orgânica (MO) e baixa fertilidade, entre outros (CORREA, 1996, p.182-185).

O solo submetido a um processo de recuperação, via implantação de florestas plantadas que se assemelham ao processo natural de sucessão ecológica secundária, com o decorrer do tempo, tende a aumentar os teores de nutrientes e de matéria orgânica do solo (MOS), bem como promover a diminuição da acidez e aumentar a estabilidade dos agregados do solo.

A “área de empréstimo” que surgiu com a construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, exibe subsolo exposto pobre em nutrientes e MO, além das propriedades físicas comprometidas e distantes das condições naturais, para o bioma cerrado (RODRIGUES et al., 2007, p.73-80).

A recuperação de áreas de obras das barragens, em especial de “áreas de empréstimos”, é difícil e consiste em um processo lento para retornar às condições anteriores, visto que toda a vegetação e a camada fértil do solo foram removidas (CESP, 1988, 93p.). A cobertura do solo por espécies vegetais acarretará, como consequência, uma reestruturação do mesmo, pois na revegetação a deposição sobre a superfície do solo de folhas e demais partes das plantas (littera) e o crescimento de raízes estabilizam o solo, aumentam a atividade biológica e criam condições mais propícias para o estabelecimento de espécies mais exigentes (PAUL & CLARK, 1996, 340p.).

Devido ao valor econômico e ambiental, estudos sobre a recuperação de áreas degradadas por mineralização e de matas ciliares progrediram muito nestes últimos anos. No entanto, poucos trabalhos discutem mais profundamente as melhorias das características de um subsolo de "área de empréstimo" em processo de

revegetação, e os números são ainda menores para relatos da interferência de microrganismos nos processos de recuperação de áreas tão degradadas (DAVIDE et al., 1994, p.176-184), especialmente em áreas de cerrado.

A preocupação com o meio ambiente tem colocado em destaque a questão da recuperação de áreas degradadas. No entanto, muitas vezes, medidas adotadas para a recuperação de áreas fortemente impactadas, geralmente são inócuas, pois utilizam técnicas e procedimentos eficientes, testados e aprovados em outros ambientes, mas quando aplicado em situações distintas podem não trazer os resultados esperados (SOUZA, 2004, 393p.).

2.2. Seleção de espécies arbóreas nativas

Nos últimos anos, considerável atenção tem sido dedicada ao reflorestamento com espécies nativas (JANOS 1996, p.129-162; HERRERA et al., 1997, p.1-17) e, em virtude desta demanda, pesquisas têm buscado conhecer as estratégias sucessionais e habilidades competitivas das diferentes espécies florestais.

A seleção cuidadosa de espécies vegetais e as práticas de manejos, baseadas no entendimento da sucessão natural e nos processos de ciclagem para a plantação de florestas, são importantes instrumentos para a reabilitação de solos tropicais degradado, acelerando a recuperação da fertilidade do solo quando comparados a um processo de sucessão secundária natural, ou seja, sem interferência humana (PARROTA, 1992, p.115-133).

A introdução de plantas, especialmente leguminosas, no processo de recuperação destas áreas, contribui para a incorporação de carbono e nitrogênio ao solo, favorecendo a atividade microbiana e melhorando a agregação do solo. O estabelecimento das comunidades rizosféricas e suas relações mutualísticas (bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos) têm papel crucial na dinâmica de nutrientes no solo, pois a capacidade destas espécies crescerem em condições limitantes de fertilidade, com elevada produção de biomassa que é aportada ao solo via serrapilheira, proporciona maior ciclagem e acúmulo de nutrientes no solo (FARIA & CHADA, 2003, 4p.)

Nos trópicos, a baixa fertilidade do solo e a limitada disponibilidade do fósforo proporcionam a formação das associações micorrízicas, que são essenciais para o desenvolvimento de uma grande variedade de espécies de plantas (NEWSHAM et al., 1995, p.407-411). O sucesso da revegetação depende da capacidade das

mudas em absorver nutrientes e água, resistir às doenças e sobreviver aos estresses impostos pelo ambiente, sendo bastante conhecido que certos fungos do solo como os fungos micorrizicos arbusculares podem contribuir para aliviar esses estresses (SIQUEIRA & SAGGIN-JUNIOR, 1995, 449p.).

2.3. Solo e microrganismos

O solo é o maior compartimento terrestre de carbono, contendo quantidades desse elemento, que superam as presentes na biomassa vegetal e na atmosfera do planeta. A maior parte do carbono estocado no solo é constituída por formas orgânicas, cuja quantidade, num dado momento, é o reflexo do balanço entre as adições de resíduos e as perdas por oxidação de materiais orgânicos (ROSCOE et al., 2006, p.17-42).

Os microrganismos ocupam em torno de 0,5% do espaço poroso do solo, porém essa porcentagem aumenta significativamente no solo rizosférico, devido ao aumento na disponibilidade de substrato. Por isso, são importantes a natureza dos materiais que fornecem carbono, os nutrientes a energia estocada e a dinâmica dos fatores físico-químicos afetando o metabolismo celular e a disponibilidade de substrato. A microbiota heterotrófica utiliza resíduos de plantas, animais e outros microrganismos em vários estádios de decomposição (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006, p.83-161).

Materiais húmicos, geralmente, não são fonte de energia prontamente disponível devido à sua alta complexidade, porém são importantes como reservatório de N, P, C e outros elementos (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006, p.83-161). Evidências da contribuição da MOS e dos microrganismos, especialmente dos filamentosos, são baseados no fato que tanto a formação quanto a estabilidade dos agregados, mostram correlações positivas do comprimento de hifas e raízes com o teor de MO (JASTROW & MILLER, 1991, p.279-303). Essa relação resulta dos efeitos do maior suprimento de carbono para a microbiota do solo, e não dos efeitos diretos da MO.

A relação entre os microrganismos, a MO e a estruturação do solo são bastante evidentes, porém a distinção entre causa e efeito não é totalmente clara. Os microrganismos e a MO estabilizam a estrutura do solo, enquanto uma boa estrutura protege fisicamente os microrganismos e a MO, formando um circuito

complexo e intimamente ligado entre agregação, microbiota e MO (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006, p.543-716).

O efeito das hifas fúngicas, principalmente dos fungos associados às raízes (micorrizas) na agregação do solo, também tem recebido maior atenção, pois esta simbiose possui grande importância na agricultura e na restauração ambiental. As micorrizas contribuem para maior produtividade, sustentabilidade agrícola e conservação ambiental por meio de inúmeros efeitos, podendo ainda atenuar os efeitos dispersivos da adsorção de fósforo, que afeta negativamente a agregação do solo (SIQUEIRA, 1994, p.151-194) .

Como a biomassa microbiana apresenta rápida ciclagem e responde ao cultivo e ao manejo de resíduos orgânicos, esta pode ser utilizada como um indicador biológico dos níveis de MOS, ou como índice para aferição da sustentabilidade de sistemas de produção (MELE & CARTER, 1993, 329p.). A atividade respiratória pode ser alterada por diferentes manejos e tratamentos do solo, como também pelas flutuações sazonais de temperatura, umidade, aeração e disponibilidade de substrato, entre outros (BEHERA et al., 1990, p.125-134)

A determinação da respiração basal pela quantificação do carbono de CO₂ (C-CO₂) liberado é um procedimento importante para avaliar a atividade dos microrganismos do solo, pois a decomposição dos resíduos orgânicos é envolvida por reações microbianas de oxidação, onde os microrganismos obtêm o carbono e energia para o seu crescimento e funções celulares, pela transformação de compostos orgânicos complexos em substratos mais simples (CAMPBELL et al., 1992, p.417-427). Nestas reações, parte do carbono presente no resíduo é assimilado pela microbiota como fonte de energia para construção do protoplasma celular e a outra parte é perdida na forma de CO₂. O monitoramento das comunidades microbianas, por meio destes parâmetros, tem sido utilizado como indicador da qualidade do solo em função dos diferentes sistemas de manejo e rotações de culturas, podendo ajudar na detecção de alterações nas populações microbianas resultantes de mudanças ambientais (MELE & CARTER, 1993, 329p.).

2.3.1. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares autóctones

Ao longo do processo evolutivo os microrganismos adquiriram características e adaptabilidades para coexistência com diferentes seres vivos, estabelecendo relações diversas em forma e função. Dentre as inúmeras relações biológicas,

destacam-se as micorrizas, que são associações simbióticas mutualistas entre fungos e raízes (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006, p.543-716).

A importância dos FMA para a sustentabilidade de sistemas agrícolas e naturais pode ser compreendida por sua ampla ocorrência em ecossistemas naturais terrestres, pela capacidade de formar associação com membros da maioria das famílias de plantas, e pelos benefícios que conferem as plantas em simbiose. Tais fatos tornam esta simbiose uma das mais importantes entre microrganismos e plantas (SMITH & READ, 1997, p.33-80).

Os FMA têm sido estudados visando sua aplicação para incrementar o desenvolvimento e a produção das culturas mediante seus efeitos na nutrição das plantas e outros benefícios diretos e indiretos (TRINDADE et al., 2000, p.505-513). Em sentido restrito, sua eficiência simbiótica resulta de interações complexas entre a capacidade da planta em satisfazer seus requerimentos de P e do fungo em prover esse nutriente à planta hospedeira (KOIDE, 1991, p.365-386). Em sentido mais amplo, fungo eficiente é aquele que, em dadas condições de fertilidade do solo, consegue sobreviver, colonizar as raízes, competir com outros microrganismos, incluindo outros FMA, produzir grande volume de micélio e estabelecendo relação mutualista eficiente com a planta (SIQUEIRA et al., 1991, p.63-121).

Em comunidades naturais, plantas hospedeiras são colonizadas logo após a germinação e, freqüentemente, são infectadas por mais de uma espécie de FMA. Existem evidências da presença de conexões produzidas por hifas fisiologicamente funcionais, em combinações inter e intraespecíficas entre plantas. Por meio destas conexões ocorrem trocas de fotoassimilados entre plantas hospedeiras (geralmente pioneiras) e as não hospedeiras (geralmente não pioneiras), diminuindo as diferenças na competição e permitindo sua sobrevivência; aumentando a coexistência de diferentes espécies e contribuindo para o aumento na diversidade florística (SANDERS, 1996, p.123-134), fato fundamental para a recuperação e sustentabilidade de uma área degradada.

Estudos de biodiversidade, diversidade genética e de ecologia desses fungos, pertencentes a Ordem Glomales, são fundamentais para o avanço das pesquisas em micorrizas. No entanto, os FMA são biotróficos obrigatórios e não se multiplicam em meios sintéticos (cultivo axênico), mas podem ser multiplicados associados a raízes metabolicamente ativas de plantas compatíveis, formando esporos assexuados. Os fungos formadores das micorrizas arbusculares, recentemente

foram alocados para o Filo Glomeromycota, criado especificamente para eles (SCHÜBLER et al., 2001a, p.5-15, 2001b, p.1413-1421), tem sua identificação baseada nas características morfológicas e no desenvolvimento ontogênico de seus esporos multinucleadas (AZCÓN-AGUILAR et al., 2003), estratégia que, mesmo sendo válida, tem um uso limitado nos estudos de diversidade, visto que pode não refletir a plasticidade fisiológica e genética de suas populações (BACHMANN, 1998, p.213-230).

A diversidade das comunidades de FMA pode ser um fator determinante na produtividade e na diversidade de plantas num ecossistema. Apesar do conceito de diversidade ser a princípio de fácil percepção, a sua medição tem se mostrado complexa, pois envolve dois componentes, ou seja, a variedade e a abundância relativa das espécies (MAGURRAN, 1988, 177p.).

Informações sobre a contribuição de FMA em ecossistemas desequilibrados são ainda escassas (JOHNSON & WEDIN 1997, p.171-182), apesar da necessidade urgente de se conhecer a função desempenhada por estes na dinâmica dos ecossistemas. Pouco é conhecido, também, sobre a relação existente entre FMA e a sucessão de espécies de plantas nativas em ecossistemas naturais (CARRENHO et al., 1997, p.107-113), sendo os dados geralmente conflitantes.

O objetivo central da taxonomia micológica é criar classificações que expressem as relações evolutivas dos fungos, ou seja, sua filogenia. Inferências filogenéticas envolvem o descobrimento de relações evolutivas entre os organismos, enquanto a classificação envolve a representação de grupos de organismos por um sistema hierárquico, que nem sempre está fundamentado em relações filogenéticas. Embora a classificação e as inferências filogenéticas sejam conceitualmente ligadas à sistemática moderna, na prática elas são essencialmente operações distintas (HIBBETT & DONOGHUE, 1998, p. 347-356).

A taxonomia dos FMA é uma ciência relativamente recente (cerca de 35 anos) e vem sofrendo grandes avanços nos últimos anos. Ela é baseada na morfologia do fungo durante a simbiose, no modo de formação e morfologia dos esporos e em aspectos da germinação destes. Recentemente, dados sobre análise filogenética baseada na subunidade menor do rDNA, padrões de ácidos graxos e propriedades do micélio intraradicular foram incorporados à classificação (MORTON & REDECKER, 2001, p.181-195).

Para fungos micorrízicos, o estudo de sua diversidade em condições de campo é decorrência de estudos qualitativos e quantitativos de esporos e associação micorrízica. Embora a abundância de esporos no solo não seja indicativo da associação micorrízica, a ausência dos esporos também não indica necessariamente a ausência do fungo, pois existe um espaço de tempo entre a associação micorrízica e a esporulação. Por esse fato, muitos fungos não podem ser identificados com precisão a partir do esporo coletado no campo, mas fornecem um indicativo da população presente no solo (BENEDETTI et al., 2002, 4p.).

Estudos das comunidades de FMA e de suas respectivas populações é uma etapa fundamental para diferentes abordagens de pesquisa sobre micorrizas arbusculares. Em ambientes naturais tais estudos podem contribuir para o entendimento da simbiose e do seu papel nos diferentes ecossistemas. As populações autóctones constituem uma fonte primária de material para seleção de isolados, visando maior eficiência na obtenção de inóculo (SIEVERDING, 1991, 371p.; BRUNDETT et al., 1996, 374p.).

O ritmo do crescimento das plantas, a biomassa radical e a competição por fotoassimilados parecem ser fatores limitantes da esporulação de FMA, sendo então importante a avaliação de esporos para identificar as associações preferenciais entre espécies de plantas e fungos (CARRENHO et al., 2001, p.115-124).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do local do experimento

O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da UNESP – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria-MS. Apresenta como coordenadas geográficas 51° 24' 06" de longitude Oeste e 20° 22' 29" de latitude Sul e altitude de 330 metros. A média anual de precipitação é 1.232,2 mm e a temperatura média é de 24,7 °C, sendo janeiro e fevereiro os meses mais quentes (26,3 °C) e junho e julho os mais frios (21,5 °C). A umidade relativa média do ar é de 67,9 % (HERNANDEZ et al., 1995, 45p.). De acordo com Koppen, o tipo climático é Aw, caracterizado como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

3.2. Histórico da área

Originalmente o solo foi classificado por Dematte (1980, 114p.) e atualizado por EMBRAPA (1999, 412p.) como LATOSSOLO VERMELHO e a área apresentava como cobertura vegetal o Cerrado *sensu stricto*. No final da década de 60, com a construção da usina hidrelétrica, o local foi desmatado e uma parte desta área foi usada como “área de empréstimo”, de onde o solo foi retirado a uma profundidade de 8 a 12 metros de corte. Estas áreas são definidas como “resíduo geológico em áreas remanescentes planas”, expressão que vem sendo utilizada para descrever “áreas de empréstimo” deixadas após a construção de barragens, aterros e onde se tem a exposição dos horizontes inferiores (DIAS, 1998, p.27-43). Atualmente, neste local, as pequenas áreas estão em processo de regeneração natural, mas em sua

maior extensão predomina o subsolo exposto (sem vegetação). A área de pastagem utilizada como controle encontra-se a 20 anos sem receber adubação química ou calagem.

3.3. Análises iniciais do solo de pastagem e de subsolo exposto

Analisou-se as características químicas e o número de esporos de FMA das amostras de solo de pastagem e de subsolo exposto, antes da instalação do experimento. As amostras foram coletadas nas áreas estudadas: a) área com pastagem degradada e b) área com subsolo exposto, na camada de 0 – 0,10 m de profundidade. Uma terceira área que é de cerrado preservado também foi analisada, sendo utilizada como fonte de inóculo de microrganismos. Foi coletada, por área, uma amostra composta de 10 amostras simples, as quais foram secas à sombra, peneiradas (malha de 2 mm) e homogeneizadas.

3.3.1. Características químicas

Parte dessas amostras foram empregadas na análise das características químicas, no laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da UNESP/Campus de Ilha Solteira. As características determinadas foram: pH em CaCl_2 . O P, K, Ca^{+2} e Mg^{+2} e extraído com resina trocadora de íons, na relação solo: água: resina de 1:10:1; Al^{+3} extraído com KCl 1N. O P foi determinado por colorimetria; o K por fotometria de chama e Ca^{+2} e Mg^{+2} por espectrometria de absorção atômica; (H + Al^{+3}) empregando o pH SMP; Al^{+3} por titulação com NaOH 0,025 N e C-orgânico por colorimetria, de acordo com metodologia descrita por Raij & Quaggio (1983, 31p.). Os resultados estão apresentados a Tabela 1.

Tabela 1. Análise química dos solos antes da instalação do experimento.

| Áreas | pH | MO | P | K | Ca | Mg | H+Al | Al | CTC | V |
|-----------------|-----------------|--------------------|---------------------|-------|----|----|--------------------------------|-------|------|----|
| | CaCl_2 | g dm^{-3} | mg dm^{-3} | ----- | | | $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ | ----- | | % |
| Cerrado | 4,0 | 28 | 4 | 0,7 | 1 | 3 | 47 | 10 | 51,3 | 8 |
| Pastagem | 4,9 | 25 | 6 | 1,9 | 13 | 13 | 25 | 1 | 52,5 | 52 |
| Subsolo | 4,2 | 7 | 1 | 0,3 | 1 | 1 | 31 | 9 | 32,9 | 6 |

3.3.2. Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) autóctone

A outra parte do solo de pastagem e do subsolo amostrado inicialmente nessas áreas foi empregada para determinação do número de esporos. Para tanto, 100 g de cada amostra de foi homogeneizada e processada segundo associação dos métodos de decantação e peneiramento úmido (GERDEMANN & NICOLSON, 1963, p.234-244) e de centrifugação e flutuação em sacarose (JENKINS, 1964, 692p.). Cada amostra foi misturada em um litro de água em um béquer e agitada vigorosamente. Após decantação por alguns segundos para sedimentação das partículas maiores e/ou mais densas que os esporos, o sobrenadante foi vertido sobre duas peneiras, com aberturas de 710 e 50 μM , na seqüência da maior para menor abertura da malha, sendo este procedimento repetido 4 vezes. Com o auxílio de uma pisseta com água destilada, o material depositado na menor malha foi transferido para tubos de ensaio e centrifugado por 3 minutos a 302,1 g (gravidade). O sobrenadante foi descartado e o precipitado foi ressuspenso em sacarose 50% para novamente ser centrifugado por 1,5 minuto. Os esporos presentes no sobrenadante foram transferidos para peneira com malha de 50 μM e lavados com água corrente para retirar o excesso de sacarose e recolhidos em béquer. A quantificação dos esporos foi realizada em placas com anéis concêntricos, sob microscópio estereoscópio (40x).

3.4. Produção das mudas de espécies nativas de cerrado

As sementes das espécies vegetais testadas foram obtidas de plantas crescendo nas pequenas “ilhas em regeneração” próximo da “área de empréstimo” ou, compradas de empresas especializadas em sementes nativas (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais/USP e Flora Tietê Associação de Recuperação Florestal. Essas sementes foram germinadas em laboratório empregando caixas plásticas contendo papel de filtro. As plantas foram transferidas para sacos plásticos com capacidade para 1 kg de substrato, ou seja, uma mistura de subsolo exposto + areia numa proporção de 3:1, além de uma adubação química e calagem para que as mudas para sobrevivessem até a época do plantio em campo. Estas foram

regadas diariamente e mantidas em viveiro até o momento do transplante. As espécies arbóreas utilizadas no experimento tanto para o subsolo exposto quanto para a pastagem degradada estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Espécies arbóreas investigadas no projeto de revegetação.

| Família | Nome vulgar | Nome científico |
|-------------------------------|------------------------------------|--|
| Fabaceae (Mimosoideae) | Angico Monjoleiro Barbatimão | <i>Anadenanthera falcata</i> (Benth.) Speg <i>Acacia polyphylla</i> D.C. <i>Styryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville |
| Fabaceae (Caesalpinoideae) | Faveiro Jatobá | <i>Dimorphandra mollis</i> Benth <i>Hymenaea stigonaripa</i> Mart. ex Hayne |
| Fabaceae (Papilionoideae) | Baru Jacarandá do campo | <i>Dipteryx alata</i> Vog. <i>Machaerium acutifolium</i> Vogel |
| Anacardiaceae | Aroeira pimenteira | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi |
| Sapindaceae | Tingui | <i>Magonia pubescens</i> St. Hil. |
| Lythraceae | Dedaleira | <i>Lafoensia pacari</i> St. Hil. |
| Bignoniaceae | Ipê amarelo | <i>Tabebuia aurea</i> (Manso) Benth. & Hook |

3.5. Delineamento experimental, instalação e condução dos experimentos

O delineamento experimental utilizado foi o fatorial 2x11, com blocos ao acaso, ou seja, duas áreas (pastagem degradada e subsolo exposto) e 11 espécies arbóreas, com 4 repetições, sendo cada repetição constituída por cinco plantas, por espécie. Para a instalação do experimento, a área foi escarificada a 0,40 m de profundidade e gradeada. As covas (0,30 de diâmetro x 0,90 m de profundidade) foram abertas com emprego de brocas, no espaçamento 1 x 2 m. Decidiu-se por este espaçamento acreditando que, possivelmente, proporcionaria uma melhor e mais rápida cobertura do terreno e modificação das características do solo, em função da evolução do sistema radicular e do acúmulo de liteira, além do controle de erosão.

Nas covas foram devolvidos parte do solo ou do subsolo (equivalente a 0,45 m de profundidade) e o material restante foi misturado aos adubos orgânico (composto – 1,5 L cova⁻¹, preparado com sobras do corte da grama, galhos oriundos de poda de árvores e esterco de curral cimentado) e químico (12 g – sulfato de amônio, 7 g - superfosfato simples e 0,7 g - KCl) e 2 g de calcário, visando um melhor crescimento inicial das mudas. Para possibilitar a retenção de água, foi feito o coroamento, com raio de 0,60 m, antes do transplante das mudas.

Uma amostra do adubo orgânico foi enviado para análise das características químicas, como descrito para solo de pastagem e subsolo exposto, e os resultados foram: pH (CaCl₂)= 7,3; P (mg dm⁻³)= 1028; MO, P, K, Ca, Mg, H+Al, Al, SB, CTC, em mmol_c dm⁻³= 172; 83,2; 351; 86; 10; 0; 520,8 e 530,7, respectivamente e V (%)= 98.

Por se tratar de área degradada foram depositados, a 0,10 m de profundidade e ao lado de cada planta, 50 g de solo-inóculo contendo uma média de 300 esporos de FMA da comunidade autóctones, provenientes de uma área de cerrado preservado, com o objetivo de introduzir ou aumentar a população de espécies de microrganismos, importante em qualquer processo de recuperação, especialmente bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico e FMA.

Até sessenta dias após o plantio foram replantadas as mudas mortas ou irremediavelmente comprometidas. As mudas foram regadas duas vezes por semana com um tanque pipa, até o início das chuvas no mês de outubro.

3.6. Avaliações realizadas

Amostras de solo da pastagem degradada e do subsolo exposto foram coletados aos doze e aos vinte e quatro meses após a instalação do experimento, sendo compostas de 5 amostras simples por repetição, por espécie vegetal e pesaram aproximadamente 1000 g. Essas amostras foram preparadas para análise como descrito anteriormente.

3.6.1. Análise das características químicas do solo de pastagem e do subsolo exposto

A análise das características químicas foram realizadas no laboratório de Fertilidade do Solo da UNESP/Campus de Ilha Solteira, como anteriormente descrito.

3.6.2. Quantificação do C-CO₂ liberado

A outra parte do solo coletado foi empregado para a quantificação do C-CO₂ liberado. Alíquotas de 100 g de solo, inicialmente peneirado, foram colocadas em jarros de vidro com tampa de rosca, no centro do qual foi depositado um frasco

contendo 10 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹. Os jarros foram fechados hermeticamente e mantidos em câmara climatizada a 27 °C. O tempo de incubação foi determinado por meio de uma curva resultante de um monitoramento diário, após 48 horas dos jarros fechados. A titulação da soda livre, à qual foi acrescido 1 mL de solução saturada de BaCl₂, foi realizada empregando HCl 0,1 mol L⁻¹. O controle foi feito com jarros de vidro, sem solo, contendo frascos com NaOH. A titulação da soda livre permite calcular, por subtração, a quantidade de CO₂ que combinou com o NaOH (ANDERSON & DOMSCH, 1982, p.471-479).

3.6.3. Número de esporos de FMA autóctones

O restante do solo foi empregado para avaliação do número de esporos de FMA autóctones, com o objetivo de verificar a multiplicação de esporos por espécie vegetal, como descrito anteriormente no item 3.3.2.

3.6.4. Identificação das espécies de FMA autóctones

Os esporos coletados foram separados sob microscópio estereoscópio em grupos a partir de semelhanças morfológicas e preparados em lâminas semipermanentes com resina de álcool polivinílico e glicerol (PVLG) segundo metodologia descrita por Morton et al. (1993, p.491-528). Foram feitas duas preparações por lamina, onde em um lado foram colocados os esporos em PVLG e do outro lado esporos em PVLG mais solução de Melzer (1:1). Após montadas as lâminas foram levadas à estufa em temperatura próxima de 60°C até secarem. Posteriormente, os esporos foram quebrados sob microscópio estereoscópio para serem identificados com base na morfologia. A identificação das espécies de FMA foi feita segundo manual de Schenck e Perez (1988, 241p.) e na página da International Culture of Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM - <http://invam.caf.wvu.edu>).

A frequência relativa de ocorrência de cada espécie foi determinada pela expressão $FR = (NA \times TA^{-1}) \times 100$, onde NA representa o número de amostras em que cada espécie de FMA ocorreu e TA, o número total de amostras analisadas.

A riqueza de espécies foi avaliada pelo número de espécies presentes em 100g de solo seco. A diversidade foi estimada a partir dos índices de Simpson

(SIMPSON, 1949, 188p.) e equabilidade foi avaliada pelo índice J' (PIELOU 1975, 165p.), expressos a seguir:

Equabilidade: $J' = H'/H'max$

onde H' é o índice de Shannon, H' max corresponde a $\log S$ e S é o número total de espécies numa comunidade amostrada.

Diversidade: $H' = \sum_{i=1}^s p_i \log_{10} p_i$,

onde r_i corresponde ao número de esporos de determinada espécie e r é o número total de esporos.

3.7. Análise Estatística

Os dados foram analisados estatisticamente por comparação de médias entre os tratamentos e análises conjuntas que englobaram as individuais, com desdobramento nas interações significativas. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa SAS (SAS,1999, 334p.). O teste de Tukey foi empregado após a análise de variância e a análise de correlação foi feita para todos os parâmetros.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto às características químicas do subsolo exposto (Tabela 3), observou-se diferenças estatísticas significativas entre épocas de amostragem (exceto para K) e entre áreas (exceto para V%) para todas as variáveis analisadas, enquanto que entre espécies, apenas pH e Ca exibiram diferenças significativas.

Tabela 3. Médias e probabilidades de F e coeficientes de variação (CV) para as características químicas para as áreas (solo de pastagem e subsolo exposto), épocas de amostragem e espécies arbóreas de cerrado. Ilha Solteira, 2004/2005.

| | pH | MO | P | K | Ca | Mg | H+Al | Al | SB | CTC | V |
|------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Espécies (esp.) | CaCl ₂ | g dm ⁻³ | mg dm ⁻³ | mmol _c dm ⁻³ | | | | | | | % |
| Ipê amarelo | 5,26 b | 16,00 | 16,31 | 1,12 | 18,06 ab | 10,68 | 21,87 | 0,62 | 29,91 | 51,78 | 56,43 |
| Angico | 5,41 ab | 17,06 | 17,93 | 1,14 | 15,93 b | 9,87 | 22,00 | 0,68 | 27,47 | 49,47 | 55,37 |
| Faveiro | 5,60 a | 16,62 | 20,93 | 1,09 | 23,50 a | 12,00 | 20,81 | 0,43 | 36,60 | 57,41 | 62,06 |
| Monjoleiro | 5,58 a | 14,93 | 25,25 | 1,10 | 20,93 ab | 11,37 | 21,25 | 0,50 | 33,62 | 53,73 | 62,06 |
| Aroeira | 5,47 ab | 16,43 | 20,56 | 1,43 | 19,43 ab | 10,75 | 21,43 | 0,37 | 31,51 | 52,95 | 56,75 |
| Tingui | 5,48 ab | 16,75 | 18,56 | 1,14 | 19,68 ab | 12,62 | 21,56 | 0,37 | 31,77 | 53,39 | 55,93 |
| Jacarandá | 5,55 a | 16,06 | 21,12 | 1,20 | 16,93 ab | 9,75 | 21,81 | 0,50 | 29,71 | 49,68 | 56,68 |
| Jatobá | 5,46 ab | 15,87 | 22,37 | 1,20 | 17,62 ab | 9,93 | 21,62 | 0,50 | 28,70 | 50,28 | 55,81 |
| Barbatimão | 5,44 ab | 15,81 | 18,87 | 1,21 | 18,00 ab | 10,43 | 22,00 | 0,37 | 29,58 | 51,88 | 56,25 |
| Baru | 5,52 a | 16,25 | 19,43 | 1,16 | 18,62 ab | 11,12 | 22,43 | 0,62 | 31,06 | 53,50 | 57,43 |
| Dedaleira | 5,40 ab | 17,18 | 17,12 | 1,20 | 16,75 ab | 10,93 | 23,12 | 0,56 | 28,86 | 51,99 | 55,43 |
| Épocas | | | | | | | | | | | |
| 1° ano | 5,76 a | 14,67 b | 27,63 a | 1,21 a | 22,93 a | 12,62 a | 17,70 b | 0,00 b | 36,94 a | 54,11 a | 65,60 a |
| 2° ano | 5,18 b | 17,87 a | 12,09 b | 1,15 a | 14,43 b | 9,10 b | 25,92 a | 1,01 a | 24,66 b | 50,58 b | 48,62 b |
| Áreas | | | | | | | | | | | |
| Pastagem | 5,16 b | 30,10 a | 23,86 a | 1,40 a | 23,78 a | 15,56 a | 28,59 a | 0,96 a | 40,42 a | 69,01 a | 57,81 |
| Subsolo | 5,78 a | 2,44 b | 15,86 b | 0,97 b | 13,57 b | 6,15 b | 15,03 b | 0,04 b | 21,18 b | 35,67 b | 56,40 |
| Esp. | 3,13 | 0,86 ^{ns} | 1,49 ^{ns} | 1,84 ^{ns} | 2,24* | 1,56 ^{ns} | 1,74 ^{ns} | 0,82 ^{ns} | 1,56 ^{ns} | 1,39 ^{ns} | 1,30 ^{ns} |
| Épocas | 340,40** | 58,92** | 152,11** | 1,70 ^{ns} | 109,58** | 66,14** | 862,29** | 191,29** | 98,18** | 9,30* | 236,43** |
| Áreas | 392,49** | 4389,19** | 40,28** | 109,64** | 182,59** | 471,86** | 2347,78** | 158,45** | 240,92** | 830,86** | 1,63 ^{ns} |
| Épocas x áreas | 10,63 | 38,51** | 11,99 ^{ns} | 22,56** | 23,33** | 26,98** | 275,95** | 158,45** | 27,88** | 4,44* | 20,69** |
| Esp. x épocas | 1,87 ^{ns} | 0,58 ^{ns} | 1,19 ^{ns} | 0,60 ^{ns} | 0,88 ^{ns} | 1,22 ^{ns} | 1,11 ^{ns} | 0,82 ^{ns} | 0,66 ^{ns} | 0,78 ^{ns} | 0,30 ^{ns} |
| Esp. x áreas | 2,57* | 0,87 ^{ns} | 1,15 ^{ns} | 0,78 ^{ns} | 2,89* | 3,31* | 2,04* | 1,34 ^{ns} | 2,86* | 2,52* | 2,27* |
| CV (%) | 3,84 | 17,01 | 42,09 | 22,88 | 5,28 | 26,44 | 8,50 | 95,92 | 26,68 | 14,65 | 12,82 |

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** e * : significativos a 1 e 5%, respectivamente; ^{ns}: não significativo. Os dados de Ca foram transformados em log x+10.

Após dois anos de implantação do experimento verificou-se que o subsolo exposto, em relação ao solo da pastagem, submetidos à mesma adubação química e orgânica, continuou apresentando caráter ácido e pobre em nutrientes. Os valores de pH do solo de pastagem e subsolo aumentaram com a correção da acidez do

solo e da aplicação de adubação química e orgânica, o que conferiu acidez média às áreas, quando comparados com a análise química inicial (Tabela 3). No subsolo exposto, entretanto, esses aumentos foram mais significativos, resultando em sensíveis reduções nas concentrações de H+Al e Al. Outras variáveis também sofreram alterações em função dos tratamentos em cova, pois foram constatados aumentos nos valores de P, K, Ca, Mg, CTC e V% e diminuição nos de MO para o subsolo exposto e aumentos na MO, P, Ca, Mg, H+Al, CTC e V% e reduções para K para o solo de pastagem.

O solo de pastagem, comparado ao subsolo exposto, exibiu os maiores valores para todas as variáveis químicas, exceto pH (Tabela 3). Resultados como os de Silva et al. (2006, p.503-512) corroboram os do presente trabalho, pois relatam aumentos no valor do pH e redução nas concentrações de Al nas camadas superficiais do solo, os quais foram atribuídos à aplicação de corretivos da acidez.

Na interação das características químicas entre épocas e áreas verificou-se aumentos significativos para todas variáveis químicas no primeiro ano quando comparado a análise inicial (Tabela 4). Em relação à MO, verificou-se um aumento em valores para o segundo ano somente na área com subsolo exposto. Da mesma forma, os valores de pH, SB, P e V% foram mais elevados no primeiro ano, decrescendo ao final do segundo ano, tanto no subsolo exposto quanto no solo de pastagem, possivelmente devido à calagem e a adubações química e orgânica realizadas ao início do experimento (Tabela 4).

Tabela 4. Desdobramento das interações significativas para as variáveis pH, MO, P, K, Ca, Mg, H+Al, Al, SB, CTC e V% entre épocas de amostragem (1° e 2° anos) e áreas (pastagem e subsolo exposto). Ilha Solteira, 2004/2005.

| Áreas | Épocas (anos) | | | | | | | |
|-----------------|--|----------|--------------------------|----------|--------------------------|----------|---|---------|
| | 1° | | 2° | | 1° | | 2° | |
| | pH CaCl ₂ | | MO g dm ⁻³ | | P mg dm ⁻³ | | K - mmol _c dm ⁻³ - | |
| Pastagem | 5,50 bA | 4,81bB | 27,20 aA | 33,00 aA | 33,81aA | 13,90aB | 1,32 aA | 1,47 aA |
| Subsolo | 6,02 aA | 5,54 aB | 2,13 bB | 2,75 bA | 21,45 bA | 10,27 bB | 1,09 bA | 0,84 bB |
| | Ca | | Mg | | H+Al | | Al | |
| | ----- mmol _c dm ⁻³ ----- | | | | | | | |
| Pastagem | 30,70 aA | 16,86 aB | 18,45 aA | 12,68 aB | 22,15 aB | 35,02 aA | 0,00 aB | 1,93 aA |
| Subsolo | 15,15 bA | 12,00 bA | 6,79 bA | 5,52 bA | 13,25 bB | 16,81 bA | 0,00 aA | 0,09 bA |
| | SB | | CTC | | V | | | |
| | ----- mmol _c dm ⁻³ ----- | | | | % | | | |
| Pastagem | 49,83 aA | 31,01 aB | 71,99 aA | 66,03 aB | 68,81 aA | 46,81aB | | |
| Subsolo | 24,05 bA | 18,31 bB | 36,22 bA | 35,13 bA | 62,38 bA | 50,43 aB | | |

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O processo de degradação do solo encontra-se relacionado com a dinâmica da MO do solo e à medida que ocorre aumento desses teores, ocorre também um aumento da SB, CTC e V% (RODRIGUES et al., 2007, p.73-80), reforçando a estreita ligação entre essas variáveis. Observações semelhantes foram feitas por Garay et al. (2003, p.73-80), para solos cultivados com *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. No presente trabalho, os valores dessas variáveis mostraram resultados discordantes desses autores, pois os valores de MO foram maiores no segundo ano, o oposto do do que aconteceu com CTC, SB e V%.

Em áreas de subsolo revegetado sob influência da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, no Município de Selvíria - MS, Rodrigues et al. (2007, p.73-80) constataram incrementos nas propriedades físicas e químicas por meio de coberturas vegetais na revegetação da área degradada. A inclusão de componentes arbóreos, segundo Young (1994, 276p.), pode manter ou aumentar a produtividade de determinado local, devido a processos que aumentam a entrada ou reduzem perdas no solo, como de MO, nutrientes e água, além de melhorar as propriedades físicas e químicas e beneficiar processos microbiológicos do solo.

No presente trabalho foram detectadas interações estatísticas significativas entre espécies e áreas para pH, Ca, Mg, H+Al, SB e V% (Tabela 5). Dentre as onze espécies arbóreas estudadas, aroeira, tingui, jatobá, barbatimão e baru proporcionaram valores mais elevados de Ca na pastagem, enquanto todas as espécies exibiram valores mais elevados de Mg no solo de pastagem, comparado ao subsolo exposto. Para SB, os maiores valores foram detectados para ipê amarelo, angico, aroeira, tingui, jatobá, barbatimão, baru e dedaleira no solo da pastagem degradada, em relação ao subsolo exposto.

Sabe-se que SB é definida, principalmente, a partir da presença de Ca, Mg e K trocáveis. Assim, à medida que aumentam os teores de Ca e Mg, ocorre elevação nos valores de SB (REZENDE et al., 2002, p.19-29). Os resultados verificados no subsolo exposto mais elevados (Tabela 3), quando comparado com os valores iniciais (Tabela 1), provavelmente ocorreram devido à adição de adubos orgânicos e da correção com o calcário.

Com relação a V% todas as espécies arbóreas apresentaram valores superiores a 50%, com exceção do tingui que apresentou valor inferior para V% no subsolo exposto (Tabela 5). Para o solo de pastagem degradada não houve

diferença entre as espécies arbóreas estudadas. A recomendação de V% para culturas reflorestamento é de 50% (RAIJ et al., 1997, 285p.), corroborando os resultados do presente trabalho, com valores superiores a 50%.

Tabela 5. Desdobramento das interações significativas para pH, Ca, Mg, H+Al, SB e V% entre áreas (solo de pastagem e subsolo exposto) e espécies arbóreas de cerrado. Ilha Solteira, 2004/2005.

| Espécies | pH | | Ca | | Mg | | H+Al | | SB | | V | | |
|-------------------|-------------------|--------|------------------------------------|---------|--------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|---------|---|
| | CaCl ₂ | | mmol _c dm ⁻³ | | | | | | | | | | % |
| | sub | past | sub | past | sub | past | sub | past | sub | past | sub | past | |
| Ipê amar. | 5,38bA | 5,15aA | 12,62abA | 23,50aA | 5,62aB | 15,75abA | 15,62aB | 28,12abA | 18,97abB | 40,85aA | 54,12abA | 58,75aA | |
| Angico | 5,72abA | 5,11aB | 11,25abA | 20,62aA | 5,75aB | 14,00bA | 15,50aB | 28,50abA | 18,81abB | 36,13aA | 55,12abA | 55,62aA | |
| Faveiro | 5,92aA | 5,27aB | 22,62aA | 24,37aA | 7,75aB | 16,25abA | 14,37aB | 27,25abA | 31,48aA | 41,72aA | 64,37aA | 59,75aA | |
| Monjoleiro | 6,00aA | 5,16aB | 19,12abA | 22,75aA | 8,37aB | 14,37bA | 14,12aB | 28,37abA | 29,06aA | 38,18aA | 63,37aA | 56,75aA | |
| Aroeira | 5,77aA | 5,17aB | 12,12abB | 26,75aA | 5,12aB | 16,37abA | 14,87aB | 28,00abA | 18,13abB | 44,90aA | 53,75abA | 59,75aA | |
| Tingui | 5,76abA | 5,20aB | 9,62bB | 29,75aA | 4,50aB | 20,75aA | 15,62aB | 27,50bA | 15,35bB | 48,20aA | 49,37bA | 62,50aA | |
| Jacarandá | 6,00aA | 5,10aB | 12,62abA | 21,25aA | 5,37aB | 14,12bA | 14,62aB | 29,00abA | 22,82abA | 36,61aA | 58,00abA | 55,37aA | |
| Jatobá | 5,77aA | 5,16aB | 12,00abB | 23,25aA | 5,87aB | 14,00bA | 15,25aB | 28,00abA | 18,72abB | 38,68aA | 54,25abA | 57,37aA | |
| Barbatimão | 5,72abA | 5,16aB | 12,00abB | 24,00aA | 6,12aB | 14,75bA | 15,62aB | 28,37abA | 19,16abB | 40,01aA | 54,50abA | 58,00aA | |
| Baru | 5,85aA | 5,20aB | 12,15abB | 24,75aA | 6,50aB | 15,75abA | 14,62aB | 30,25abA | 20,03abB | 42,10aA | 57,37abA | 57,50aA | |
| Dedaleira | 5,75abA | 5,06aB | 12,87abA | 20,62aA | 6,75aB | 15,12bA | 15,12aB | 31,12aA | 20,47abB | 37,25aA | 56,25abA | 54,62aA | |

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A atividade respiratória pode ser alterada por diferentes manejos e tratamentos do solo, como também pelas flutuações sazonais de temperatura, umidade, aeração e disponibilidade de substrato, entre outros (MELE & CARTER, 1993, 392p). A variável C-CO₂ liberado mostrou diferenças estatísticas entre espécies, entre épocas, entre áreas e para a interação época e área. Entre as espécies arbóreas, no entanto, não foram detectadas diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 6).

Entre épocas, o segundo ano apresentou a maior atividade respiratória microbiana, sendo que entre áreas, o solo de pastagem diferiu do subsolo exposto e exibiu os valores mais elevados de C-CO₂ liberado (Tabela 6). No desdobramento das interações significativas entre épocas e áreas, o solo de pastagem proporcionou valores de C-CO₂ liberado superiores ao do subsolo exposto para as duas épocas, enquanto a menor atividade ocorreu no primeiro ano, no subsolo exposto (Tabela 7). Uma maior liberação de C-CO₂ por unidade de tempo indica que a comunidade microbiana em uma certo ecossistema esta mais ativa, como relatado por Melloni et al. (2001, p.7-13) para área de mata comparada à de campo cerrado. Os autores

comentaram que os solos de ambas as áreas mostravam valores baixos de carbono orgânico total (16 e 17 g kg⁻¹, respectivamente) e de pH (5,1 e 4,7, respectivamente), possivelmente em virtude do maior fornecimento de MO ao solo e, conseqüentemente, da ciclagem de nutrientes na mata, em relação ao campo cerrado. No presente trabalho, as taxas respiratórias mais elevadas, exibidas pelo solo de pastagem, podem ter ocorrido como conseqüência do maior acúmulo de MO nesse sistema, quando comparado ao do subsolo exposto, decorrente da gramínea com cobertura vegetal.

Tabela 6. Médias, probabilidades de F e coeficientes de variação (CV) para carbono do CO₂ (C-CO₂) liberado e número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares para espécies arbóreas de cerrado, áreas (solo de pastagem e subsolo exposto) e épocas de amostragem. Ilha Solteira, 2004/2005.

| Espécies | C -CO₂ liberado (µg CO₂ g solo seco dia⁻¹) | número de esporos (100 g de solo seco) |
|--------------------------|--|---|
| Ipê amarelo | 10,56 | 70,93 |
| Angico | 9,44 | 15,50 |
| Faveiro | 10,57 | 63,93 |
| Monjoleiro | 9,81 | 17,75 |
| Aroeira | 10,11 | 27,00 |
| Tingui | 9,83 | 10,81 |
| Jacarandá campo | 9,71 | 19,50 |
| Jatobá-do-cerrado | 9,78 | 18,50 |
| Barbatimão | 9,56 | 26,87 |
| Baru | 9,52 | 40,12 |
| Dedaleira | 10,38 | 51,91 |
| Épocas | | |
| 1° ano | 8,88 | 9,15 |
| 2° ano | 10,99 | 56,79 |
| Áreas | | |
| Pastagem | 13,20 | 15,01 |
| Subsolo exposto | 6,67 | 50,94 |
| Espécies | 2,09* | 12,87** |
| Épocas | 153,30** | 186,82** |
| Áreas | 1465,38** | 106,29** |
| Espécies x épocas | 1,14 ^{ns} | 10,40** |
| Espécies x áreas | 1,40 ^{ns} | 10,90** |
| Época x área | 41,24** | 71,09** |
| CV (%) | 11,38 | 70,10 |

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, ** e * : significativos a 1e 5%, respectivamente; ^{ns}: não significativo.

Os microrganismos, mesmo representando uma pequena fração do total de matéria orgânica do solo, são responsáveis pelos processos de mineralização, contendo uma quantidade considerável de nutrientes (N, P, S, Zn e Cu) potencialmente disponíveis para as plantas (JENKINSON, 1988, p.368-386). Enquanto a MO e os microrganismos estabilizam a estrutura do solo, uma boa

estrutura protege fisicamente os microrganismos e a MO, formando um circuito complexo e intimamente ligado entre agregação, microbiota e MO (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006, p.543-716).

Tabela 7. Desdobramento das interações significativas para carbono do CO₂ liberado ($\mu\text{g CO}_2 \text{ g solo seco dia}^{-1}$) entre as épocas de amostragem (1° e 2° anos) e áreas (solo de pastagem e subsolo exposto). Ilha Solteira, 2004/2005.

| Áreas | Épocas | |
|------------------------|----------|----------|
| | 1° ano | 2° ano |
| Pastagem | 12,69 aA | 13,71 aA |
| Subsolo exposto | 5,06 bB | 8,27 bA |

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Correlações significativas e positivas foram encontradas entre C-CO₂ liberado e P, MO, K, Ca, Mg, SB e CTC (0,8970^{**}; 0,4831^{**}; 0,4199^{**}; 0,6791^{**}; 0,4815^{**}; 0,5409^{**} e 0,8090^{**}, respectivamente) e negativa para pH (-0,6993^{**}). Estas correlações sugerem que quanto maior a taxa respiratória microbiana maior a velocidade de decomposição de MO. Em áreas altamente impactadas, como as do subsolo exposto em estudo, uma maior atividade microbiana elevaria a taxa de mineralização e a ciclagem de nutrientes, auxiliando na sua reestruturação. Assim, o aumento na atividade de microrganismos podem ser relacionados com os aumentos dos valores de C-CO₂ liberado, carbono de biomassa e fertilidade do solo, na recuperação de áreas degradadas (PRIHA & SMOLANDER, 1994, p.301-308).

Os esporos de FMA podem ser a fonte mais importante de propágulos em áreas degradadas, devido à sua resistência aos estresses mais severos (BRUNETT, 1991, p.171-313). Diferenças estatísticas significativas para número de esporos de FMA foram encontradas entre espécie arbóreas, entre épocas de amostragem, entre áreas para todas as interações (Tabela 6). Entre espécies e épocas, os maiores números de esporos para todas as espécies arbóreas foram detectados no segundo ano, época em que foram verificadas diferenças significativas entre as espécies, com o ipê amarelo e o faveiro apresentando os valores mais elevados e o angico, monjoleiro, tingui e jatobá os menores números de esporos (Tabela 8).

Estudando o efeito da perturbação do solo sobre a infectividade do micélio externo micorrízico em plantas inoculadas, Jasper et al. (1989, p.93-99) demonstraram que havia uma diminuição do tamanho da rede de hifas em solos

degradados, os quais não foram mais efetivas face à interrupção do fluxo de assimilados pela rede de hifas quebrada EVANS & MILLER, 1986, p.76-74). O número de esporos de FMA no solo, bem como a extensão total do micélio extramatricial, mostraram relação positiva com o potencial micorrízico, representado pelo número de propágulos viáveis na rizosfera (AZCÓN-AGUILAR et al., 2003, p.29-37). Dessa forma, para o presente trabalho, é possível inferir que o potencial micorrízico da área aumentou do primeiro para o segundo ano, indicando melhoria das condições biológicas do solo.

Tabela 8. Desdobramentos das interações significativas para as épocas de amostragem (1° e 2° anos) e as espécies arbóreas para número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (100 g de solo seco), entre as áreas (solo de pastagem e subsolo exposto) e épocas de amostragem. Ilha Solteira, 2004/2005.

| Espécies | Épocas | |
|-----------------|----------|-----------|
| | 1° ano | 2° ano |
| Ipê amarelo | 13,62 aB | 128,25 aA |
| Angico | 4,50 aB | 26,50 cA |
| Faveiro | 5,37 aB | 122,50 aA |
| Monjoleiro | 9,62 aB | 25,87 cA |
| Aroeira | 7,85 aB | 46,12 bcA |
| Tingui | 2,62 aB | 19,00 cA |
| Jacarandá | 4,12 aB | 34,87 bcA |
| Jatobá | 8,62 aB | 28,37 cA |
| Barbatimão | 10,37 aB | 43,37 bcA |
| Baru | 4,25 aB | 76,00 bA |
| Dedaleira | 29,75 aB | 73,87 bA |
| Áreas | | |
| Subsolo exposto | 12,43 aB | 89,45 aA |
| Pastagem | 5,88 bB | 24,13 bA |

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Entre áreas e épocas, os maiores número de esporos foram observados no subsolo exposto, para as duas épocas, mas o segundo ano exibiu os maiores valores para as duas áreas. O subsolo exposto, sem os horizontes A e B e, conseqüentemente, com baixa quantidade de MO e nutrientes, mostrou números mais elevados de esporos em relação a pastagem, tendo esse fato ocorrido tanto no primeiro quanto no segundo ano (Tabela 8).

Estudando a ocorrência de FMA em áreas revegetadas após mineração, por 12 anos, Caproni et al. (2003, p.1409-1418) constataram que quantidade de esporos tanto quanto a diversidade de espécies foram significativamente menores nas áreas não revegetadas ou de subsolo estéril. Esse relato difere dos resultados

encontrados no presente trabalho, onde, apesar de ter sido empregado um subsolo exposto com baixo número inicial de esporos, esse proporcionou uma esporulação maior que o solo da pastagem (Tabela 8). A capacidade de esporulação dos FMA, segundo Douds (1994, p.233-237), pode variar tanto com a planta hospedeira como com as características edáficas.

Nas interações entre espécies arbóreas e áreas para a variável número de esporos, o solo de pastagem não exibiu diferenças significativas entre as espécies arbóreas, mas no subsolo exposto os maiores valores foram encontrados para ipê amarelo, faveiro e baru, e os menores para angico, monjoleiro, tingui, jacarandá e jatobá (Tabela 9).

Tabela 9. Desdobramento das interações significativas para as áreas (solo de pastagem e subsolo exposto) e espécies arbóreas nativas para número de esporos de números de fungos micorrízicos arbusculares (100 g de solo seco). Ilha Solteira, 2004/2005.

| Espécies | Áreas | |
|--------------------|-----------------|------------------|
| | Subsolo exposto | Solo de pastagem |
| Ipê amarelo | 125,50 aA | 16,37 aB |
| Angico | 20,50 cA | 10,50 aA |
| Faveiro | 114,37 aA | 13,50 aB |
| Monjoleiro | 16,37 cA | 19,12 aA |
| Aroeira | 40,25 bcA | 13,75 aB |
| Tingui | 16,37 cA | 9,25 aA |
| Jacarandá | 28,87 cA | 10,12 aA |
| Jatobá | 28,12 cA | 8,87 aB |
| Barbatimão | 41,62 bcA | 12,12 aB |
| Baru | 71,50 bA | 8,75 aB |
| Dedaleira | 60,87 bcA | 42,75 aA |

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Como o objetivo de recuperar área degradada sem a reposição do horizonte superficial orgânico, mas com a introdução de mudas de *Acacia mangium* inoculadas com FMA, Caproni et al. (2005, p.373-381) constataram aumento na esporulação entre o primeiro e o quinto ano da instalação do experimento. Semelhante a esse relato, mas em um período menor de tempo (dois anos), no presente trabalho, a esporulação de FMA aumentou entre o primeiro e o segundo ano. Embora o sistema ainda apresente-se bastante frágil, ou seja, com baixos níveis de nutrientes e MO, o aumento da esporulação pode ser um indicativo de recuperação, pois estimulou o aumento da população de FMA.

De modo geral, em condições de campo, as espécies de FMA adaptam-se de maneiras distintas em função das condições ambientais (KLIRONOMOS et al., 1993,

p.1472-1480), como também relatado por Stahl & Christensen (1991, p.300-307). Esses autores contataram que a seleção das espécies de FMA mais exigentes para adaptação ambiental, produzem respostas mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas. Este fato pode explicar, para o presente trabalho, porque algumas espécies arbóreas proporcionaram maior esporulação que outras, inclusive entre áreas, assim como, a baixa esporulação no solo de pastagem, mesmo tendo esse uma condição de solo melhor que o subsolo exposto (Tabela 9).

Foram observadas correlações significativas e negativas entre número de esporos e P, MO, pH, K, Ca, Mg, SB, CTC e V% (-0,3997**; -0,3198**; -0,1547**; -0,3195**; -0,2551**; -0,3501**; -0,3252**; -0,3027** e -0,2847**).

No levantamento das espécies de FMA, no primeiro ano após a instalação do experimento, para o subsolo exposto, foram detectados os maiores índices de diversidade, equabilidade e riqueza nas espécies arbóreas, ipê amarelo, jatobá e barbatimão. No segundo ano, todas as espécies arbóreas apresentaram aumento para todos os índices, sendo os maiores valores de diversidade para aroeira, tingui, jacarandá e jatobá, e de riqueza de espécies em ipê amarelo, aroeira, jacarandá, jatobá, barbatimão e dedaleira (Tabela 10).

Tabela 10. Diversidade de Shannon, riqueza de espécies e equabilidade de Pielou para comunidades de fungos micorrízicos arbusculares, por área (solo de pastagem e subsolo exposto) e por espécie arbórea. Ilha Solteira, 2004/2005.

| Tratamentos | ÍNDICES | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|-----------|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Diversidade Shannon | | | | Riqueza de espécies | | | | Equabilidade Pielou | | | |
| | Subsolo | | Pastagem | | Subsolo | | Pastagem | | Subsolo | | Pastagem | |
| | 1° Ano | 2° Ano | 1° Ano | 2° Ano | 1° Ano | 2° Ano | 1° Ano | 2° Ano | 1° Ano | 2° Ano | 1° Ano | 2° Ano |
| Ipê amarelo | 1,75 | 0,72 | 1,0 | 1,90 | 7 | 11 | 4 | 9 | 0,64 | 0,23 | 0,37 | 0,68 |
| Angico | 0,78 | 1,21 | 0,94 | 1,85 | 4 | 6 | 3 | 8 | 0,29 | 0,39 | 0,35 | 0,67 |
| Faveiro | 0,26 | 0,96 | 1,21 | 1,22 | 3 | 8 | 4 | 7 | 0,10 | 0,31 | 0,45 | 0,44 |
| Monjoleiro | 0,95 | 1,07 | 1,79 | 1,53 | 3 | 3 | 6 | 7 | 0,35 | 0,34 | 0,66 | 0,55 |
| Aroeira | 0,69 | 1,67 | 1,10 | 1,80 | 2 | 10 | 3 | 10 | 0,26 | 0,53 | 0,66 | 0,65 |
| Tingui | 0,69 | 1,82 | 0,00 | 1,60 | 2 | 7 | 1 | 7 | 0,26 | 0,58 | 0,00 | 0,58 |
| Jacarandá | 1,16 | 1,84 | 0,45 | 1,20 | 4 | 11 | 2 | 4 | 0,43 | 0,59 | 0,17 | 0,43 |
| Jatobá | 1,99 | 1,96 | 1,04 | 1,89 | 8 | 12 | 3 | 8 | 0,74 | 0,62 | 0,38 | 0,68 |
| Barbatimão | 1,63 | 1,52 | 1,10 | 1,68 | 7 | 12 | 3 | 9 | 0,60 | 0,48 | 0,41 | 0,60 |
| Baru | 0,67 | 1,10 | 1,04 | 1,75 | 2 | 7 | 3 | 8 | 0,25 | 0,35 | 0,38 | 0,63 |
| Dedaleira | 0,91 | 1,43 | 0,00 | 0,98 | 6 | 11 | 1 | 8 | 0,34 | 0,46 | 0,00 | 0,36 |
| Acumulação de Espécies | | | | | | | | | | | | |
| Tratamentos | 1° Ano | | | | | | 2° Ano | | | | | |
| Subsolo | 1 amostra= 7 espécies | | | | | | 1 amostra= 11 espécies | | | | | |
| | 11 amostras= 15 espécies | | | | | | 11 amostras= 23 espécies | | | | | |
| Pastagem | 1 amostra= 4 espécies | | | | | | 1 amostra= 9 espécies | | | | | |
| | 11 amostras= 15 espécies | | | | | | 11 amostras= 16 espécies | | | | | |

No solo de pastagem, no primeiro após a instalação, foram constatadas baixa riqueza de espécies e de diversidade, indicando a fragilidade das comunidades de FMA nessa área, devido à degradação. Quando comparado aos valores do segundo ano, verificou-se aumento para os três índices em todas as espécies arbóreas avaliadas (Tabela 10).

Apesar dos FMA serem encontrados em solos com pH variando de 3 a 10, esse é um fator determinante da sua diversidade (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006, p.43-716). No presente trabalho, a maior ocorrência foi dos gêneros *Acaulospora* e *Glomus*, para a área de subsolo exposto, indicando a adaptabilidade destes gêneros ao local estudado (Tabela 11).

No primeiro ano após a instalação do experimento, o subsolo exposto ainda apresentava-se frágil resultando numa baixa esporulação e, conseqüentemente, baixa diversidade e riqueza de espécies de FMA (Tabela 11). Quando comparado ao solo de cerrado, utilizado como fonte de inóculo, pode-se constatar que algumas espécies de FMA não ocorreram tanto no subsolo exposto quanto no solo de pastagem, e que algumas espécies que já existiam na área degradada não se multiplicaram, e por possuírem baixa freqüência, foram consideradas raras.

Com o intuito de conhecer a comunidade autóctone das áreas estudadas, poucas espécies de FMA foram identificadas no primeiro ano, sendo encontradas 15 espécies por área estudada, pertencentes a 5 gêneros. No segundo ano após implantação do experimento, houve um aumento, sendo observadas 20 espécies de FMA no subsolo exposto e 16 no solo da pastagem. Percebe-se que, à medida que as plantas cresceram e a área foi sendo colonizada, as condições ambientais melhoraram, possibilitando a instalação de um maior número de espécies, aumentando a riqueza de FMA na comunidade.

O maior número de esporos observados no levantamento realizado no segundo do experimento, talvez esteja relacionado com o aumento da biomassa radical o que, segundo Carrenho et al. (2001, p.115-124), fornece maiores possibilidades de infecção, colonização radical e expansão micelial no solo rizosférico. O aumento da biomassa fúngica dentro e fora das raízes, junto com alterações das atividades metabólicas das plantas, como produção aumentada de fotoassimilatos e maior direcionamento destes para as raízes, podem sustentar uma maior produção de esporos.

Tabela 11. Espécies de FMA em área degradada, número acumulado (NE) de esporos frequência de ocorrência (F) por área (solo de pastagem e subsolo exposto) em dois anos consecutivos. Ilha Solteira, 2004/2005.

| Espécies de FMA | Cerrado (Inóculo) | Subsolo (n°inicial) | Pastagem (n°inicial) | Subsolo | | Pastagem | | Subsolo | | Pastagem | |
|-------------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|-----------|------------------|-----------|-------------------|-----------|------------------|-----------|
| | | | | NE ⁽¹⁾ | | F ⁽²⁾ | | NE ⁽¹⁾ | | F ⁽²⁾ | |
| | | | | 1° Ano | 2° Ano | 1° Ano | 2° Ano | 1° Ano | 2° Ano | 1° Ano | 2° Ano |
| <i>Acaulospora aff. alpina</i> | - | - | - | - | 4 | - | 1 | - | - | - | - |
| <i>Acaulospora aff. tuberculata</i> | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | 1 | - |
| <i>Acaulospora aff. koskei</i> | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | 1 | - |
| <i>Acaulospora aff. mellea</i> | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | 1 | - |
| <i>Acaulospora foveata</i> | 102 | - | - | - | 4 | 1 | - | - | - | - | - |
| <i>Acaulospora koskei</i> | 181 | 2 | 46 | 10 | 23 | 5 | 3 | 4 | 13 | 6 | 4 |
| <i>Acaulospora morrowae</i> | 147 | 4 | - | - | 465 | - | 11 | - | 28 | - | 9 |
| <i>Acaulospora mellea</i> | - | - | - | 17 | - | 6 | - | 8 | - | 3 | - |
| <i>Acaulospora rehmi</i> | - | - | - | - | 4 | - | 3 | - | - | - | - |
| <i>Acaulospora scrobiculata</i> | - | 4 | - | 105 | 240 | 8 | 9 | 55 | 215 | 7 | 11 |
| <i>Acaulospora sp.</i> | - | - | - | - | - | 6 | - | 1 | - | 1 | - |
| <i>Appendicispora appendicula</i> | - | - | - | 17 | - | 6 | - | 3 | 19 | 2 | 5 |
| <i>Gigaspora decipiens</i> | 238 | - | 54 | - | 48 | - | 8 | 2 | 15 | 1 | 9 |
| <i>Gigaspora gigantea</i> | 111 | - | - | - | 9 | - | 5 | - | 5 | - | 2 |
| <i>Gigaspora ramisporophora</i> | 206 | 2 | 28 | - | 45 | - | 9 | - | 15 | - | 7 |
| <i>Glomus aggregatum</i> | - | - | - | 1 | - | 1 | - | 1 | - | 1 | - |
| <i>Glomus clarum</i> | - | - | - | - | 18 | - | 4 | - | - | - | - |
| <i>Glomus clarioideum</i> | - | - | - | 1 | 9 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| <i>Glomus etunicatum</i> | - | - | 32 | 18 | 2 | 1 | 1 | 10 | 21 | 3 | 7 |
| <i>Glomus invermanium</i> | - | - | - | - | 4 | - | 2 | - | - | - | - |
| <i>Glomus luteum</i> | 129 | - | - | 1 | 37 | 1 | 5 | - | 42 | - | 8 |
| <i>Glomus macrocarpum</i> | 86 | - | - | - | 7 | - | 2 | - | 43 | - | 10 |
| <i>Glomus mosseae</i> | - | - | - | - | 11 | - | 2 | - | 13 | - | 4 |
| <i>Glomus proliferum</i> | - | - | - | - | 6 | - | 4 | - | 1 | - | 1 |
| <i>Glomus tortuosum</i> | - | - | - | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - |
| <i>Glomus sp. 1</i> | - | - | - | 1 | - | 1 | - | 1 | - | 1 | - |
| <i>Glomus sp. 2</i> | - | - | - | - | 15 | - | 3 | - | 21 | - | 7 |
| <i>Scutellospora aff. pellucida</i> | - | - | - | 1 | - | 1 | - | - | - | 1 | - |
| <i>Scutellospora aff. persica</i> | - | - | - | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| <i>Scutellospora dipurpurascens</i> | - | - | - | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - |
| <i>Scutellospora pellucida</i> | - | - | - | 7 | 18 | 3 | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| <i>Scutellospora calospora</i> | - | - | - | - | 4 | - | 4 | - | - | - | - |
| <i>Scutellospora verrucosa</i> | - | - | - | - | 1 | - | 1 | - | - | - | - |
| não identificadas | - | - | - | 7 | 24 | 3 | 5 | 1 | 8 | 1 | 3 |
| N. total de esporos | 1200 | 12 | 160 | 184 | 998 | | | 99 | 462 | | |

⁽²⁾ F% = frequência de ocorrência em 11 espécies arbóreas.

Na Tabela 10 verifica-se ainda a acumulação de espécies micorrízicas, a qual refere-se a amostragem, avaliando quantas espécies são detectadas com o esforço

amostral, estimando a riqueza de espécies encontradas. Verificou-se que houve um aumento do primeiro para o segundo ano no número de espécies de micorrizas no subsolo, o que não ocorreu com o solo de pastagem.

Os resultados evidenciam que o número de amostras utilizadas foram bem distribuídas, e a medida que aumentou o número de espécies arbóreas também aumentou o número de espécies de fungos micorrízicos arbusculares, demonstrando a boa qualidade da amostragem. Os índices são considerados ideais quando se têm amostras tomadas ao acaso, em uma grande comunidade, como é o caso da área de estudo em questão, pois considera a incerteza dos dados.

Os índices de diversidade (como Shannon e Simpson) que combinam informações sobre riqueza e abundância de espécies numa única medida, são frequentemente utilizados a despeito de suas limitações na descrição da diversidade (MAGURRAN, 2004, 256p).

Para cada planta estabeleceu-se uma comunidade diferente de FMA, sendo *Acaulospora scrobiculata* e *Acaulospora morrowae* as espécies de maior ocorrência, com frequência de 9 e 11 vezes no subsolo exposto e 11 e 9 vezes no solo de pastagem, respectivamente. No entanto, pelo fato das áreas ainda apresentar em fragilidade nas populações de FMA, as espécies foram consideradas raras ou de baixa frequência, ou seja, baixo número de esporos. No entanto, essas espécies podem estar presentes no ambiente também sob outras formas (células auxiliares, hifas ou raízes colonizadas) ou simplesmente aparecerem como resquício de uma comunidade pré-estabelecida em planta de ciclo-de-vida curto, ou ainda terem sido produzidas nas proximidades e dispersadas sem obterem êxito na ocupação do novo ambiente (CARRENHO et al., 2001, p.115-124).

Alguns propágulos fúngicos, por serem menos tolerantes aos estresses ambientais que os esporos, podem desaparecer mais rapidamente (SOUZA & SILVA 1996, p.255-290) e, assim, algumas espécies serem excluídas no processo de competição. Esta seleção aparentemente mediada pela planta hospedeira, pode ser resultante do estabelecimento de associações preferenciais entre os participantes micorrízicos. Este fato pode depender tanto de características morfológicas e fisiológicas da planta, como da compatibilidade genética entre planta e fungo (SMITH 1995, p.3-24) que, junto com os fatores ambientais, definem a especificidade entre os simbiosistas (Mc GONIGLE & FITTER 1990, p.120-122).

Assim, o conhecimento da ecologia de FMA e sua simbiose são de grande importância, quando se deseja manejar as populações nativas para a obtenção do potencial máximo dessas em benefício das espécies vegetais (ANTONIOLLI et al., 2002, p.627-635). O papel das populações micorrízicas e suas interações com o meio são requisitos básicos para o estabelecimento e propostas de manejos que permitam o aumento no crescimento da planta, a sobrevivência e a persistência das espécies fúngicas em um determinado ambiente (SILVEIRA, 1998, p.61-86).

5. CONCLUSÕES

1. Dois anos após a implantação do experimento verifica-se que o subsolo exposto, em relação ao solo da pastagem, submetido às mesmas adubações química e orgânica, continua apresentando caráter ácido e pobre em nutrientes.

2. As áreas avaliadas continuam apresentando-se frágeis, resultando em baixa esporulação e diversidade de FMA, mesmo tendo ocorrido aumento nos valores do primeiro para o segundo ano da implantação do experimento

3. A esporulação dos FMA mostrou-se diretamente relacionada com o grau de degradação ambiental, indicando um possível facilitação do estabelecimento da simbiose pelas plantas em favorecimento da formação das comunidades de FMA no solo.

4. Para a área com subsolo exposto, tingui, jacarandá e jatobá foram as espécies que proporcionaram estabelecimento e expressão de maior número de espécies de FMA, enquanto que na área de pastagem, ipê amarelo, angico, aroeira e jatobá, foram as espécies de plantas que mais estimularam as comunidades de FMA, sendo estas seis as espécies mais indicadas para a recuperação dessas áreas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biological and Biochemistry**, Elmsford, v.21, p.471-479, 1982.

ANTONIOLLI, Z.I.; FACELLI, E.; O'CONNOR, P.; MILLER, D.; OPHEL-KELLER, K.; SMITH, S. Spore communities of arbuscular mycorrhizal fungi and mycorrhizal associations in different ecosystems, South Australia. **Revista Brasileira Ciencia do Solo**, Viçosa, v.26, p.627-635, 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**, Amsterdam, v.22, n.1, p.29-37, 2003.

AZCÓN-AGUILAR, C.; PALENZUELA, J. ; BAREA, J. M. **Sustrato para la producción de inóculos de hongos formadores de micorrizas y procedimiento de preparación**. n. 9901814, 23 de jun. de 2003.

BACHMANN, K. Species as units of diversity: an outdated concept. **Theory in Biosciences**, Jena/Alemanha, v. 117, n.3, p.213-230. 1998.

BEHERA, N.; JOSHI, S.K.; PATI, D.P. Root contribution to total soil metabolism in a forest soil from Orissa, Índia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam v.36, n.2, p.125-134, 1990.

BENEDETTI, T.; ANTONIOLLI, Z.I.; GIRACCA, E. M. N. STEFFEN, R. B.; Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.4, n.1, p. 44-51, 2005.

BRUNDRETT. M; BOUGHER. N.; DELL, B.; GRAVE, T.; MALAJCZUK, N. Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1996. 374p. (Monograph 32)

BRUNDETT, M. Mycorrhiza in natural ecosystems. **Advances in Ecological Research**, London, v.21, p.171-313, 1991.

CAMPBELL, C.A.; MOULIN, A.P.; BOWREN, K.E.; JANZEN, H.H.; TOWNLEY-SMITH, L.; BIEDERBRCK, V.O. Effect of crop rotations on microbial biomass, specific respiratory activity and mineralizable nitrogen in a Black Chernozemic soil. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.72, p.417-427, 1992.

CAPRONI, A.L.; FRANCO, A.A.; BERBARA, R.L.L.; TRUFEM, S.B.; GRANHA, J.R.D.O.; MARINHO, N.F. Fungos micorrízicos arbusculares em estéril revegetado com *Acacia mangium*, após mineração de bauxita. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.3, p.373-381, 2005.

CAPRONI, A.L; FRANCO, A.A.; BERBARA, R.L.L.; TRUFEM, S.B.; GRANHA, J.R.D.O.; MONTEIRO, A.B. Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em áreas revegetadas após mineração de bauxita em Porto Trombetas, Pará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.12, p.1409-1418, 2003.

CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; DAVIDE, A.C.; GOMES, L.J.; CURI, N.; DO VALE, F.R. Fungos micorrízicos e superfosfato no crescimento de espécies arbóreas tropicais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.50, p.21-36, 1996.

CARRENHO, R.; TRUFEM, S.F.B.; BONONI, V.L.R. Fungos micorrízicos arbusculares em rizosferas de três espécies de fitobiontes instaladas em área de

mata ciliar revegetada. **Acta Botanica Brasílica**, Porto Alegre, v.15, n.1, p.115-124, 2001.

CARRENHO, R.; BONONI, V. L. R.; BARBOSA, L. M. Glomales em áreas de recomposição de mata ciliar de Moji-Guaçu, SP, Brasil. **Hoehnea**, São Paulo, v.24 n.1, p.107-113, 1997.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO. **Ilha Solteira**: a cidade e a usina. São Paulo:CESP, 1988. 93p.

COELHO, F.C.; BORGES, A.C.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; Muchovej, R.M. Caracterização e incidência de fungos micorrízicos em povoamentos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, nos municípios de Botucatu, São José dos campos e São Miguel Arcanjo, São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.21, n.4, p.563-573, 1997.

CORREA, R.S. Regeneração da vegetação de cerrado em uma área de empréstimo no Parque Nacional de Brasília. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, 8.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SABANNAS, 1., 1996, Brasília. **Anais....** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. p.182-185.

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. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: SOBRADE: UFV, 2000. p.112-113.

CRESTANA, M.S.M.; FERRETI, A.R.; TOLETO FILHO, D.V.; ÁRBOCZ, G.F.; SHIMIDT, H.A.; GUARDIA, J.F.C. Espécies arbóreas nativas do estado de São Paulo recomendadas para reflorestamentos. In:____. **Florestas**: sistemas de recuperação com essências nativas, produção de mudas e legislação. São Paulo: Imprensa Oficial, 2006. p.49-84.

DAVIDE, A.C. Seleção de espécies vegetais para recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL DE

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2, 1994, Curitiba. **Anais...**:Curitiba: FUPEF, 1994.p.176-184.

DEMATTÊ, J.L.I. **Levantamento detalhado dos solos do campus experimental de Ilha Solteira**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1980. 114p. (mimeografado).

DIAS, L.E. Caracterização de substratos para fins de recuperação de áreas degradadas. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa:UFV, 1998. p.27-43.

DOUDS, D.D. Relationships between hyphal and arbuscular colonization and sporulation in mycorrhiza of *Paspalum notatum*. **New Phytologist**, Cambridge, v.126, p.233-237, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos ,1999. 412p.

EVANS, D.G.; MILLER, M.H. Vesicular arbuscular mycorrhizal and the soil disturbance induced reduction of nutrient absorption in maize. I. causal relations. **New Phytologist**, Cambridge, Inglaterra, v.110, n.1, p.67-74, 1986.

FARIA, S. M.; CHADA, S.S. **Interação microrganismos e plantas na recuperação de áreas degradadas**. UNESP/ Rio Claro, 2003. 2 p. Disponível em: <www.rc.unesp.br/xivsbbsp/mesa03MSMF.pdf> Acesso em: 25/03/2007.

GARAY, I.; KINDEL, A.; CARNEIRO, R.; FRANCO, A.A.; BARROS, E.; ABBADIE, L. Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.705-712, 2003.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transaction of British Mycological Society**, London, v.6, p.234-244, 1963.

HERNANDEZ, F.B.T.; LEMOS FILHO, M.A.; BUZETE, S. **Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: UNESP - Faculdade de Engenharia de Iha Solteira, 1995. 45p. (Série Irrigação, 1).

HERRERA, R.A.; ULLOA, D.R.; VALDÉS-LAFONT, O.; PRIEGO, A.G.; VALDÉS, A.R. Ecotechnologies for the sustainable management of tropical forest diversity. **Nature and Research**, Paris, v.33, p.1-17, 1997.

HIBBETT, D.S.; DONOGHUE, M.J. Integrating phylogenetic analysis and classification in fungi. **Mycologia**, New York, v.90, p.347-356, 1998.

INTERNATIONAL culture of collection of arbuscular mycorrhizal fungi. Disponível em: <INVAM <http://invam.caf.wvu.edu>>. Acesso em: 26 de junho de 2007.

JANOS, D.P. Mycorrhizas, succession and the rehabilitation of deforested lands in the humid tropics. In: FRANKLAND, J.C.; MAGAN, N.; GADD, G.M. (Eds.) **Fungi and environmental change: british mycological society symposium**. Cambridge : Cambridge University, 1996. v.20, p.129-162.

JASPER, D.A.; ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D. Soil disturbance reduces the infectivity of external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, Cambridge, v.112, n.1, p. 93-99, 1989.

JASTROW, D.A.; MILLER, R.M. Methods for assessing the effects of biota on soil structure. **Agricultura, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.34, p.279-303, 1991.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, Idaho, v.48, p.692, 1964.

JENKINSOM, D.S. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. In.: WILSON, J.R. (Ed.) **Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems**. Wallingford: CAB Inst, 1988. p.368-386.

JOHNSON, N.C.; WEDIN, D.A. Soil carbon, nutrients, and mycorrhizae during conversion of dry tropical forest to grassland. **Ecological Applications**, Termpe, v.7, n.1, p.171-182, 1997.

KLIRONOMOS, J. N. et al. A comparison of spatial heterogeneity of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in two maple-forest soils. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.71, p.1472-1480, 1993.

KOIDE, R.T. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. **New Phytologist**, Cambridge, v.117, n.3, p.365-386, 1991.

MAGURRAN, A.E. **Ecological diversity and its measurement**. Princeton: Princeton University, 1988. 179 p.

McGONIGLE, T.P.; FITTER, A.H. Ecological specificity of vesicular-arbuscular mycorrhizal associations. **Mycological Research**, Cambridge, v.94, p.120-122, 1990.

MELE, P.M.; CARTER, M.R. Effect of climatic factors on the use of microbial biomass as an indicator of changes in soil organic matter. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. Chichester: John Wiley, 1993. 392p.

MELLONI, R.; PEREIRA, E.G.; TRANNIN, I.C.B.; SANTOS, D.R.; MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Características biológicas de solos sob mata ciliar e campo cerrado no sul de Minas Gerais. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.1, p.7-13, 2001.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729p.

MORTON, J.B.; BENNY, G.L. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glominae and Gigasporinae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. **Mycotaxon**, Ithaca, v.37, p.471-491, 1990.

MORTON J.B.; REDECKER D. Two families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera Archaeospora and Paraglomus, based on concordant molecular and morphological characters. **Mycologia**, New York, v.77, p.181–195, 2001.

MORTON, J.B.; BENTIVENGA, S.P.; WHEELER, W.W. Germ plasm in the International Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation and storage. **Mycotaxon**, Ithaca, v.48, p.491-528, 1993.

NEWSHAM, K.K.; FITTER, A.H.; WATKINSON, A.R. Multi-functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, v.10, p.407-411, 1995.

PARROTA, J.A. The role of plantation forest rehabilitating degraded tropical ecosystems. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.41, p.115-133, 1992.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. California: Academic Press, 1996. 340 p.

PERRY, D.L.; MOLINA, R.; AMARANTHUS, M.P. Mycorrhizae, mycorrhizospheres, and reforestation: current knowledge and research needs. **Canadian Journal of Forestry Research**, Ottawa, v.17, p.929-940, 1987.

PIELOU, E.C. **Ecological diversity**. New York: John Wiley and Sons, 1975. 165p.

PRIHA, O.; SMOLANDER, A.; Fumigation-extraction and substrat-induced respiration derived microbial biomass C, and respiration rate in limed soil of Scots pine sapling stands. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.17, n.4, p.301-308, 1994.

RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLAN, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análises de solos para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).

REICHMANN NETO, F. Recuperação de áreas degradadas na Região Sul. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, v.3, 1993. p.102-107.

REZENDE, J.L.P.; COELHO JUNIOR, L.M.; OLIVEIRA, A.D. Avaliação de leis e serviços ambientais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 5, 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Água e diversidade. Belo Horizonte: SOBRADE, 2002. p.19-29.

RODRIGUES, G.B.; MALTONI, K.L.; CASSIOLATO, A.M.R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.1, p.73–80, 2007.

ROSCOE, R.; BOADEY, R.M.; SALTON, J.C. Sistema de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**. Dourados: EMBRAPA, 2006. p.17-42.

SANDERS, I.R.; CLAPP, J.P.; WIEMKEN, A. The genetic diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in natural ecosystems – A key to understanding the ecology and functioning of mycorrhizal symbiosis, **New Phytologist**, Cambridge, v.133, 123-134, 1996.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE-SAS/STAT. **Procedure guide personal computers**. 9. ed. Cary: NC. Inst, 1999. 334p.

SCHENCK, N.C.; PEREZ, Y. **A manual of identification of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi**, 2. ed. Gainesville:University of Florida, 1988. 241p.

SCHÜBLER, A.; GEHRIG, H.; SCHWARZOTT, D. ; WALKER, C. 2001a. Analysis of partial *Glomales* SSU rRNA gene sequences: implications for primer design and phylogeny. **Mycological Research**, Cambridge, Inglaterra, v. 105, p. 5-15.

SCHÜBLER, A., SCHWARZOTT, D. & WALKER, C. 2001b. A new fungal phylum, the *Glomeromycota*, phylogeny and evolution. **Mycological Research**, Cambridge, Inglaterra, v.105, p.1413-1421.

SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn: Federal Republic of Germany: Friedland Bremer, 1991. 371p.

SILVA, C.E.M.; GONÇALVES, J.F.C.; FELDPAUSCH, T.R.; LUIZÃO, F.J.; MORAIS, R.R.; RIBEIRO, G.O. Eficiência no uso dos nutrientes por espécies pioneiras crescidas em pastagens degradadas na Amazônia central. **Acta Amazônica**, Manaus, v.36, n.4 p.503-512. 2006.

SILVEIRA, P.D.D. Ecologia de fungos micorrízicos arbusculares. In: MELO, I.S.D.; AZEVEDO, J.A. (Eds). **Ecologia microbiana**. Jaguariúna: EMBRAPA, 1998. p.61-86.

SIMPSON, E.H. Measurement of diversity. **Nature**, Londres, v.163, p.188. 1949.

SIQUEIRA, J.O.; NAIR, M.G.; HAMMERSCHMDT, R.; SAFIR, G. R. Significance of phenolic compounds in plant-soil-microbial systems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Knoxville, v.10, n.1, p. 63-121, 1991

SIQUEIRA, J.O. Micorrizas arbusculares. In: ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. (Eds.) **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p.151-194.

SIQUEIRA, J.O.; SAGGIN-JUNIOR, O.J. The importance of mycorrhizae association in natural low-fertility soils. In: MACHADO, A.T.; MAGNAVACA, R.; PANDEY, S.;

SILVA, A.F. (Eds.). **International symposium on environmental stress: maize in perspective**. México: CIMMVT/UNDP, 1995. 449p.

SMITH, S. E. Discoveries, discussions and directions in mycorrhizal research. In: Varma, A.; Hock, B. (Eds.). **Mycorrhiza: structure, function, molecular biology and biotechnology**. Berlin: Springer Verlag, 1995. p.3-24.

SMITH, S.E; READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. San Diego: Academic Press, 1997. p.33-80.

SOUZA, F.A.; SILVA, E.M.R. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: Siqueira, J.O. (Ed.). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1996. p.255-290.

SOUZA, M.N. **Degradação e recuperação ambiental e desenvolvimento sustentável**. 2004. 393f. Tese (Dourado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

STAHL, P.D.; CHRISTENSEN, M. Population variation in the mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*: breadth of environmental tolerance. **Mycological Research**, Cambridge, v.95, p.300-307, 1991.

TRINDADE, A.V.; SIQUEIRA, J.O.; ALMEIDA, F.P. Eficiência simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares em solo não fumigado, para mamoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.5, p.505-513, 2000.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. 4.ed. Wallingford: CAB, 1994. 276p.

Coeficiente de correlação para carbono do CO₂ liberado (C-CO₂), número de esporos (P), fósforo (P), matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação de bases (V).

| | P | MO | pH | K | Ca | Mg | H+Al | Al | SB | CTC | V% |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| C-CO₂ | 0,1576 | 0,8970 ^{**} | -0,6993 ^{**} | 0,4831 ^{**} | 0,4199 ^{**} | 0,6791 ^{**} | 0,7903 ^{**} | 0,4815 ^{**} | 0,5409 ^{**} | 0,8090 ^{**} | -0,0672 ^{ns} |
| ESP | -0,3997 ^{**} | -0,3198 ^{**} | -0,1547 [*] | -0,3195 ^{**} | -0,2551 [*] | -0,3501 ^{**} | -0,1179 ^{ns} | -0,0101 ^{ns} | -0,3252 ^{**} | -0,3027 ^{**} | -0,2847 [*] |
| P | - | 0,2157 [*] | 0,3076 ^{**} | 0,0932 ^{ns} | 0,6744 ^{**} | 0,5276 ^{**} | -0,1391 ^{ns} | -0,3296 ^{**} | 0,6646 ^{**} | 0,4618 ^{**} | 0,7222 ^{**} |
| MO | - | - | -0,6981 ^{**} | 0,6381 ^{**} | 0,4468 ^{**} | 0,7363 ^{**} | 0,8582 ^{**} | 0,5779 ^{**} | 0,5904 ^{**} | 0,8719 ^{**} | -0,0291 ^{ns} |
| pH | - | - | - | -0,3907 ^{**} | 0,0836 ^{ns} | -0,2254 [*] | -0,8841 ^{**} | -0,7565 ^{**} | -0,0259 ^{ns} | -0,4383 ^{**} | 0,6115 ^{**} |
| K | - | - | - | - | 0,2504 [*] | 0,4723 ^{**} | 0,5221 ^{**} | 0,4026 ^{**} | 0,3742 ^{**} | 0,5396 ^{**} | 0,0251 ^{ns} |
| Ca | - | - | - | - | - | 0,8128 ^{**} | 0,0822 ^{ns} | -0,1625 [*] | 0,9602 ^{**} | 0,7960 ^{**} | 0,7154 ^{**} |
| Mg | - | - | - | - | - | - | 0,3930 ^{**} | 0,0905 ^{ns} | 0,8944 ^{**} | 0,8995 ^{**} | 0,5089 ^{**} |
| H+Al | - | - | - | - | - | - | - | 0,8392 ^{**} | 0,2119 [*] | 0,6385 ^{**} | -0,4667 ^{**} |
| Al | -- | - | - | - | - | - | - | - | -0,0660 ^{ns} | 0,3386 ^{**} | -0,5837 ^{**} |
| SB | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,8787 ^{**} | 0,6914 ^{**} |
| CTC | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,3232 ^{**} |

^{**} e ^{*} : significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} : não significativo