

QUALIDADE QUÍMICA E BIOLÓGICA DE UMA ÁREA DEGRADADA
PELA EXTRAÇÃO DE ARGILA, REVEGETADA COM *Eucalyptus* spp.
E SABIÁ EM PLANTIOS PUROS E CONSORCIADOS

QUÍSSILA RENATA BATISTA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
SETEMBRO - 2006

QUALIDADE QUÍMICA E BIOLÓGICA DE UMA ÁREA DEGRADADA
PELA EXTRAÇÃO DE ARGILA, REVEGETADA COM *Eucalyptus* spp.
E SABIÁ EM PLANTIOS PUROS E CONSORCIADOS

QUÍSSILA RENATA BATISTA

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Mestre em Produção Vegetal”.

Orientador: Prof. Marco Antonio Martins

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
SETEMBRO – 2006

QUALIDADE QUÍMICA E BIOLÓGICA DE UMA ÁREA DEGRADADA
PELA EXTRAÇÃO DE ARGILA, REVEGETADA COM *Eucalyptus* spp.
E SABIÁ EM PLANTIOS PUROS E CONSORCIADOS

QUÍSSILA RENATA BATISTA

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”.

Aprovada em 05 de setembro de 2006

Comissão Examinadora:

Prof^a Marta Simone Mendonça Freitas (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

Prof. Cláudio Roberto Marciano (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) – UENF

Prof^a Luciana Aparecida Rodrigues (D.Sc., Produção Vegetal) – FAETEC

Prof. Marco Antonio Martins (Ph.D., Microbiologia do Solo) – UENF
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Santa Teresinha por mais uma conquista...

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,

Ao Professor Marco Antonio Martins, pela oportunidade e auxílio,

À professora Marta Simone M. Freitas, pela competência, amizade, auxílio e todos os ensinamentos,

Aos amigos do laboratório de Solos Andréia e Fernando, pela sincera amizade, e solidariedade,

À Cristiane, pelo auxílio nos resultados da Tese,

À Andréia Vita Reis Mendonça, pelos bons conselhos e auxílio na conclusão desta Tese.

Aos amigos do campo: Zélio e Romualdo,

À professora Luciana Rodrigues, pela amizade e pela descontração dentro e fora do laboratório,

Ao professor Cláudio pela amizade,

Ao meu companheiro Matheus Crispim, por todo apoio, pela ajuda nos finais de semana e feriados, enfim, por ter assumido comigo, com muita sabedoria, todos os momentos difíceis durante este trabalho,

Aos meus pais, em especial a minha mãe Tereza Batista, que é o meu apoio, a maior incentivadora, a luz que me guia...

E a todos que de alguma forma enriqueceram os meus dias com sabedoria, alegria e amizade.

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Revegetação de áreas degradadas.....	3
2.2. Qualidade do solo.....	5
2.3. Indicadores de qualidade do solo.....	6
3. MATÉRIAS E MÉTODOS.....	9
3.1. Descrição da área.....	9
3.2. Delineamento experimental e tratamentos.....	11
3.3. Histórico da área experimental.....	12
3.4. Coleta do solo.....	12
3.5. Análises realizadas.....	12
3.5.1. Análise química do solo.....	12
3.5.2. Análise microbiológica do solo.....	13
3.6. Análise estatística.....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4.1. Atividade microbiana total pelo método da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA).....	15
4.2. Respiração do solo.....	18
4.3. Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares.....	20

4.4. Levantamento de espécies de fungos micorrízicos arbusculares.....	23
4.5. Carbono total do solo.....	25
4.6. Nitrogênio total do solo.....	27
4.7. Relação Carbono:Nitrogênio do solo.....	29
4.8. Teor de nutrientes e pH do solo.....	31
5. RESUMO E CONCLUSÃO.....	34
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

RESUMO

BATISTA, Quíssila Renata; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Setembro de 2006; Qualidade química e biológica de uma área degradada pela extração de argila, revegetada com *Eucalyptus* spp. e sabiá em plantios puros e consorciados; Orientador: Prof. Marco Antonio Martins; Co-orientadora: Prof^a Marta Simone Mendonça Freitas.

Conduziu-se um experimento com objetivo de avaliar a qualidade química e biológica de um solo degradado e revegetado com espécies de *Eucalyptus* spp. e sabiá em plantios puros e consorciados. Utilizou-se como indicadores de qualidade biológica a atividade microbiana total, avaliada pelo método enzimático da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) e pela respiração; e, diversidade de fungos micorrizicos arbusculares (FMAs). Para avaliar a qualidade química do solo utilizou-se como indicador as características químicas do solo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com nove tratamentos + controle. Os tratamentos foram constituídos de plantios puros de sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*) e de quatro espécies de eucaliptos (*Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus robusta*) e de plantios consorciado de sabiá com as quatro espécies de eucalipto citadas, com quatro repetições. O tratamento controle foi uma área dentro da cava de extração de argila sem revegetação. A unidade experimental foi composta por parcelas com 36 plantas. Aos 36 meses, os solos com plantios puro de *E. pellita* e de sabiá apresentaram, em relação ao tratamento controle (sem vegetação),

maior atividade microbiana, tanto pelo método de FDA quanto pela respiração, maior diversidade de FMAs e maiores concentrações de nitrogênio. A atividade microbiana do solo, tanto pelo método de FDA quanto pela respiração, foi maior no sistema de plantio consorciado de *E. pellita* com sabiá quando comparado com o tratamento controle. Verificou-se maior número de espécies de FMAs dos gêneros *Glomus* e *Acaulospora* em todos os sistemas de plantio, sendo que no controle só foi encontrada a espécie *Glomus macrocarpum*. O teor de carbono e o pH do solo foi menor no tratamento controle (sem vegetação). Os teores de P no solo foram maiores no consórcio de *E. pellita* com sabiá e de *E. camaldulensis* com sabiá. O maior teor de K foi verificado no solo com plantio consorciado de *E. teriticornis* com sabiá. Em relação ao tratamento controle, os teores de Ca foram maiores nos solos com plantios puros de *E. teriticornis* e de *E. robusta* e no sistema consorciado de *E. camaldulensis* com sabiá e os teores de Mg não diferiram entre os tratamentos.

ABSTRACT

BATISTA, Quíssila Renata; M.Sc.; State University of the North Fluminense Darcy Ribeiro; September of 2006; Chemical and biological quality of an degraded area by clay extraction, re-vegetate with *Eucalyptus* spp. and *Mimosa caesalpinifolia*, cultivated in single or inter-cropping plantings; Supervisor: Prof. Marco Antonio Martins; Co-supervisor: Prof^a Marta Simone Mendonça Freitas.

An experiment was carried out to evaluate the biological and chemical soil quality of a degraded area of clay extraction, after it has been re-vegetate with *Eucalyptus* spp. and *Mimosa caesalpinifolia*, cultivated in single or inter-cropping systems. It was used as soil biological quality indicators the total microbial activity, evaluated by enzymatic method of the hydrolize of the fluoresceína diacetato (FDA) and soil total respiration; and, the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). To evaluate the chemical quality it was used some chemical characteristics of the soil. The random blocks experimental design was used, with nine treatments + control. The treatments were constituted of single plantings of *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá) and of four species of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus robusta*) and intercropping plantings of sábia with the four eucalyptus species, with four repetitions. The control treatment (degraded soil without any re-vegetation) was an area inside of the digging of clay extraction, with four replicates. The experimental unit was composed by 36 plants. After 36 months, the soils with single plantings of *E. pellita* and sabiá presented, in relation to the control treatment (without vegetation), larger microbial activity,

evaluated by both the method of FDA and by total respiration, larger diversity of AMF and larger concentrations of nitrogen. The microbial soil activity, as much for the method of FDA as for the breathing, it was larger in intercropping plantings of *E. pellita* with sabiá, when compared with the control treatment. The AMF *Glomus* and *Acaulospora* were largest genus found in all treatments, however, in the control treatment it was found only the AMF species *Glomus macrocarpum*. The soil carbon concentrations and pH was smaller in the control treatment (without vegetation). The P concentrations in the soil were larger in the intercropping plantings between *E. pellita* and sabiá, and also between *E. camaldulensis* and sabiá. The largest soil K concentrations were verified in planting of *E. teriticornis* with sabiá. In relation to the control treatment, the Ca concentrations were larger in the soils with single plantings of *E. teriticornis* and *E. robusta* and in the intercropping planting of *E. camaldulensis* with sabiá, on the other hand, the concentrations of Mg were not affected by the treatments.

1. INTRODUÇÃO

Com a crise no setor sucroalcooleiro, na região Norte Fluminense, a atividade ceramista vem sendo considerada de grande importância sócio-econômica, principalmente para o município de Campos dos Goytacazes. Entretanto, essa atividade causa a degradação do solo, pois a extração da argila consiste na retirada de camadas do solo por retroescavadeira, dando origem à cavas 1 a 4 m de profundidade, consumindo um total de $5.700 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ de matéria-prima (Valicheski et al., 2004; Ramos et al., 2003), ocasionando alterações no solo e na paisagem.

Atividades antrópicas, como a extração da argila e a conseqüente remoção da cobertura vegetal, têm um forte impacto negativo na microbiota do solo, reduzindo o número de bactérias, fungos solubilizadores de fosfato e atividade microbiana do solo (Schiavo, 2005). Ocorre ainda, perdas de nutrientes, principalmente aqueles que têm sua dinâmica no sistema solo-planta relacionadas com fontes orgânicas, como fósforo, enxofre e nitrogênio, ocorrendo, portanto, uma profunda perda na fertilidade do solo.

Algumas áreas degradadas pela extração de argila no município de Campos dos Goytacazes-RJ estão sendo revegetadas com plantios puros e consorciados de essências florestais comerciais e leguminosas (Mendonça, 2006; Schiavo, 2005). A serrapilheira depositada na superfície do solo por essas espécies pode influenciar a atividade microbiana do solo e melhorar a qualidade desse solo.

A qualidade do solo tem despertado interesse devido a sua importância para a produtividade agrícola, qualidade ambiental e saúde humana e animal. Algumas definições da qualidade do solo estão descritas na literatura (Doran e Parkin, 1994; Persson e Otabbong, 1994), bem como sugestões de métodos e estratégias para sua caracterização (Knoepp et al., 2000; Torstensson, 1993).

Existem evidências de que parâmetros biológicos e microbiológicos, por serem aqueles que respondem mais rapidamente às ações antrópicas e climáticas, possam ser utilizados como indicadores dos processos de degradação/recuperação de solos (Costa e Siqueira, 2004; Zilli et al., 2003), possibilitando monitorar a qualidade de um determinado solo.

Alguns indicadores biológicos têm sido propostos para avaliar a qualidade do solo, como a estrutura da comunidade microbiana (Baath et al., 1998), a atividade microbiana (Gil-Sotres et al., 2005; Schloter et al., 2003; Arshad e Martin, 2002) e avaliação da população de fungos micorrízicos arbusculares (Dodd, 1999). O conteúdo enzimático tem sido também utilizado como indicador da qualidade biológica do solo (Paulucio e Martins, 2004; Costa e Siqueira, 2004; Wick et al., 1998). As enzimas apresentam grande potencial como indicadores da qualidade do solo por serem sensíveis às variações induzidas pelos fatores ambientais e de manejo, e os procedimentos de sua análise são relativamente simples e rápidos.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade química e biológica de um solo degradado e revegetado com espécies de *Eucalyptus* spp. e sabiá em plantios puros e consorciados. Utilizaram-se como indicadores de qualidade biológica a atividade microbiana total (avaliada pelo método enzimático da hidrólise do diacetato de fluoresceína e pela respiração) diversidade e densidade de fungos micorrízicos arbusculares. No caso da qualidade química utilizou-se como indicador as características químicas do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

1. Revegetação de áreas degradadas

Atividades antrópicas, como a extração da argila e a conseqüente remoção da cobertura vegetal, têm um forte impacto negativo na microbiota do solo, reduzindo o número de bactérias, fungos solubilizadores de fosfato e atividade microbiana do solo (Schiavo, 2005), além de ocorrer perdas de nutrientes, principalmente aqueles que têm sua dinâmica no sistema solo-planta relacionada com fontes orgânicas, como fósforo, enxofre e nitrogênio, ocorrendo, portanto uma profunda perda na fertilidade do solo. A vegetação influencia diferentemente a biomassa microbiana e, por isso, a sua eliminação ocasiona uma drástica queda da biomassa de carbono (Silveira et al., 2005; Campos et al., 1999).

A utilização de diferentes espécies de eucalipto em consórcio com leguminosas, na região Norte Fluminense, vem sendo utilizada como uma alternativa para recuperação do solo de cava de extração de argila (Paulino, 2003; Schiavo, 2005; Santiago, 2005; Mendonça, 2006), proporcionando aos agricultores da região a possibilidade de retomar as atividades agrícolas, como mostra o trabalho de Valicheski et al., (2004). Esses autores avaliaram três alternativas econômicas para serem implantadas em cavas de extração de argila e concluíram que a utilização de espécies de eucalipto foi a que proporcionou maior retorno financeiro, comparativamente a cana e a pastagem, ao proprietário rural.

Contudo, existem diferenças importantes entre espécies de eucaliptos e a relação destas com as propriedades do solo. Mendonça (2006), trabalhando com espécies de eucalipto, demonstrou que a espécie *E. camaldulensis* é moderadamente resistente à salinidade. Estudando a relação de plantio de eucalipto com atividade microbiana, Carvalho et al., (1997) verificaram menores atividades microbianas em Latossolo Vermelho Escuro sob eucalipto do que os cobertos com mata nativa. Os referidos autores justificaram esses resultados em consequência da síntese de substâncias tóxicas exudadas pelo eucalipto, que inibem o crescimento dos microrganismos.

O plantio de leguminosas fixadoras de N₂ atmosférico, como sabiá, em áreas degradadas, pode ser uma prática ecologicamente viável por favorecer o aumento da biodiversidade, intensificar a ciclagem de nutrientes e a eficiência de utilização dos recursos disponíveis às plantas (Paulino, 2003). O nitrogênio é um dos nutrientes mais limitantes ao crescimento de plantas, principalmente em solos pobres ou desprovidos de matéria orgânica (Souza e Silva 1996). Estudando diferentes espécies vegetais em terras degradadas, Paulino (2003) conclui que o estabelecimento e o desenvolvimento do sabiá em subsolo exposto foi maior quando comparado com eucalipto (*Corymbia citriodora*), e proporcionou a maior capacidade de cobertura e proteção do solo dentre outros benefícios. O sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) é uma espécie de ocorrência no nordeste, muito empregado como cerca viva. Segundo Lorenzi (1998), é uma espécie ideal para o reflorestamento destinado à recomposição de áreas degradadas por ser tolerante à luz direta e ter crescimento rápido.

Entretanto, a introdução desta espécie exige certo cuidado, pois pode acarretar algum tipo de impacto ecológico. Nesse sentido, Lopes e Piña-Rodrigues (2001) avaliaram o potencial alelopático do sabiá e concluíram que houve retardamento e inibição da germinação das sementes de ipê amarelo. Por isso, projetos de recuperação de áreas degradadas devem ser efetuados de forma cautelosa, com baixa densidade de plantas para evitar a dominância pelo sabiá.

2.2. Qualidade do solo

As práticas e os manejos inadequados têm levado os solos do mundo todo à degradação e conseqüentemente à perda de qualidade. Portanto, a perda de qualidade do solo, além de ser um componente a ele inerente, determinado por suas propriedades físicas, químicas e biológicas, dentro das restrições impostas pelo clima e o ecossistema, inclui um componente determinado pelas decisões de uso da terra (tipo de exploração) e práticas de manejo (modo de exploração) (Doran, 2000)

O conceito de qualidade do solo de acordo com Karlen et al., (1999) surgiu na década de 70 e durante os 10 anos seguintes esteve muito ligado ao conceito de fertilidade. Durante este período acreditava-se que um solo quimicamente rico tinha alta qualidade e poderia sustentar a produção agrícola. No entanto, percebeu-se que não era suficiente o solo ter alta fertilidade, era necessário à estruturação e alta diversidade de microrganismos (Zilli et al., 2003).

Diversidade é a variedade de espécies em um ecossistema, assim como a variabilidade genética dentro de uma mesma espécie. A diversidade biológica, ou biodiversidade pode ser também definida como riqueza da porção viva do ecossistema que se reflete na variedade de espécies e nas intrincadas inter-relações dos processos biológicos que ocorrem nos vários biomas, isto significa que uma elevada diversidade de espécies contribui para o uso mais eficiente dos recursos disponíveis (Totóla e Chaer, 2002).

Passados muitos anos, desde o primeiro conceito sobre a qualidade do solo ainda hoje este conceito tem despertado grande interesse devido a sua importância para a produtividade agrícola. Esse conceito tem se tornado cada vez mais amplo porque se refere ao equilíbrio entre os condicionantes físicos, químicos e biológicos do solo. Algumas definições da qualidade do solo estão descritas na literatura, Doran e Parkin (1994) sugerem que a qualidade do solo deve ser como “a capacidade, de um dado solo, funcionar no ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde do animal e da planta”.

Os solos exercem uma apreciável influência sobre o tipo de comunidade vegetal presente numa dada localidade. Reciprocamente a vegetação influencia as propriedades do solo, tanto de maneira direta, através de suprimento com matéria orgânica, quanto por um número de outras diferentes vias. Além da natureza do substrato geológico, outras características do solo, tais como o pH,

têm efeitos diretos na disponibilidade em elementos essenciais e não essenciais para a planta. Muitos elementos são mais solúveis em solos ácidos do que em solos de pH mais elevado (Haag, 1985).

A maioria dos solos do Brasil é ácido e pobre em nutrientes para o crescimento das principais culturas. Assim, a fertilidade natural dos solos é baixa e não há reservas de nutrientes suficientes para sustentar produtividades ótimas destas culturas. Os principais componentes do solo incluem minerais inorgânicos dos tamanhos: areia, silte e argila; formas estáveis da matéria orgânica derivadas da decomposição pela biota do solo, organismos vivos como minhocas, insetos, bactérias, fungos, algas e nematóides e gases como O₂, CO₂, N₂ (Araújo, 2005).

O monitoramento da diversidade biológica em um ecossistema pode servir como critério para detectar alterações ambientais. Essa informação pode também contribuir para o estabelecimento de uma relação mais confiável entre diversidade e sustentabilidade, na medida em que se possa definir qual o mínimo de diversidade capaz de ainda permitir o funcionamento dos ciclos dentro do ecossistema (Totóla e Chaer, 2002).

2.3. Indicadores da qualidade do solo

De acordo com Dumanski e Pieri (2000), a base científica que respalda a busca por indicadores de qualidade do solo é a compreensão de indicadores estarem direcionados para a avaliação e monitoramento das condições do solo que o tornam um corpo vivo.

Existem evidências de que parâmetros biológicos e microbiológicos, por serem aqueles que respondem mais rapidamente às ações antrópicas e climáticas, possam ser utilizados como indicadores dos processos de degradação/recuperação de solos (Costa e Siqueira, 2004; Zilli et al., 2003), possibilitando monitorar a qualidade de um determinado solo.

Bendinga et al., (2004) estudando parâmetros bioquímicos e biológicos para avaliar a qualidade de uma área de cultivo orgânico e convencional, demonstraram que os parâmetros bioquímicos e biológicos podem fornecer indicações contrastantes da qualidade do solo. Esses autores observaram que quando os parâmetros bioquímicos mostravam diferenças entre as áreas, não havia nenhuma consistência na separação das diferentes áreas, e nenhuma

diferença conclusiva foi observada em alguns dos parâmetros testados entre o cultivo orgânico e o convencional. Entretanto, as análises microbiológicas mostravam as diferenças, geralmente, no tamanho, na estrutura e na funcionalidade das comunidades microbianas entre as áreas de plantio convencional e orgânico. Portanto, os parâmetros microbiológicos podem ser mais eficazes como indicadores das mudanças da qualidade do solo em relação aos parâmetros bioquímicos.

Alguns indicadores biológicos têm sido propostos para avaliar a qualidade do solo, como a estrutura da comunidade microbiana (Baath et al., 1998), a atividade microbiana (Gil-Sotres et al., 2005; Schloter et al., 2003; Arshad e Martin, 2002; Pell et al., 1998; Stenstrom et al., 1998) e a avaliação da população de fungos micorrízicos arbusculares (Dodd, 1999).

A respiração, que é um dos métodos mais antigos para quantificar a atividade microbiana, em conjunto com a biomassa microbiana gera o quociente metabólico (qCO_2) um índice muito utilizado em ecologia microbiana (Moreira e Siqueira, 2002). Elevada taxa respiratória indica alta atividade biológica, podendo ser uma característica desejável, uma vez que pode significar transformação rápida de resíduos orgânicos em nutrientes disponíveis para as plantas. Entretanto, a qualidade do substrato pode afetar a respiração microbiana (Wang et. al., 2003). Alguns autores (Parkin et. al., 1996; Penã et al., 2005; Silveira et. al., 2006) avaliaram a respiração microbiana como indicador de qualidade do solo em ecossistema florestal e em solos de áreas degradadas e concluíram que a respiração microbiana seria um bom indicador microbiológico para caracterizar qualidade desses solos.

O conteúdo enzimático tem sido também utilizado como indicador da qualidade biológica do solo (Paulucio e Martins, 2004; Costa e Siqueira, 2004; Wick et. al., 1998). As enzimas apresentam grande potencial como indicadores da qualidade do solo, por estas serem sensíveis às variações induzidas pelos fatores ambientais e de manejo, e os procedimentos de sua análise são relativamente simples e rápidos.

A hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) pode ser realizada por um número diferente de enzimas como proteases, lípases e esterases. A atividade enzimática no solo pode catalisar inúmeras reações necessárias ao ciclo de vida dos microrganismos, na decomposição de resíduos orgânicos durante o ciclo de

nutrientes e na formação da matéria orgânica e estrutura do solo (Burns, 1978). Geralmente mais de 90% do fluxo de energia no solo passa através de decompositores microbiológicos e, portanto, uma análise que mede a atividade desses microrganismos fornecerá uma boa estimativa da atividade microbiológica total (Ghini et al., 1998).

Avaliando a atividade microbiológica pelo método FDA, em um solo submetido ao reflorestamento com espécies nativas, espécies exóticas, não reflorestado e solo da mata atlântica como referência, Silva et al., (2004) concluíram que esse método foi eficiente como bioindicador da qualidade do solo, onde o melhor tratamento para recuperação da vida biológica dos solos degradados foi o reflorestamento com espécies nativas.

Paulucio e Martins (2004), estudando a atividade microbiana, em cavas de extração de argila revegetada com diferentes espécies de eucalipto e leguminosas arbóreas micorrizadas, pelo método do FDA, verificou aumento na atividade microbiana total e, portanto, proporcionou melhoria na qualidade biológica do solo, quando comparadas com o tratamento controle (solo degradado sem ser revegetado).

O método da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) tem sido correlacionado positivamente com a respiração do solo (Monteiro, 2000). Entretanto, Carvalho (2005) não verificou correlação entre os dois métodos de avaliação da atividade microbiana.

O papel dos fungos micorrízicos arbusculares em incrementar a capacidade de absorção de nutrientes (Smith e Read, 1997; Bressan et al., 2001; Freitas et al., 2006), melhorar as relações hídricas das plantas (Augé, 2001) e contribuir para o desenvolvimento vegetal ainda em condições adversas do ambiente, tem conduzido à utilização da associação micorrízica na reabilitação de áreas degradadas (Caproni, 2003; Schiavo, 2005). As associações micorrízicas e suas interações com outros organismos do solo provocam diferentes impactos sobre os processos dos ecossistemas e sobre a composição das comunidades vegetais. A avaliação das populações dos fungos micorrízicos arbusculares e suas funções dentro dos ecossistemas podem ser utilizadas para monitorar o impacto ecológico de diferentes práticas de manejo (Dodd, 1999).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Descrição da área

O trabalho foi realizado em uma cava de 1,5 ha, no município de Campos do Goytacazes-RJ, no distrito de Campo Limpo (21°51'34.6" S, 41°14'53.0 W, 11 m de altitude) (Figura 1).

No período de janeiro de 1997 a agosto de 1998, a área estava sendo utilizada para plantio de cana-de-açúcar. Anteriormente estava sem vegetação. A camada de 0-20 cm do solo foi retirada e acumulada, e em seguida as atividades de extração começaram. Depois de retirada a camada de interesse cerâmico, a camada superficial, foi distribuída na cava. A profundidade da cava está em torno de 1,5 m (Figura 2). O solo original da área da cava em estudo é um Cambissolo Háplico Sódico Gleico Salino, com profundidade do lençol de 3,2 m (Valischeski, 2004).

A área foi revegetada em maio de 2003 com as espécies: *Eucalyptus camaldulensis*, *pellita*, *tereticornis*, *robusta*, *Mimosa caesalpinifolia*, *Eucalyptus camaldulensis* + *Mimosa*, *pellita* + *Mimosa*, *tereticornis* + *Mimosa*, *robusta* + *Mimosa* (Figura 3).

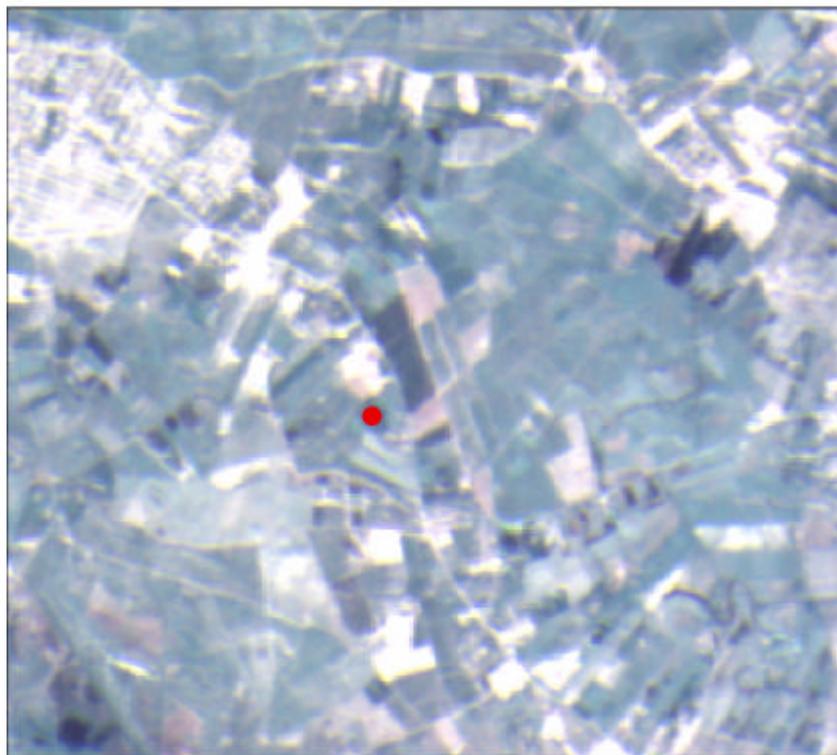


Figura 1. Localização da área realizada com GPS.



Figura 2. Cava de extração de argila no distrito de Campo Limpo.

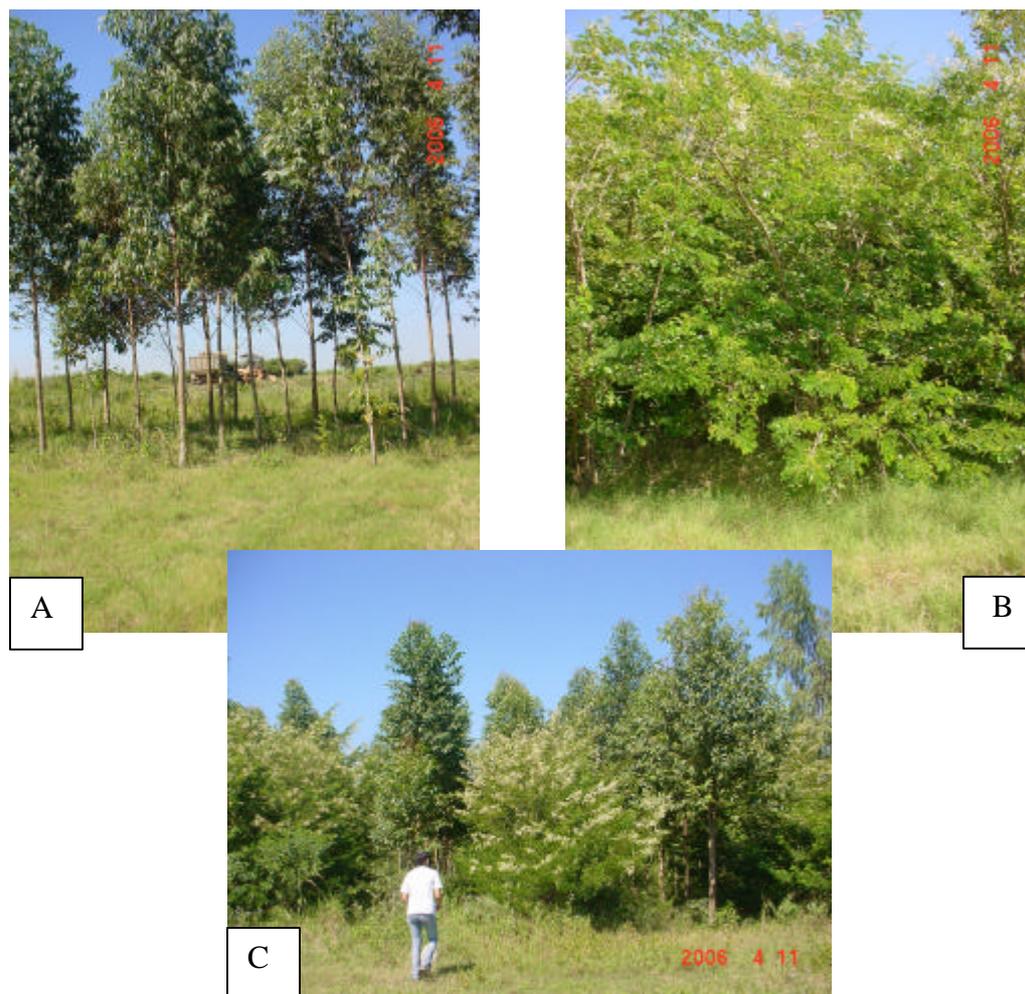


Figura 3. Cava revegetada com *Eucalyptus* spp. (A), sabiá (B) e consórcio de *Eucalyptus* spp com sábia (C).

3.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com nove tratamentos + controle. Os tratamentos foram constituídos de plantios puros de sábia (*Mimosa caesalpiniiifolia*) e de quatro espécies de eucaliptos (*Eucalyptus camaldulensis*, *pellita*, *tereticornis*, *robusta*) e de plantios consorciados de sabiá com as quatro espécies de eucalipto citadas, com quatro repetições. A unidade experimental foi composta por parcelas com 36 plantas. O tratamento controle foi uma área dentro da cava de extração de argila sem revegetação.

3.3. Histórico da área experimental

Um mês antes da implantação do experimento e durante o primeiro ano, foi realizado o controle de formigas cortadeiras com iscas granuladas. O solo foi gradeado e o plantio realizado em covas de 20 cm de profundidade, no espaçamento 3 x 2 m; não foram realizadas adubações de plantio e de cobertura. O solo, no momento da instalação do experimento, estava com as seguintes características: $5,97 \pm 0,03$ de pH; $58,5 \pm 8,19$ mg Kg⁻¹ de P; $2,62 \pm 0,14$ de H +Al; $7,21 \pm 0,38$ cmolc dm⁻³ de Ca; $4,94 \pm 0,15$ cmol dm⁻³ de Mg; $0,14 \pm 0,01$ cmolc dm⁻³ de K ; $2,11 \pm 0,16$ cmolc dm⁻³ de Na ; 40 % de argila (Mendonça, 2006).

Para controlar a competição com a vegetação espontânea, foi realizado coroamento de todas as mudas no primeiro ano de plantio. Aos 12 e 24 meses, foram realizadas podas nas plantas de sábia, sendo o material espalhado entre as linhas de plantio. A poda foi conduzida no sentido de preservar as hastes retilíneas de interesse econômico, ficando de uma a três hastes por planta, das quais foram retirados todos os galhos (Mendonça, 2006).

3.4. Coleta do solo

As amostras de solo foram coletadas em março de 2006, ou seja, 34 meses após o plantio, na profundidade de 0-10 cm na entre linha. Foram coletadas 16 amostras simples de cada parcela, para formar uma amostra composta. As amostras de solo foram armazenadas em câmara fria, a 4°C, para posterior realização das análises.

3.5. Análises realizadas

3.5.1. Análises químicas do solo

Foram realizadas as seguintes análises químicas do solo: pH em água, (solo: água = 1:2,5); fósforo disponível, extraído com solução de Mehlich I (HCl 0,05M + H₂SO₄ 0,0125M) na relação solo: solução 1:10 e determinado por colorimetria; potássio extraído com solução de Mehlich I e determinado por fotometria de chama; cálcio e magnésio trocáveis, extraídos com KCl 1M na

relação solo:solução 1:10 e determinados pelo método de espectrofotometria de absorção atômica (EMBRAPA, 1997).

O carbono e o nitrogênio foram determinados via combustão seca, utilizando o analisador simultâneo CHN/S modelo PE 2400-II, da marca PERKYN ELMER.

3.5.2. Análises microbiológicas do solo

Foi determinada a atividade microbiana do solo, pelo método de respiração do solo e através da atividade enzimática. A respiração do solo foi estimada pela quantidade de CO₂ liberado pela respiração e capturado com NaOH. O cálculo foi baseado na diferença entre o volume de HCl consumido pelas amostras e pelo “branco” e os resultados foram expressos em μg de CO₂ g de solo⁻¹ dia⁻¹ (Anderson, 1982). Para a atividade enzimática, o método utilizado foi o da hidrólise do diacetato de fluoresceína, que se baseia em estimar a fluoresceína no solo tratado com solução de diacetato de fluoresceína e incubado a 24°C (Chen et al., 1988).

A determinação do número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares foi realizada em amostras de 50 cm³ de solo, previamente seca à sombra. As extrações dos esporos dos FMAs foram realizadas seguindo a técnica de peneiramento úmido (Gerdemann e Nicolson, 1963), utilizando peneiras com malhas de 38 μm , seguido por centrifugação em água e posteriormente em sacarose. Após a contagem, os esporos foram transferidos para uma placa de Petri e uma quarta parte do total dos esporos foi separada aleatoriamente. Estes foram agrupados pelas características de tamanho, cor e forma, e colocados em lâminas com álcool polivinil em lactoglicerol (PVLG) sob uma lamínula. Na mesma lâmina, um segundo grupo de esporos foi montado com reagente de Melzer e quebrados delicadamente, sob uma lamínula, para exposição das paredes internas. Os resultados da reação de cor ao reagente de Melzer foram utilizados para caracterizar as paredes dos esporos, melhorando, em alguns casos, a visibilidade, especialmente daqueles esporos com paredes aderentes ou muito finas.

A identificação das espécies de FMA das amostras coletadas em campo foi feita segundo Schenck e Perez (1988) e procedimentos obtidos da *home page*

da coleção internacional de FMA <http://invan.caf.wwu.edu/>. As observações foram feitas em microscópio ótico com iluminação de campo-claro e objetiva de imersão. Os esporos foram identificados de acordo com a análise morfológica clássica. Os caracteres taxonômicos incluíram número e tipo de camadas das paredes dos esporos e sua reação ao reagente de Melzer; características das paredes internas, quando presentes; morfologia da hifa de sustentação do esporo; e variação da cor e tamanho dos esporos. A identificação das espécies foi realizada na EMBRAPA AGROBIOLOGIA - RJ.

3.6. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e a comparação entre médias dos tratamentos pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas com auxílio do programa SANEST, desenvolvido pelo CIAGRI/USP.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Atividade microbiana total pelo método da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)

A atividade microbiana do solo, determinada pelo método FDA, foi maior nos solos com plantios puros de *E. pellita* e de sabiá e nos consórcios de *E. pellita* com sabiá, de *E. camaldulensis* com sabiá e de *E. robusta* com sabiá e menor nos solos do tratamento controle e com plantio de *E. teriticornis* (Figura 1). Em relação ao tratamento controle (solo degradado sem ser revegetado), os tratamentos com *E. pellita*, sabiá, *E. pellita* com sabiá, *E. camaldulensis* com sabiá e *E. robusta* com sabiá, promoveram aumentos na atividade microbiana do solo em 139, 88, 81, 97 e 111%, respectivamente.

Um parâmetro adequado para avaliar a qualidade do solo é através da atividade microbiana. Um dos métodos para avaliar a atividade microbiana do solo é a hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA), que mede a atividade específica de proteases, lipases e esterases (atividade hidrolítica), que são capazes de hidrolizar o diacetato de fluoresceína (FDA). Esta atividade hidrolítica pode ser catalisada por bactérias, fungos, algas e protozoários especialmente na superfície do solo (Pereira et al., 2000). Geralmente mais de 90% do fluxo de energia no solo passa através de decompositores microbiológicos e, portanto, uma análise que mede a atividade desses microrganismos fornecerá uma boa estimativa da atividade microbiológica total (Ghini et al., 1998).

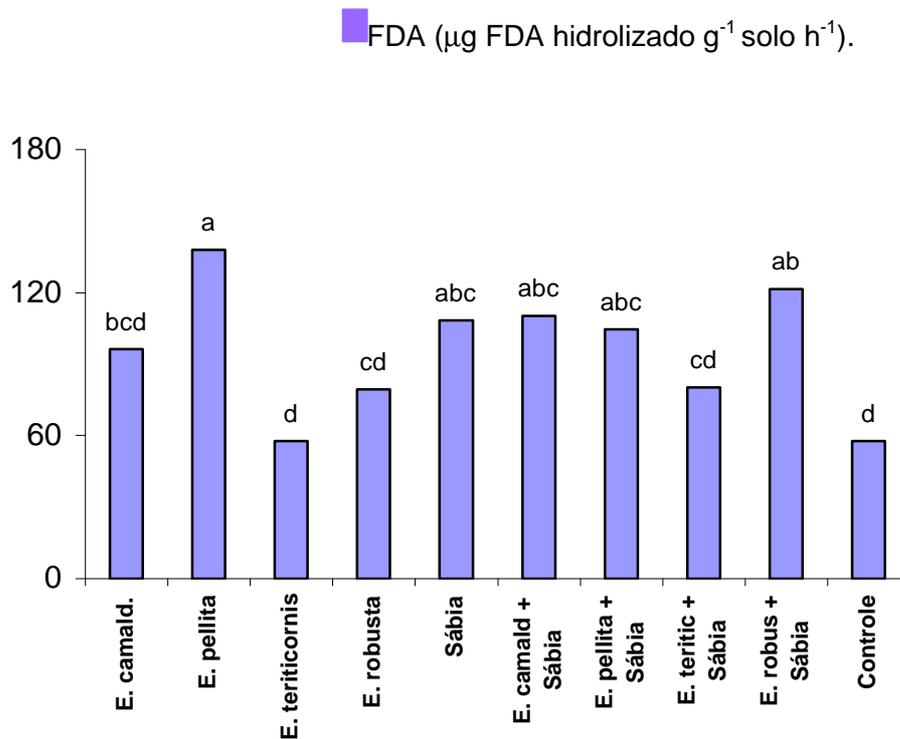


Figura 1. Atividade microbiana em amostras de solo revegetadas por *Eucalyptus* spp. e sabiá em plantio puro e consorciado. Letras iguais, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Médias de 4 repetições.

O teor da matéria vegetal pode proporcionar ao solo um teor elevado de matéria orgânica e, desta forma, tende a manter a população microbiana mais estável ao longo do ano, provavelmente, em decorrência da riqueza de nichos ecológicos, pela heterogeneidade das fontes de carbono (De Fede et al., 2001; Grayston et al., 2001).

Os sistemas de plantio puro com eucalipto, com exceção do *E. pellita*, apresentaram baixos índices de hidrólise, ou seja, baixa atividade microbiana. O eucalipto é reconhecidamente rico em tanino, reconhecido antimicrobiano, que se distribui nas folhas, nos frutos, nas sementes e, em maior concentração, no cerne e na casca, existindo a possibilidade do efeito inibidor secretado pela vegetação de eucalipto sobre os microrganismos (Mori, 2000). Estudando a relação do plantio de eucalipto com atividade microbiana, Carvalho et al., (1997) verificaram menores atividades microbianas em Latossolo Vermelho Escuro sob eucalipto do

que os cobertos com mata nativa. Os referidos autores justificaram esses resultados em consequência da síntese de substâncias tóxicas exudadas nas raízes, pelo eucalipto, que inibem o crescimento dos microrganismos.

Estudo realizado por Pereira et al., (2000), com algumas espécies de eucalipto, demonstra que o *E. pellita* tem concentrações de lignina mais baixa do que *E. tereticornis*, 29,4% e 32,7%, respectivamente, assim como menores concentrações de polissacarídeos de difícil hidrólise, 42,2% e 45,1%, respectivamente. Altos índices de polissacarídeos de fácil hidrólise foram observados para *E. pellita*, quando comparado com *E. tereticornis*. Portanto, vários fatores podem interferir na comunidade microbiana, dentre eles, o material proveniente de cada espécie vegetal.

Alguns trabalhos demonstram que o método do diacetato de fluoresceína (FDA) pode ser um bom bioindicador da qualidade do solo. Nesse sentido, Silva Júnior et al., (2004) determinaram a atividade microbiológica, pelo método FDA, de um solo submetido ao reflorestamento com espécies nativas, espécies exóticas, não reflorestadas, e solo da mata atlântica (controle); e concluíram que esse método foi eficiente como bioindicador da qualidade do solo, onde o melhor tratamento para recuperação da vida biológica dos solos degradados foi o reflorestamento com espécies nativas. Este trabalho indica ainda que o solo não reflorestado apresentou exaustão biológica. Costa e Siqueira (2004) verificaram maior atividade microbiana total, pelo método do FDA, no tratamento com espécies nativas. Esses autores justificaram esses resultados por essas espécies apresentarem maior acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo. Ressalta-se que o tratamento com espécies nativas foi reflorestado com nove gêneros diferentes de árvores apresentando uma maior biodiversidade.

Paulucio e Martins (2004), estudando a atividade microbiana em cavas de extração de argila revegetada com diferentes espécies de eucalipto e leguminosas arbóreas micorrizadas, pelo método do FDA, verificou que a revegetação com espécies leguminosas e eucalipto, em povoamentos puros ou consorciados, aumentou a atividade microbiana total e, portanto, proporcionou melhoria na qualidade biológica do solo, quando comparadas com o tratamento controle (solo degradado sem ser revegetado).

Pereira et al., (2000) Investigando a atividade microbiana do solo do semi-árido cultivado com *Atriplex mummularia* Lindl., em áreas que receberam rejeito

salino, em comparação com um solo nativo (sem cultivo), observaram que a hidrólise do diacetato de fluoresceína pode ser usada como característica indicativa de alterações na atividade microbiana do solo.

4.2. Respiração microbiana do solo

Os resultados obtidos para respiração microbiana do solo variaram, entre os diferentes tratamentos, de 32 a 207 $\mu\text{g de CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Figura 2). Verificou-se que, em relação ao tratamento controle, a maior respiração microbiana do solo foi encontrada nos sistemas de plantio puro de *E. pellita* e sabiá e no consórcio de *E. pellita* com sabiá (Figura 2), com incrementos de 444, 357 e 237%, respectivamente.

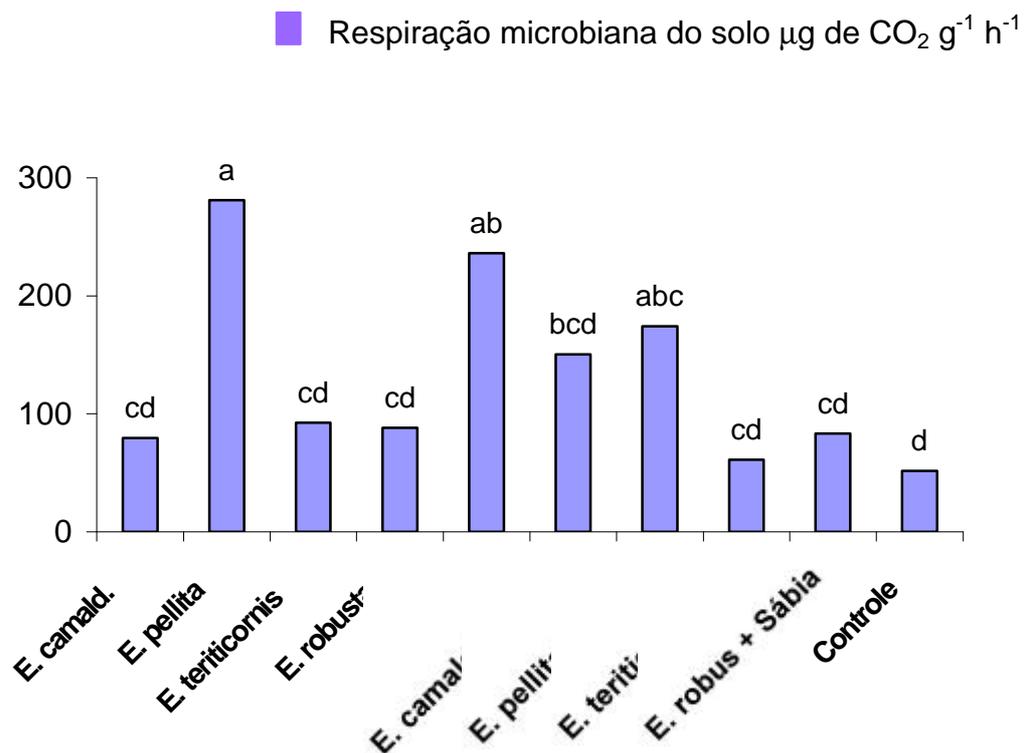


Figura 2. Respiração basal em amostras de solo revegetadas por *Eucalyptus* spp. e sabiá em plantio puro e consorciado. Letras iguais, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Médias de 4 repetições.

A respiração basal do solo é o indicador da qualidade do carbono orgânico disponível aos microrganismos heterotróficos. Quanto maior a

quantidade de CO₂ liberada por unidade de peso, maior a quantidade de substrato assimilável para o desenvolvimento da biomassa microbiana (Sala, 2002). Elevada taxa respiratória indica alta atividade biológica, podendo ser uma característica desejável, uma vez que pode significar transformação rápida de resíduos orgânicos em nutrientes disponíveis para as plantas. Entretanto, a qualidade do substrato pode afetar a respiração microbiana (Wang et al., 2004). O fluxo de CO₂ pode ser limitado pela qualidade do substrato mais do que pela magnitude da biomassa microbiana, por isso a avaliação de diversos indicadores relacionados à atividade dos microorganismos permite uma melhor compreensão dos processos que ocorrem no solo (Villatoro, 2004).

Alguns autores (Parkin et al., 1996; Penã et al., 2005; Silveira et al., 2005) avaliaram a respiração microbiana como indicador de qualidade do solo em ecossistema florestal e em solos de áreas degradadas, e concluíram que a respiração microbiana seria um bom indicador microbiológico para caracterizar qualidade desses solos.

Carvalho (2005), comparando o incremento da serrapilheira em solos sob matas nativas, verificou que estas apresentaram baixos valores de respiração e altos valores de carbono na biomassa, isto evidencia que as comunidades microbianas perdem menos carbono na forma de CO₂, através da respiração, e que uma fração significativa de carbono estava sendo incorporada na constituição da biomassa microbiana. Odum (1983), também afirma que nas comunidades microbianas que se encontram num estágio de sucessão mais avançado, ocorre maior retenção e a conservação de nutrientes.

O método do diacetato de fluoresceína (FDA) tem sido correlacionado positivamente com a respiração do solo (Schnüner e Rosswal, 1982). Entretanto, Carvalho (2005) não verificou correlação entre os dois métodos de avaliação da atividade microbiana. No presente trabalho, apesar de não ter sido realizado correlação entre os métodos, alguns sistemas de plantio (*E. pellita*, sabiá e *E. pellita* + sabiá) com maior atividade microbiana, pelo método do FDA (Figura 1), também tiveram maior atividade biológica, demonstrado na Figura 2, pelo método da respiração basal. Os resultados de indicadores envolvendo a atividade microbiana do solo são, às vezes, difíceis de interpretar devido às múltiplas interações entre os componentes físicos e químicos do solo, à qualidade dos substratos de carbono disponíveis e às caracterizações da população microbiana,

assim como, pelas condições ambientais e de manejo que afetam os agroecossistemas (Wang et al., 2004).

Para melhor entendimento das variações apresentadas na Figura 2, é válido afirmar o conceito de policlimax, que diz ser impossível que todas as comunidades de uma dada região se desenvolvam por igual quando as condições do habitat físico não são uniformes e também, que a comunidade não pode remodelar todos os habitats até um nível comum dentro de um espaço razoável de tempo, medido pela duração de vida de uma pessoa (Odum, 1983). No presente estudo, as diferentes formas do uso da área antes da instalação do experimento, podem ter comprometido a homogeneidade de condições que são importantes ao crescimento da vegetação. Com o experimento tendo sido implantado há três anos, se comparado às matas implantadas há mais tempo, estes apresentam valores mais discrepantes de sobrevivência de espécies, como o *E. robusta* e *E. pellita*. A sobrevivência destas espécies foi verificada por Mendonça (2006). Contudo, diferenças na proteção do solo, cobertura vegetal, incidências de raios solares e diferenciação na conservação da umidade, permitem que esta área tenha maior vulnerabilidade.

4.3. Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs)

Através da análise de variância observou-se que a densidade de esporos de FMAs no solo foi influenciada pelos sistemas de plantio e os valores obtidos variaram de 303 a 1114 esporos 50 ml de solo (Figura 3). O maior número de esporos foi verificado no solo com plantio puro de *E. pellita*.

Os esporos são unidades biológicas em estado de quiescência que precisam ser ativados para desencadear os processos normais da atividade biológica celular e funções metabólicas que sustentam a sua germinação e crescimento subsequente das fases filamentosas. Não se conhece o mecanismo exato pelo qual os esporos dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são ativados (Moreira e Siqueira, 2002). Uma maneira de avaliar a ocorrência da micorrizas arbusculares é o isolamento e extração dos esporos dos FMAs do solo, para contagem e cálculo da densidade.

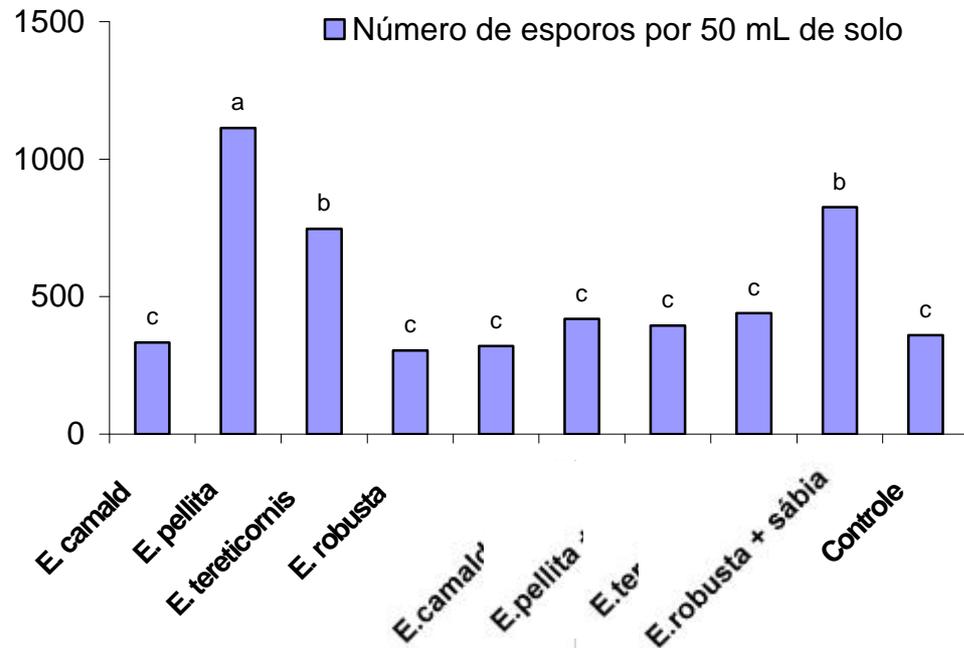


Figura 3. Densidade de esporos de FMAs encontrados em amostras de solo revegetadas por *Eucalyptus* spp. e sabiá em plantio puro e/ou consorciado. Letras iguais, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Médias de 4 repetições.

Embora, os resultados do presente trabalho demonstrem que, em relação ao tratamento controle, apenas três, dos sistemas de plantio, apresentaram maior densidades do número de esporos. Somente com estes resultados não se pode avaliar as contribuições dos fungos para a qualidade do solo. Welber et al., (2004), avaliando os efeitos da inoculação de FMAs nativo e exótico no crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas de cajueiro anão precoce, verificaram que *G. etunicatum* e *Scutellospora*, apresentaram maior e menor número de esporos, respectivamente, mas essas espécies contribuíram igualmente para o incremento do diâmetro do caule e da biomassa da parte área do cajueiro. Portanto, a quantidade de esporos não influenciou no crescimento das plantas. Da mesma forma, a capacidade infectiva dos fungos micorrízicos arbusculares não está relacionada com a densidade de propágulo ou número de esporos (Caproni et al., 2003).

4.4. Levantamento de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs)

Foram observados 18 morfotipos de esporos nos diferentes sistemas de plantio, dos quais 9 foram identificados em nível de espécie e 9 no nível de gênero. A maior diversidade de espécies foi observada nos plantios puro de *E. pellita* e sabiá e nos plantios consorciados de *E. tereticornis* com sabiá e *E. robusta* com sabiá. A espécie *Glomus tortuosum* foi verificada em todos os sistemas de plantio puro e consorciado, com exceção o sistema sem vegetação (Tabela 1).

O cultivo do solo causa modificações na estruturação das comunidades fúngicas, alterando a distribuição e dominância das espécies. Isto ocorre devido às alterações bióticas e abióticas do ambiente edáfico, como modificação na vegetação (raízes) e nas propriedades químicas do solo, especialmente da acidez e disponibilidade de nutrientes; portanto, a riqueza dos fungos FMAs varia muito, sendo encontrado de 2 a 33 espécies por ecossistema (Moreira e Siqueira, 2002). Considerando que os sistemas de plantio estão sob as mesmas condições de clima e tipo de solo, propõe-se que os diferentes tipos de plantio estejam proporcionando diferentes comunidades de fungos micorrízicos arbusculares.

As plantas são bem conhecidas pela capacidade de produzir uma enorme variedade de substâncias bioativas, conhecidas como aleloquímicos (Ferreira e Áquila, 2000). O gênero *Eucalyptus* tem várias espécies consideradas alelopáticas, pelo menos em potencial, como por exemplo, a espécie *E. camaldulensis*, que libera os seguintes aleloquímicos, 1,8 cineol; pireno; terpenos e fenóis; ácidos gálico, ferúlico, caféico e a espécie *E. tereticornis* que libera fenóis e terpenos. O sabiá também tem um potencial alelopático confirmado por Pina-Rodrigues e Lopes (2001). Estes compostos podem atuar como inibidores ou estimuladores da micorrização e interferirem na ocorrência dos FMAs (Moreira e Siqueira, 2002) talvez fosse a explicação para as diferenças entre os sistemas de plantio observado no presente trabalho.

Observa-se que na área sem vegetação (controle) só foi encontrada a espécie *Glomus macrocarpum* (Tabela 1). A ausência da vegetação no solo reduz ou elimina os FMAs, pois esses fungos são biotróficos obrigatórios e por isso dependem do C da fotossíntese para sobreviverem por longos períodos no solo (Moreira e Siqueira, 2002).

Tabela 1. Espécies de fungos micorrízicos identificados em amostras de solo revegetadas por *Eucalyptus* spp. e sabiá em plantio puro e/ou consorciado .

Tratamento	Espécies de fungos micorrízicos arbusculares
<i>E. camaldulensis</i>	<i>Acaulospora foveata</i> e <i>Glomus tortuosum</i>
<i>E. pellita</i>	<i>Glomus tortuosum</i> , <i>Acaulospora</i> sp. 1, <i>Glomus etunicatum</i> , <i>Glomus geosporum</i> , <i>Acaulospora</i> sp 2, <i>Acaulospora</i> sp 3 e <i>Acaulospora mellea</i>
<i>E. tereticornis</i>	<i>Glomus tortuosum</i> , <i>Acaulospora mellea</i> e <i>Sclerocystis</i> sp.
<i>E. robusta</i>	<i>Acaulospora mellea</i> , <i>Glomus tortuosum</i> , <i>Scutellospora</i> sp. 1 e <i>Glomus geosporum</i>
Sabiá	<i>Scutellospora</i> sp. 2, <i>Archaeospora leptoticha</i> , <i>Glomus tortuosum</i> , <i>Acaulospora</i> sp., <i>Glomus</i> sp. 2 e <i>Acaulospora mellea</i>
<i>E. camaldulensis</i> + Sabiá	<i>Glomus tortuosum</i> , <i>Glomus geosporum</i> , <i>Glomus</i> sp e <i>Acaulospora</i> sp.
<i>E. pellita</i> + Sabiá	<i>Glomus microagregatum</i> , <i>G.tortuosum</i> , <i>G.geosporum</i> , <i>Acaulospora mellea</i> , <i>Acaulospora foveata</i> , <i>Sclerocystis</i> sp. e <i>Glomus macrocarpum</i>
<i>E. teriticornis</i> + Sabiá	<i>Glomus tortuosum</i> , <i>Acaulospora mellea</i> , <i>Glomus macrocarpum</i> , <i>Entrophospora kentinensis</i> , <i>Glomus</i> sp e <i>Acaulospora</i> sp. 2
<i>E. robusta</i> + Sabiá	<i>Glomus tortuosum</i> ,, <i>Glomus macrocarpum</i> , <i>Sclerocystis</i> sp. 1, e <i>Acaulospora mellea</i>
Controle	<i>Glomus macrocarpum</i>

Foi verificada a ocorrência do *Glomus macrocarpum* nos diferentes tratamentos e também no controle (sem vegetação), como mostra a Tabela 1. Sua presença foi observada sob diferentes sistemas de plantio, mesmo com teores de fósforo (P) e pH diferenciados. Caproni et al. (2004) também observaram que essa espécie de fungo apresentou infectividade muito rápida indicando alto potencial infectivo, altas concentrações de propágulos, e maior número de esporos, independente das condições do substrato, presente em todos os substratos estudados.

Os gêneros *Glomus* e *Acaulospora* tiveram maior número de espécies e foram os mais comuns em todos os sistemas de plantio (Tabela 1). A predominância desses gêneros nesse trabalho confirma o amplo padrão de distribuição desses gêneros observados por outros autores, tanto em ecossistemas naturais como em agrossistemas (Zhao et al, 2001; França, 2000; Silva, 2004, Freitas et al., 2006). Segundo Silva Júnior (2004) esses padrões de distribuição seriam um indicativo de que esses gêneros apresentam uma alta capacidade adaptativa a faixas amplas de condições ambientais.

A coleta do experimento foi no período mais úmido do ano, com alta frequência do gênero *Acaulospora* sp. Entretanto, estudando a dinâmica dos FMAs nativos e sua contribuição no estabelecimento e crescimento de plantas em áreas degradadas de cerrado com utilização de calcário, Martins et al. (2004) observaram que o gênero *Acaulospora* sp. ocorreu apenas no período seco e que também esteve presente em todos os tratamentos. Portanto, a variabilidade na população dos FMAs nativos em áreas degradadas pode estar relacionada à variação sazonal e também às variações da cobertura vegetal que afeta diretamente a multiplicação dos fungos.

Uma elevada diversidade de espécies contribui para o uso mais eficiente dos recursos disponíveis, e em ambientes como o solo, sujeitos a flutuações, o estabelecimento de uma condição ambiental desfavorável poderia resultar na inibição de algumas populações que desempenham papéis vitais dentro de uma comunidade. Nesse caso, a existência de populações que desempenham um mesmo papel funcional, mas que possuem diferentes exigências em relação aos fatores físicos, químicos e biológicos, ou seja, a redundância funcional, assegura que essas funções vitais sejam desempenhadas independentemente de variações no ambiente (Totóla e Chaer, 2002). Dessa forma, a diversidade microbiana possibilita que um solo saudável se recupere de um fator estressante mesmo que parte da comunidade microbiana seja eliminada (Beare et al., 1995).

Welber et al. (2004) avaliaram os efeitos da inoculação de FMAs nativos e da adubação fosfatada no crescimento e no acúmulo de nutrientes em mudas de cajueiro-anão-precoce, os FMAs nativos, *G.etunicatum*, *Scutellospora*, *G. glomerulatum*, *Acaulospora foveata* (mistura A) e *G.etunicatum*, *Scutellospora*, *Entrophospora* (mistura B) proporcionaram respectivamente, maior e menor incremento da biomassa seca e diâmetro do caule. No entanto, no presente

estudo ocorreram, naturalmente, espécies convivendo juntas como *Glomus etunicatum*, *Acaulospora foveata*, *Scutellospora*, sob diferentes espécies vegetais podendo estar relacionadas às altas contribuições dadas ao solo degradado com aumento significativo na qualidade desse solo.

Observa-se que os sistemas de plantio puro de *E. pellita* e sabiá e o consórcio de *E. robusta* com sabiá tiveram a maior diversidade de fungos micorrízicos (Tabela 1) e também maior atividade microbiana pelo método da hidrólise de diacetato de fluoresceína (Figura 1). Segundo Zilli et al. (2003), diversidades desta natureza são importantes indicativos de qualidade do solo e Carvalho (2005) afirma que altos valores para hidrólise nos ecossistemas ocorrem devido a uma contribuição da rizosfera por meio da liberação de exsudados (principalmente glicose) que servirá de fonte de nutrientes para o desenvolvimento dos microrganismos.

4.5. Carbono total do solo

Todos os sistemas de plantio aumentaram o teor de carbono total no solo, com exceção do plantio puro de *E. camaldulensis* que não diferiu tanto do controle quanto dos outros tratamentos avaliados (Figura 4). Os teores de carbono variaram entre 4,8 a 22,6 g kg⁻¹, sendo o menor teor para o tratamento controle. Os resultados apresentados evidenciam que todos os sistemas de plantio aumentaram o estoque de matéria orgânica do solo favorecendo sua reabilitação. É provável que *E. camaldulensis*, que não provocou alterações significativas na quantidade de C do solo, produza serrapilheira com maior taxa de decomposição em relação aos outros tratamentos. Uma serrapilheira de mais fácil decomposição resulta em menor acúmulo de C no solo, considerando uma mesma granulometria, quando comparada à outra mais resistente a agentes decompositores (Gama-Rodrigues et al., 1999).

Alvarenga et al., (1999) estudando as alterações nos teores de carbono total, biomassa microbiana, estabilidade dos agregados do solo, colonização micorrízica e ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares de um solo sob cerrado, com diferentes sistemas de plantio, concluíram que os teores de carbono total foram maiores nas amostras de solo de cerrado natural (16,6 g kg⁻¹) e pasto

nativo ($15,4 \text{ g kg}^{-1}$), enquanto os menores valores foram encontrados no *E. camaldulensis* ($13,1 \text{ g kg}^{-1}$).

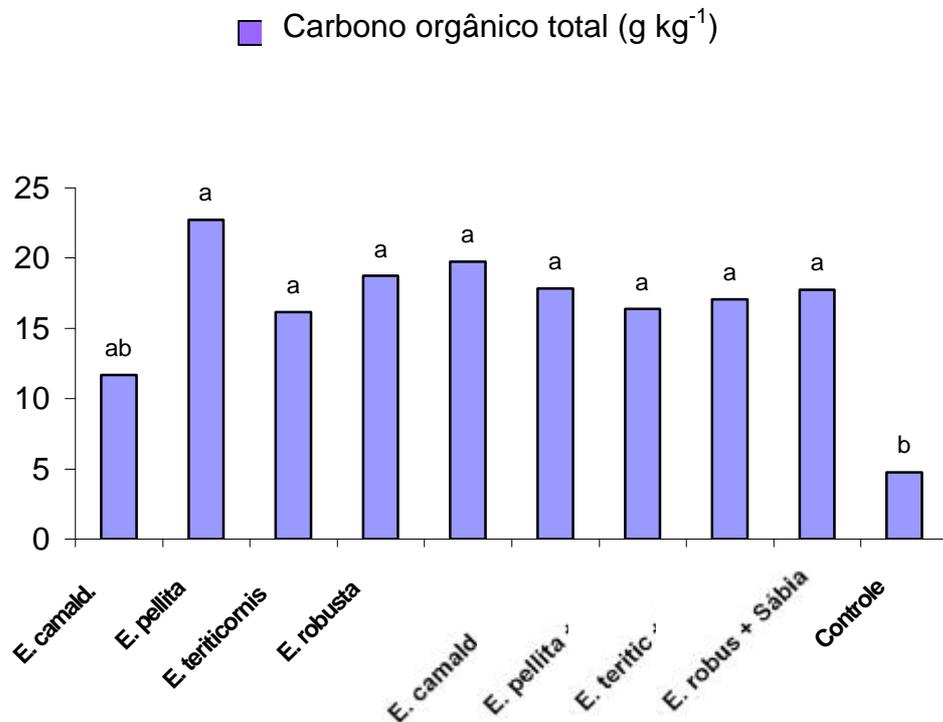


Figura 4. Carbono total em amostras de solo revegetadas por *Eucalyptus* spp. e sabiá em plantio puro e/ou consorciado. Letras iguais, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Médias de 4 repetições.

O teor de carbono do solo está relacionado com a quantidade de resíduos depositados e com a capacidade de retenção dos solos, além do manejo dos resíduos sobre o teor de matéria orgânica e de outros indicadores da qualidade do solo (Murage et al., 2000). A utilização de leguminosas fixadoras de N consorciadas com eucalipto pode melhorar as condições edáficas e aumentar, eventualmente, a produção total dos povoamentos. Plantios consorciados podem proporcionar melhorias na estrutura do solo, aumentar o teor de matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes, além de promover condições ecofisiológicas favoráveis ao crescimento das árvores (Gama-Rodrigues, 1997).

Bayer et al., (2003) avaliaram o efeito da introdução de leguminosas em sistemas de produção de milho nos estoques de carbono orgânico e concluíram que a inclusão de leguminosas intercalares ao milho proporcionou uma

recuperação parcial do estoque de matéria orgânica do solo, além do incremento na capacidade de troca de cátions.

Nos sistemas florestais, uma das várias funções dos resíduos orgânicos que se acumulam na superfície é a sua contribuição para a fertilidade química e biológica do solo. A quantidade e qualidade dos resíduos determinam em grande parte a magnitude das populações dos microrganismos e a sua eficiência para transformar a matéria orgânica (Villatoro, 2004).

Resultados encontrados neste estudo para as espécies de *E. tereticornis* corroboram com os de Mishra et al. (2003) que constataram incrementos no teor de C orgânico para o plantio puro de *E. tereticornis*, aos três anos de idade, numa profundidade de 0-10 cm, em solo sódico na Índia, tendo como referencia o solo de uma área improdutiva; e, para a espécie *E. camaldulensis*, Zinn et al. (2002) observaram que o solo em povoamento com essa espécie, localizado no norte de Minas Gerais, apresentou redução no teor de C na profundidade de 5 cm, quando comparado a uma área de cerrado nativo.

Schiavo (2005), com o objetivo de caracterizar a qualidade da matéria orgânica em cava de extração de argila com vegetação espontânea de gramínea e revegetada com *Acacia mangium*, observou que a substituição da vegetação espontânea pela *Acacia* promoveu alterações nas propriedades químicas do solo e na qualidade da matéria orgânica. Essa substituição aumentou o estoque de carbono do solo.

4.6. Nitrogênio do solo

Os sistemas de plantio puro de *E. pellita* e sabiá aumentaram o teor de nitrogênio no solo em relação ao tratamento controle (Figura 5), com aumentos de 202 e 165% para *E. pellita* e sabiá, respectivamente.

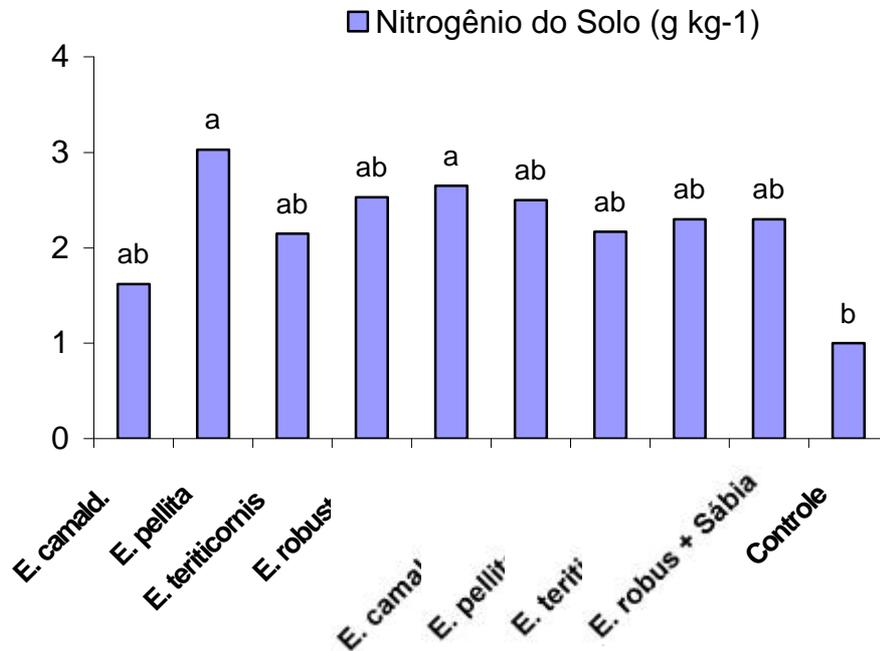


Figura 5. Teor de nitrogênio em amostras de solo revegetadas por *Eucalyptus* spp. e sabiá em plantio puro e consorciado. Letras iguais, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Médias de 4 repetições.

Solos de áreas degradadas apresentam de modo geral, baixa fertilidade e, conseqüentemente, para instalar uma atividade agrícola, faz-se necessário a utilização de um aporte nutricional, principalmente de nitrogênio. Segundo Pralon e Martins (2001), o sabiá é uma leguminosa arbórea capaz de estabelecer simbioses com rizóbios e fungos micorrízicos, conferindo-lhe grande potencialidade de se estabelecer em ambientes com limitações nutricionais e hídricas. Costa et al. (2006) observaram que num plantio de sabiá com seis anos de idade os principais nutrientes incorporados ao solo foram: N, C, P, K, Ca e Mg, com significativo aumento nas concentrações de C e N, evidenciando o potencial desta espécie para recuperação de solos degradados. Avaliando a deposição e a decomposição da serrapilheira em povoamento de *Mimosa caesalpinifolia*, *Acacia mangium* e *A. holosericea*, com quatro anos de idade, Andrade et al. (2000)

concluíram que, a serrapilheira produzida pelo sabiá foi a mais rica em nutrientes e a de maior velocidade de decomposição.

O nitrogênio é um elemento altamente requerido pelas plantas, rapidamente transformado pelos organismos do solo e facilmente mobilizado dentro do sistema solo-planta, é de esperar variações nos seus teores conforme os processos dinâmicos de sua transformação e utilização dentro do ecossistema vão ocorrendo. Assim, os teores de nitrogênio são afetados pelas mudanças micro-climáticas que influem na atividade dos microrganismos e, conseqüentemente, na mineralização da matéria orgânica (Tótola e Chaer, 2002).

Em solos de baixa fertilidade e com cobertura vegetal pobre em N, a taxa de decomposição da matéria orgânica é menor, propiciando a imobilização do N na biomassa microbiana. Nessa situação, a biomassa microbiana estaria representando um compartimento de reserva. No mesmo solo, com cobertura vegetal mais concentrada em N, a quantidade de N imobilizado pela biomassa microbiana seria menor, pois esse elemento estaria em quantidade suficiente para atender à atividade metabólica dos microrganismos e ao processo de decomposição da matéria orgânica. Pode-se dizer então que, em cobertura vegetal concentrada em N, a biomassa microbiana estaria funcionando como catalisadora e/ou fonte na decomposição da matéria orgânica (Gama-Rodrigues, 1999).

4.7. Relação Carbono:Nitrogênio do solo

Todos os sistemas de plantio tiveram maior relação C:N em relação ao controle. Não apresentaram variações entre os sistemas de plantio, estando todos estatisticamente iguais. A relação C:N variou entre 5,0 a 8,0 g kg⁻¹, sendo o menor para o tratamento controle. Os resultados apresentados evidenciam que todos os sistemas de plantio aumentaram o estoque de matéria orgânica do solo favorecendo sua reabilitação.

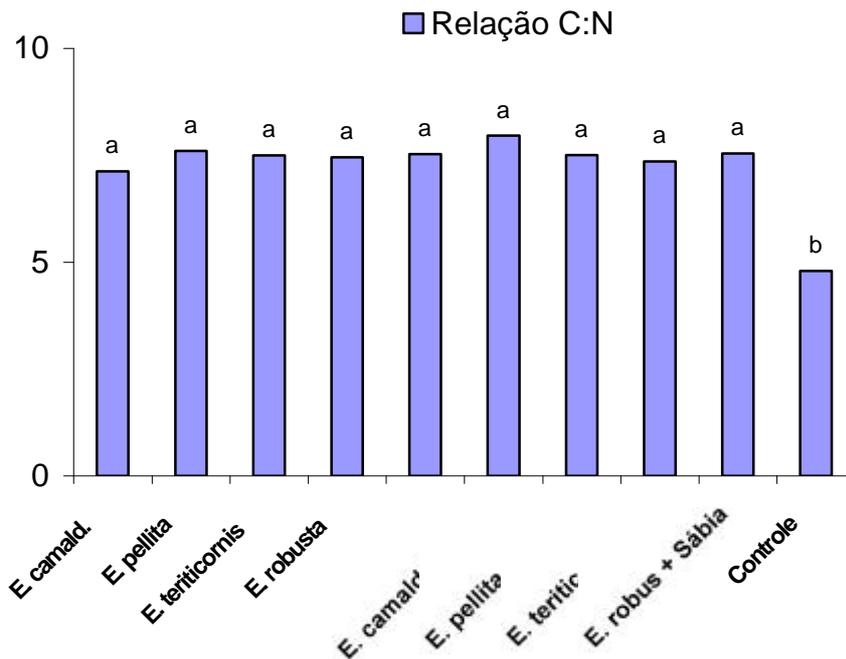


Figura 6. Relação C/N em amostras de solo revegetadas por *Eucalyptus spp.* em plantio puro e/ou consorciado com mimosa. Letras iguais, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Médias de 4 repetições

A relação C:N da matéria orgânica reflete as características do material adicionado ao solo. No sistema de plantio puro e consorciado a baixa relação C:N caracterizam os resíduos vegetais de eucalipto e sabiá como de alta taxa de decomposição. Dessa forma, a qualidade do resíduo incorporado ao solo influencia a disponibilidade de nutrientes através dos processos de imobilização e mineralização. Dependendo da relação C:N do material adicionado, pode ocorrer o esgotamento do N. A liberação do elemento mineralizado ocorre se o resíduo tiver relação C:N baixa (Carvalho, 2005).

Moreira e Siqueira (2002) afirmam que uma relação C:N entre 17 e 35 favoreceria um processo de bioestabilização, isto é a imobilização e a mineralização estariam numa mesma proporção. Acima de 35 ocorre a imobilização do N e abaixo de 17 a mineralização.

De acordo com os dados obtidos neste trabalho, a relação C:N do solo foi baixa e indicando que está ocorrendo a mineralização do N.

4.8. Teor de nutrientes e pH do solo

Os resultados médios dos teores dos nutrientes e do pH das amostras de solo revegetadas por *Eucalyptus* spp. e sabiá em plantio puro e/ou consorciado são apresentadas na Tabela 2. Observa-se que os sistemas de plantio influenciaram as características do solo avaliado.

O menor valor de pH foi observado no tratamento controle (sem vegetação). Os teores de P no solo foram maiores para o sistema de plantio consorciado de *E. pellita* com sabiá e *E. camaldulensis* com sabiá. O maior teor de K foi verificado no sistema de plantio consorciado de *E. tereticornis* com sabiá. Os teores de Ca^{2+} no solo foram maiores nos sistemas de plantio puro de *E. tereticornis* e *E. robusta* e de plantio consorciado de *E. camaldulensis* com sabiá. Os teores de Mg^{2+} não diferiram entre os sistemas de plantio (Tabela 2).

Tabela 2. Teores de macronutrientes e pH das amostras de solo revegetadas por *Eucalyptus* spp. e sabiá em plantio puro e/ou consorciado.

Tratamentos	pH	P	K	Ca	Mg
		mg dm ⁻³		Cmolc dm ⁻¹	
<i>E. camaldulensis</i>	6,47 a	76,0 bc	51,8 bc	6,31 ab	3,99 a
<i>E. pellita</i>	6,65 a	96,5 ab	50,3 bc	7,13 ab	4,15 a
<i>E. tereticornis</i>	6,62 a	67,0 bcde	62,5 bc	8,59 a	4,28 a
<i>E. robusta</i>	6,47 a	56,1 bcde	51,0 bc	7,99 a	4,38 a
Sabiá	6,47 a	32,1 de	67,3 b	6,93 ab	4,18 a
<i>E. camaldulensis</i> + sabiá	6,50 a	122,8 a	61,0 bc	7,88 a	3,95 a
<i>E. pellita</i> + sabiá	6,31 a	139,8 a	68,5 b	6,48 ab	3,70 a
<i>E. tereticornis</i> + sabiá	6,55 a	37,1 cde	135,5 a	6,84 ab	4,09 a
<i>E. robusta</i> + sabiá	6,22 a	74,9 bcd	51,0 bc	5,99 ab	3,68 a
Controle	5,68 b	24,4 e	29,5 c	4,51 b	3,31 a
CV (%)	3,38	24,6	23,5	19,18	12,29

O substrato da cava de extração de argila do presente trabalho apresentou níveis de fertilidade mais elevados do que normalmente se observa em áreas degradadas (Franco et al., 1992). Resultados semelhantes foram observados por Schiavo (2005) em cava de extração de argila revegetada com *Acácia mangium*, em Campos dos Goytacazes. Esse autor observou que a devolução da camada superficial é um fator decisivo no crescimento e estabelecimento das espécies a

serem utilizadas na revegetação dessas áreas e que esse procedimento deve ser mantido.

A disponibilidade dos nutrientes nos sistemas encontra-se intimamente relacionada à decomposição da matéria orgânica (Fasbender, 1993). Em um sistema onde não ocorreram perturbações causadas pelas ações humanas, a decomposição da matéria orgânica e, conseqüentemente a disponibilidade de nutrientes podem ser afetadas pelo clima, composição das espécies vegetais e pela fertilidade do solo. O presente estudo foi realizado em um sistema totalmente modificado, primeiro pela remoção da cobertura vegetal nativa, segundo pela instalação de monocultura, terceiro pela extração de argila e exposição do solo e, por fim a instalação de uma nova cobertura vegetal.

Para os valores de pH, resultados semelhantes foram encontrados por Mendonça (2006) e Santiago (2005). Esses autores observaram aumento do valor de pH em cava de extração de argila revegetadas com espécies de Eucalipto consorciadas com sabiá ou sesbânia, em relação ao solo antes do plantio. Segundo Mendonça (2006), o aumento do pH pode ter sido favorecido por ânions presentes na serrapilheira dos plantios. Entretanto, Mishra et al. (2003) observaram decréscimo no valor de pH em plantio puro de *E. tereticornis* aos três, seis e nove anos de plantio.

Em sistemas de plantio consorciado, dependendo da qualidade do material depositado, o sabiá é eficiente em estabelecer simbiose com rizóbio e fungos micorrízicos arbusculares que, por sua vez, disponibilizam mais eficientemente o P (Pralon e Martins, 2001). Observa-se na Tabela 2, que os teores de P no solo foram maiores para o sistema de plantio consorciado de *E. pellita* com sabiá e *E. camaldulensis* com sabiá e que na Figura 3, esses sistemas de plantio tiveram menor densidade de fungos micorrízicos arbusculares, possivelmente, os altos teores de P encontrados nesses sistemas inibiram os fungos micorrízicos. Moreira e Siqueira (2002) relatam que as micorrizas arbusculares são inibidas em condições de elevada fertilidade e favorecidas pela baixa fertilidade, onde a colonização e esporulação são geralmente máximas.

Para os teores de K no solo, Mendonça (2006) encontrou para mesma área em estudo, aos 24 meses após o plantio, valores reduzidos nos dois sistemas de plantio. Santiago (2005), trabalhando com plantios puros de *E. camaldulensis*, *E. pellita*, *E. robusta*, *E. tereticornis* e os consórcios com sesbânia, verificou aos 12

meses de idade, teores de K no solo semelhantes ao deste trabalho, porém esse autor observou que o teor de K do solo não foi alterado.

A espécie *E. tereticornis* em consórcio com sabiá o presente estudo, foi o único tratamento onde ocorreu um acréscimo de K e isto pode ser explicado pela taxa de mineralização dos resíduos e a liberação de nutrientes que são em grande parte, função da qualidade do material vegetal, ocorrendo liberação do potássio mais rapidamente (Costa et al., 2006).

Este estudo, os teores de Ca^{2+} no solo foram maiores nos sistemas de plantio puro de *E. tereticornis* e *E. robusta* e no sistema de plantio consorciado de *E. camaldulensis* com Sabiá e os teores de Mg não diferiram entre os sistemas de plantio. Schiavo (2005) observou que os teores de cálcio do solo sob cobertura com braquiária foram maiores quando comparadas com acácia e que os teores de magnésio não foram influenciados pela cobertura. Entretanto, Misha (2003) verificou incremento nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} em sistema de plantio com *E. tereticornis*.

Alguns trabalhos mostram a diferença nos teores de nutrientes em serrapilheira de sabiá, como o de Andrade et al. (2000) que encontraram, na serrapilheira de sabiá, menores teores de N e P em relação ao encontrado por Costa et al. (2004). Verifica-se, no presente trabalho, que os teores de P no solo, do sistema de plantio puro com sabiá, foram menores em relação aos demais sistemas de plantio e iguais ao encontrado no controle.

Os resultados obtidos foram:

- Os solos com plantios de *E. pellita* e de sabiá apresentaram, em relação ao tratamento controle (sem vegetação), maiores atividades microbianas, tanto pelo método de FDA quanto pela respiração, maiores diversidades de fungos micorrízicos e maiores concentrações de nitrogênio;
- A atividade microbiana do solo, tanto pelo método de FDA quanto pela respiração, foi maior no sistema de plantio consorciado de *E. pellita* com sabiá quando comparado com o tratamento controle;
- O teor de carbono do solo foi menor no tratamento controle (sem vegetação);
- Verificou-se maior número de espécies de fungos micorrízicos dos gêneros *Glomus* e *Acaulospora* em todos os sistemas de plantio, sendo que no controle só foi encontrado o fungo micorrízico *Glomus macrocarpum*;
- O pH do solo foi menor no tratamento controle;
- Os teores de P no solo foram maiores no consórcio de *E. pellita* com sabiá e de *E. camaldulensis* com sabiá;
- O maior teor de K foi verificado no solo com plantio consorciado de *E. teriticornis* com sabiá;
- Em relação ao tratamento controle, os teores de Ca foram maiores nos solos com plantios puros de *E. teriticornis* e de *E. robusta* e no sistema consorciado de *E. camaldulensis* com Sabiá, e os teores de Mg não diferiram entre os tratamentos.

Diante dos resultados podemos concluir que:

De acordo com a qualidade biológica, os sistemas de plantio recomendado para áreas de cava de extração de argila foram os plantios de com *E. pellita* e de sabiá puro e consorciado.

5. RESUMO E CONCLUSÃO

Conduziu-se um experimento com objetivo de avaliar a qualidade biológica, de um solo degradado e revegetado com espécies de *Eucalyptus* spp. em plantios puros e/ou consorciados com sabiá, utilizando como indicadores de qualidade a atividade microbiana total, avaliada pelo método enzimático da hidrólise do diacetato de fluoresceína e pela respiração, diversidade de fungos micorrízicos e análises químicas do solo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com nove tratamentos + controle. Os tratamentos foram constituídos de plantios puros de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*) e de quatro espécies de eucaliptos (*Eucalyptus camaldulensis*, *pellita*, *tereticornis*, *robusta*) e de plantios consorciados de sabiá com as quatro espécies de eucalipto citadas, com quatro repetições. A unidade experimental foi composta por parcelas com 36 plantas. O tratamento controle foi uma área dentro da cava de extração de argila sem revegetação. Aos 36 meses, após implantação dos sistemas de plantios, foram realizadas as seguintes análises químicas do solo: pH em água, fósforo disponível; potássio; cálcio e magnésio trocáveis, carbono orgânico e nitrogênio e análises microbiológicas: atividade microbiana do solo, pelo método de respiração do solo e através da atividade enzimática, densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares e levantamento da diversidade das espécies de fungos micorrízicos arbusculares.

Os resultados obtidos foram:

- Os solos com plantios de *E. pellita* e de sabiá apresentaram, em relação ao tratamento controle (sem vegetação), maiores atividades microbianas, tanto pelo método de FDA quanto pela respiração, maiores diversidades de fungos micorrízicos e maiores concentrações de nitrogênio;
- A atividade microbiana do solo, tanto pelo método de FDA quanto pela respiração, foi maior no sistema de plantio consorciado de *E. pellita* com sabiá quando comparado com o tratamento controle;
- O teor de carbono do solo foi menor no tratamento controle (sem vegetação);
- Verificou-se maior número de espécies de fungos micorrízicos dos gêneros *Glomus* e *Acaulospora* em todos os sistemas de plantio, sendo que no controle só foi encontrado o fungo micorrízico *Glomus macrocarpum*;
- O pH do solo foi menor no tratamento controle;
- Os teores de P no solo foram maiores no consórcio de *E. pellita* com sabiá e de *E. camaldulensis* com sabiá;
- O maior teor de K foi verificado no solo com plantio consorciado de *E. teriticornis* com sabiá;
- Em relação ao tratamento controle, os teores de Ca foram maiores nos solos com plantios puros de *E. teriticornis* e de *E. robusta* e no sistema consorciado de *E. camaldulensis* com Sabiá, e os teores de Mg não diferiram entre os tratamentos.

Diante desses resultados podemos concluir que:

a revegetação das áreas degradadas pela extração de argila é uma prática viável para melhorar a qualidade química e biológica do solo. Sendo que os plantios puros com *E. pellita* ou sabiá e o consórcio entre ambas as espécies produziram os melhores resultados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarenga, M.I.N., Siqueira, J.O., David, A.C. (1999) Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. *Ciência Agrotecnologia*. Lavras.v.23 (3): 617-625.
- Anderson, T. H., Domsch, K. H. (1993) The metabolic quotient from CO₂ (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 25: 393-395.
- Andrade, A. (2000) *Indicação de programas para secagem convencional de madeira*. Dissertação (Mestrado em tecnologia da madeira) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 51 p.
- Araújo, R. S., Hungria, M. (1994) *Microrganismos de importância agrícola*. EMBRAPA-SPI. Brasília .
- Araújo, A.S.F. de (2005) A qualidade do solo. *INFORMATIVO CIENTIFICO DA FAPEPI, N° 4 ANO II* Teresina, Piauí, Disponível em: <http://www.fapepi.pi.gov.br/sapiencia4/artigos1.php>. Acesso em 01/04/06.
- Arshad, M.A.; Martin, S. (2002) identifying critical limits for soil quality indicators in: agro-ecosystems. *Agriculture Ecosystems & Environment.* (88): 153-160.
- Associação Brasileira De Cerâmica. (2006). Disponível em http://www.abceram.org.br/asp/abc_21.asp. Acesso em 10 de abril.

- Augé, R. M. (2001) Water relations drought and vesicular- arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. 18 (1):3-42.
- Bayer, C., Spagnollo, E., Wildner, L. do P., Ernani, P. R., Albuquerque, J. A. (2003) Incremento de carbono e nitrogênio num Latossolo pelo uso de plantas extivais para cobertura do solo. *Cienc. Rural*. Santa Maria.v.33 (3): 469-475.
- Barros, N.F., Novais, R.F., Cardoso, J.R., Macedo, P.R.O. (1990) *Algumas relações solo - espécies de eucalipto em suas condições naturais : Relação Solo Eucalipto*. Viçosa. 6-23.
- Baath, E., Ravina, M., Frostegard, A., Campbell, A., Collin, D. (1998) Effect of metal-rich sludge amendments on the soil microbial community. *Applied Environmental Microbiology*. 64: 238-245.
- Bending, G. D., Turner, M. K., Rayns, F., Marx, M.C., Wood, M. (2004) Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. *Soil Biology & Biochemistry*, 36: 1785-1792.
- Bressan, W., Vasconcelos, C. A., Purcino., A. A. C. (2001) Fungos micorrizicos e fósforo, no crescimento e nos teores de nutrientes e na produção de sorgo e soja consorciados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. EMBRAPA, 36(2):250-260.
- Burns, R. G. (1978) *Soil enzymes*. New York: Academic Press. 379p.
- Campos, B.C., Reinert, D. J., Nicolodi, R., Cassol, L.C. (1999) Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. *Revista Bras. Ci. Solo*, 23: 386-391.
- Caproni, A .L., Franco, A . A., Berbara, R.L.L. (2003) Capacidade infectiva de fungos micorrizicos arbusculares em áreas reflorestadas após mineração de bauxita no Pará. *Pesq. Agropecuária. Bras*.v.38 n.8.
- Carvalho, M. A. G.S., Tormena, C. A., Gonçalves, J. L. (1997) Atividade microbiana de um Latossolo Vermelho Escuro Álico sob eucalipto e mata nativa. *CD-Rom dos Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Rio de Janeiro*.
- Carvalho, F. (2005) *Atributos Bioquímicos como Indicadores da Qualidade do solo em florestas de Araucaria angustifolia (Bert.) no estado de São Paulo*. Dissertação de Mestrado. Piracicaba. Escola Superior "Luiz de Queiroz".
- Chaves, L. de L. B. (2001) *Produção de mudas de duas espécies de leguminosas arbóreas, utilizando adubação nitrogenada*. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro- UENF, 79p.

- Chen, W., Hoittink, A.J., Schumitthener, A.F. (1988) The role of microbial activity in suppression of damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology*, v.78: 324-322.
- Coelho, R. M., Lepsch, I.F., Menk, J. R. F. (1994) Relação solo relevo em uma encosta com transição de arenito basalto em Jaú. SP. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 23: 386-391.
- Costa, G. S., Franco, A. A., Damasceno, R. N. (2006) Nutrient input through litter in a degraded area revegetated with legume trees. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28 (5): 919-927.
- Costa, J.L., & Siqueira, E. R. (2004) Análise de DNA dos solos e atividade enzimática como bioindicadores de diversidade microbiana em sistema de restauração florestal na Mata Atlântica. *Embrapa*. Disponível em: http://www.fap.se.gov.br/anais/anais_fap_02_2002/trabalhos/Jefferson%20Costa.pdf#search='Costa%20%26%20Siqueira%20%20enzim%C3%A1tico. Acesso em 08/05/06.
- De Fede, K. L.; Panaccione, D. G.; Sextone, A. J. (2001) Characterization of dilution enrichment cultures obtained from size-fractionated soil bacteria by community-level physiological profiles and restriction analysis of 16S rDNA genes. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 33, n. 11, 1555-1562.
- De-Polli, H., Franco, A. A, Almeida, D. L., de, Duque, F. F., Monteiro, E. M. da S., Döberainer, J. (1998) A biologia do solo na agricultura. Embrapa/ Uapnbs/ Issn 0102-5260. Documento 5, 37p.
- Dick, R.P. (1994) Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: Doran, J. W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, American Society of Agronomy, Madison. 107-124.
- Dick, R.P., Breakwell, D.P., Turco, R. (1996) Soil enzyme activities and biodiversity measurements. In: Doran, J.W.; Jones, A.J., ed. *Methods for assessing soil quality*. Madison: *Soil Science Society of America*. 247-272.
- Dilly, O. & Blume, H. P. (1998) Indicators to assess sustainable land use with reference to soil microbiology. *Advances in GeoEcology* (31): 29-36.
- Dodd, J.C. (1999) Recent advances in understanding the role of arbuscular mycorrhizas in plant production. In: Siqueira, J. O., Moreira, F.M. S. , Lopes, A. S. Guilherme, L.R.G., Faquin, V., Furtini Neto, A. E., Carvalho, J. C. (ed) *Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas: Soil fertility, Soil biology and plant nutrition interrelations hips*. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS. 687-703.

- Doran, J.W., Parkin, T.B. (1994) Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W. *et al.*, eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, ASA/SSSA. 3–21.
- Doran, J. W., Zeiss, M. R. (2000) Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecol.* 15 (1): 3-11.
- Dumanski, J. Picri, C. (2000) Land quality indicators: research plan. *Agric. Ecosyst. Environ.* (81): 93-102.
- Embrapa (1997) *Manual de Métodos do Solo*. 2ª edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA: Centro Nacional de Pesquisa de Solo. 212p.
- Ewing, G. W. (1972) *Métodos Instrumentais de Análise Química*, São Paulo, (2): 56-62.
- Fassbender, H. W. (1993) *Modelos edafológicos de sistemas agroforestales*. Turrialba: (CATIE. Serie Materiales de Enseñanza, 29) Programa II. Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido. 2. ed, 530 p.
- Ferreira, M. (1979) Escolha de Espécies de Eucalipto. *Circular Técnica IPEF*, v.47:1-30.
- Ferreira, A.G.; Áquila, M.E.A. (2000) Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v.12: 175-204.
- Franco, A. A., Campello, E. F. C., Dias, L. E. & Faria, S. M. de. (1994). Revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas, PA com leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas. *Informativo técnico*. Embrapa. 145-154. In: M. Balensiefer; A. J. de Araújo & N. C. Rosot (eds.).
- Freitas, M. S.M., Martins, M. A., Carvalho, A. J. C. de (2006) Crescimento e composição mineral menta em resposta a inoculação com fungos micorrizicos arbusculares em adubação fosfatada. *Horticultura Brasileira*. v. 24 :11-16.
- Gama-Rodrigues, E. F., Gama-Rodrigues, A. C. Barros, N. F. (1997) Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21:361-365.
- Gama-Rodrigues, E. F. da (1999) Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: Santos, G. A. de, Camargo. F. A. de O. (ed) *Fundamentos da Matéria Orgânica do solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais*. Porto Alegre: Gênese. 227-244.
- Gama-Rodrigues, E. F., Barros, N. F. de, Gama-Rodrigues, A. C. da, Santos, G. de A. (2005) Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 29:893-901.

- Gerdemann, J.W., Nicolson, T.H. (1963) Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society* (6): 235-246.
- Ghini, R.; Mendes, M.D. L.; Bettioli, W. (1998) Método de hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) como indicador de atividade microbiana no solo e supressividade a *Rhizoctonia solani*. *Summa Phytopathologica*, Jaboticabal, v.24. n.3/4: 239-242.
- Gil-Stores, F.; Trasar-Cepeda, C.; Leiros, M.C.; Seoane, S. (2005) Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology and Biochemistry*. V.37:877-887.
- Grayston, S. J.; Griffith, G. S.; Mawdesley, J. L.; Campbell, C. D.; Bardgett, R. D. (2001) Accounting of variability in soil microbial communities of temperate upland grassland ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 33, n. 4/5: 533-551.
- Haag, H.P. (1985) *Ciclagem de Nutrientes em Florestas Tropicais*. Campinas; Fundação Cargill, p. 08-11.
- Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental / The Nature Conservancy 2005. Disponível em <http://www.institutohorus.org.br>. Acesso em 27/04/06.
- Karlen, D. L., Ditzler, C. A., Andrews, S. S. (2003) Soil quality: Why and how? *Geoderma*. Amsterdam, v.114, (3): 145-156.
- Knoepp, J. D.; Coleman, D. C. (2000) Biological indices of soil quality: an ecosystem case study of their use. *Forest Ecology and Management*. Amsterdam. 138:357-368.
- Lopes, B.M, Piña-Rodrigues, F.C.M. (2001) Potencial alelopático de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth sobre sementes de *Tabebuia alba* (Cham.). *Floresta & Ambiente*. Rio de Janeiro. v.8 n.1 p.130-136
- Lorenzi, H. (1998) *Árvores Brasileiras. Manual de Identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil*. Nova Odessa: Plantarum, I. 280p.
- Mendes Filho, P. F. (2004) *Potencial de reabilitação do solo de uma área degradada, através da revegetação e do manejo microbiano*.

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-18112004-151027/>.
Acesso em 11/05/06

- Mendonça, A V R (2006) *Introdução de espécies florestais, sob diferentes modelos de reabilitação, em áreas degradadas por extração de argila*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes-RJ. 120 p.
- Moura, O N; Passos, M A A; Ferreira R L C; Molica, S G; Lira, M de A (2002) Distribuição de biomassa e de nutrientes em povoamentos de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), Porto Alegre - RS, *XXXVI Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*.
- Moreira, F. M.S., Siqueira, J. O. (2002) *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA. 625p.
- Nunes, C. (2003) Poluição química. *Instituto do Ambiente*. Disponível em :< <http://www.qualar.org/?page=5&subpage=7/>> Acesso em 10 jul.2003.
- Odum, E. P. (1983) *Ecologia*. Rio de Janeiro : Guanabara. 434p.
- Oliveira, N. S. N. de, Reis, G. G. dos, Reis, M.G. F. (2003) Biomass production and distribution in *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. as influenced by fertilization and spacing. *Revista Árvore*. v.8, n.1:130-136.
- Parkin, T. B.; Doran, J. W.; Franco-Vizcaíno (1996) Field and laboratory tests of soil respiration. In Doran, J. W.; Jones, A. J. *Methods for assessing soil quality*. Madison. *Soil Science Society of America*, 231-245.
- Pralon, A. Z. Martins, M.A. (2001) Utilização de resíduo ferkal na produção de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia*, em estéril de extração de argila inoculada com fungos micorrizicos arbusculares e rizóbio. *Revista Brasileira de Ciência do solo*. v.25 (1): 55-63.
- Paulino, G. M. (2003) *Cobertura florestal e qualidade do solo em terras degradadas no Norte Fluminense*. Tese (Mestrado em Produção Vegetal)- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro- UENF. Campos dos Goytacazes-RJ. 75p.
- Paulucio, V. O., Martins, M. A. (2004) Avaliação da atividade microbiológica como indicador da qualidade do solo em áreas degradadas pela extração de argila. *CD ROM dos Anais do Fertbio*.
- Peña, M.L.P.; Marques, R.; Jahnel, M. C.; Anjos, A. dos (2005) Respiração microbiana como indicador de qualidade de solo em ecossistema florestal. *Floresta*, Curitiba, v.35, n. 1: 117-127.

- Pereira, J.C.D., Sturion, J.A., Higa, A.R., Higa, R.C.V., Shimizu, J.Y. (2000) Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: *Embrapa Florestas*. 113p.
- Ramos, I. de S., Alexandre, J., Alves, M. da G., Barroso, J. A., Teixeira, L. S., Correa, F. de P. (2003) Dimensionamento da indústria cerâmica em Campos dos Goytacazes, RJ. *CD ROM dos Anais do V ABECERAM- Congresso Brasileiro de Cerâmica*, João Pessoa-PB, 45-47.
- Sala, V. M. R. (2002) Atividade microbiana do solo e interação de diazotrofico endofítico e fungos micorrizicos arbusculares na cultura do trigo. Tese (Mestrado) – Escola Superior Luiz de Queiróz. Piracicaba. 124p.
- Santiago, A. R. (2005) *Eucalipto em plantios puros e consorciados com sesbania na reabilitação de cavas de extração de argila*. (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro- UENF. Campos dos Goytacazes- RJ. 77p.
- Schiavo, J.A. (2005) *Revegetação de áreas degradadas pela extração de argila, com espécies micorrizadas de Acacia mangium, Sesbania virgata e Eucalyptus camaldulensis*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal)- Campos dos Goytacazes- RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF. 117p.
- Schnüner, J., Rosswal, T. (1982) Fluorescein diacetato hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. *Applied and Environmental Microbiology*, Washigton, v.43, p.1256-1261.
- Schloter, M., Lebuln, M., Heulin, T., Hartmann, A., (2000) Ecology and evolution of bacterial microdiversity. *FEMS Microbiol. Rev.* 24: 647-660.
- Sicardi, M. de, Izaguirre, M., Mayoral, L. (1994) Seasonal dynamic, host range and symbiotic efficiency of native rhizobial populations in three soil horizons of four contrasting savanna sites. *Symbiosis*. 17: 43-63.
- Silva, M., Siqueira, E. R., Costa, J.L. da S. (2004) Hidrólise de diacetato de fluoresceína como biondicador da atividade microbiológica de um solo submetido a reflorestamento. *Ciência Rural*. Santa Maria. v. 34.n.5: 1493-1495.
- Silveira, M.L.A., Aleoni, L.R.F., Camargo, O.A., Casagrande, J.C. (2005) Adsorption in oxidic soils after removal of organic matter and iron oxides. *Plant Anal.*33: 3581-3592.
- Smith, S. E, Read, D. J. (1997) *Mycorrhizal symbiosis*. Califórnia. Academic Press. 605p.

- Souza, F. A., Silva, E. M. R. (1996) Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: Siqueira, J. O., (ed) *Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas*. Lavras: UFLA/DCS, 255-290.
- Stuczynski, T. I., McCarty, G. W., Siebielec. G. (2003) Response of soil microbiological activities to cadmium lead, and zinc salt amendments. *J. Environ.* 32: 1346-1355
- Tótola, M.R.; Chaer, G.M. (2002) Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: Alvarez, V.H; Schaefer, C.E.G.R; Barros, N.F.; Mello, J.W.V.; Costa, L.M. (eds) *Tópicos em Ciência do Solo*, Vol. 2. Viçosa. *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, p.195-276.
- Valicheski, R.R, Marciano, C.R., Ponciano, N.J. (2004) Viabilidade econômica da reutilização de áreas de extração de argila em Campos dos Goytacazes - RJ. I CADMA, *VIII ENGEMA-Encontro Nacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente*. Disponível em: http://www.ebape.fgv.br/novidades/asp/dsp_dados_comunicados.asp?rep=354. Acesso em 11/05.
- Villatoro, M. A. A. (2004) *Materia orgánica, biomassa e atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais com café*. Tese (Doutorado) UFRRJ.80p.
- Wang, X., Divos, F., Pilon, C., Brashaw, B. K., Ross,R. J., Pellerini, R. F. (2004) *Assessment of decay in standing timber using stress wave timing nondestructive evaluation tools*. Madison: US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Welber, O. B., Souza C. C. M de, Gondir., D. M.F., Oliveira., F. N. S., Crisótomo. L. A., Caproni, A. L., Saggin Júnior. O. (2004) Inoculação de fungos micorrizicos arbusculares e adubação fosfatada em mudas de cajueiro-anão-precoce. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.39 (5): 477-483.
- Wick, B.; Kühne, R. F. & Vlek, P.L.G. (1998) Soil microbiological parameters as indicators of soil quality under improved fallow management systems in south-western Nigeria. *Plant Soil*, 202:97-107.
- Winck, C. L. Guedes, J. V. C. Fagundes , C. K. , Rovedder, A. P. (2005) Insetos edáficos como indicadores da qualidade do ambiental. *Revista Ciências Agroveterinárias*. Lages. v.4.n.1:1676-9732.
- Zilli, J. E., Rumjanek, N. G., Xavier G.R., Coutinho H.L.da C. Neves M. C. P. (2003) Diversidade microbiana como indicador da qualidade do solo. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*. Brasília, v.20, n.3: 391-411.