

REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA EXTRAÇÃO DE
ARGILA, COM ESPÉCIES MICORRIZADAS DE *Acacia mangium*,
Sesbania virgata E *Eucalyptus camaldulensis*.

JOLIMAR ANTONIO SCHIAVO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE

DARCY RIBEIRO - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

MARÇO - 2005

REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA EXTRAÇÃO DE
ARGILA, COM ESPÉCIES MICORRIZADAS DE *Acacia mangium*,
Sesbania virgata E *Eucalyptus camaldulensis*.

JOLIMAR ANTONIO SCHIAVO

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 Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Marco Antonio Martins

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

MARÇO - 2005

REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA EXTRAÇÃO DE
ARGILA, COM ESPÉCIES MICORRIZADAS DE *Acacia mangium*,
Sesbania virgata E *Eucalyptus camaldulensis*.

JOLIMAR ANTONIO SCHIAVO

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 Doutor em Produção Vegetal.

Aprovada em 21 de março de 2005

Comissão Examinadora:

Prof^a. Eliane M. Ribeiro da Silva (PhD, Ciência do Solo) – Embrapa/Agrobiologia

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

Prof. Luciano Pasqualoto Canellas (PhD, Ciência do Solo) – UENF

Prof. Marco Antonio Martins (PhD, Microbiologia do Solo) – UENF

Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCTA / UENF 010/2005

Schiavo, Jolimar Antonio

Revegetação de áreas degradadas pela extração de argila, com espécies micorrizadas de *Acácia mangium*, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis* / Jolimar Antonio Schiavo – 2005.

117 f. : il.

Orientador: Marco Antonio Martins

Tese (Doutorado em Produção vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2005.

Bibliografia: f. 106 – 117.

1. Micorriza 2. Leguminosas 3. Área degradada 4. zóbio 5. Matéria orgânica do solo I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD- 631.64

Ao meu pai, Aristeu Schiavo (em memória), à minha mãe, Maria da Penha Fassarella Schiavo, aos meus irmãos (João, Jane, Jomara, Jorge, Jerusa, Jackson, Jaqueline), aos meus sobrinhos (João Victor, Ana Carolina, Mariana, Maria Eduarda), aos meus cunhados e cunhadas, e a todos das famílias Fassarella e Schiavo, pelo incentivo e ajuda.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha família.

A UENF pela oportunidade de realização do curso e a FAPERJ pela concessão de bolsa de estudos.

À cerâmica Stilb Ltda por ceder a área para realização do experimento.

Ao professor Marco Antonio Martins pela confiança, apoio, orientação e, acima de tudo, pela ótima convivência durante a realização deste trabalho.

Aos professores Luciano P. Canellas, Luciana A. Rodrigues e Eliane M. R. da Silva pelas sugestões apresentadas para a melhoria deste trabalho.

A Flávia.

Aos amigos Jader, Ismail, Manu, Marinho, Alexandre, Raul, Vanderlan e a todos os colegas e funcionários do Laboratório de Solos. Agradeço, em especial, ao amigo Marcelo Testa.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. FUNGOS MICORRÍZICOS.....	4
2.2. ÁREAS DEGRADADAS.....	7
2.3. REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.....	8
2.3.1. <i>Acacia mangium</i> WILLD.....	12
2.3.2. <i>Sesbania virgata</i>	15
2.3.3. EUCALIPTO.....	16
2.4. MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO.....	19
3. TRABALHOS.....	21
3.1. TRABALHO I	22
3.1.1. Introdução.....	23
3.1.2. Material e Métodos.....	25
3.1.3. Resultados e Discussão.....	28
3.1.4. Conclusões.....	35
3.1.5. Referências Bibliográficas.....	35

3.2. TRABALHO II.....	44
3.2.1. Introdução.....	45
3.2.2. Material e Métodos.....	46
3.2.3. Resultados e Discussão.....	48
3.2.4. Conclusões.....	53
3.2.5. Referências Bibliográficas.....	54
3.3. TRABALHO III.....	63
3.3.1. Introdução.....	65
3.3.2. Material e Métodos.....	68
3.3.3. Resultados e Discussão.....	70
3.3.4. Conclusões.....	76
3.3.5. Referências Bibliográficas.....	77
3.4. TRABALHO IV.....	84
3.4.1. Introdução.....	85
3.4.2. Material e Métodos.....	88
3.4.3. Resultados e Discussão.....	90
3.4.4. Conclusões.....	92
3.4.5. Referências Bibliográficas.....	93
4. RESUMO E CONCLUSÕES.....	104
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

RESUMO

SCHIAVO, Jolimar Antonio; Eng. Agrônomo, D.S.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Março de 2005; Revegetação de áreas degradadas pela extração de argila, com espécies micorrizadas de *Acacia mangium* Willd, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis*. Orientador: Prof. Marco Antonio Martins.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) no crescimento e nutrição das mudas de *Acacia mangium* Willd, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis* em casa de vegetação. O comportamento dessas espécies em monocultivo e/ou em consórcio em uma área degradada no campo pela extração de argila, também foi avaliado. Na área de extração de argila o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 6x2, sendo os fatores: 6 (*A. mangium*; *S. virgata*; *E. camaldulensis*; *A. Mangium* x *S. virgata*; *A. Mangium* x *E. camaldulensis* e *S. virgata* x *E. camaldulensis*) e 2 (inoculadas e não inoculadas com FMAs) com 4 repetições. Um estudo, objetivando caracterizar a qualidade da matéria orgânica em cava de extração de argila, com vegetação espontânea de gramínea [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf] ou revegetada com *Acacia mangium* Willd, sendo coletadas amostras de solo nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, também foi realizado. Em casa de vegetação, as

mudas de acácia e sesbânia inoculadas com os FMAs apresentaram maior altura, diâmetro do colo e matéria seca da parte aérea em relação às não inoculadas, enquanto as mudas de eucalipto inoculadas apresentaram maior altura e diâmetro do colo em relação às não inoculadas. Nas mudas de acácia, os FMAs proporcionaram aumentos nos conteúdos de N, P e Zn de 22, 71, e 67 %, respectivamente; e, nas de sesbânia 39, 48, 56, 24, 105 e 54, respectivamente para N, P, Ca, Mg, Mn e Zn. Por outro lado, mudas de eucalipto inoculadas com os FMAs apresentaram menor matéria seca da parte aérea e conteúdos de nutrientes. As espécies em plantio na cava de extração de argila apresentaram elevada sobrevivência (> 80%) e rápido crescimento, com altura de 7m (acácia e eucalipto) e 3,5m (sesbânia) aos 600 dias após o plantio no campo (DAPC), não sendo verificada influência do tipo de cultivo. Na cava de extração de argila, acácia e sesbânia apresentaram comportamento semelhante quanto aos teores de nutrientes, sendo verificado o efeito do cultivo e dos FMAs apenas para Ca e Mg. Enquanto, para eucalipto, o cultivo e os FMAs influenciaram nos teores de N, P e Mg. Quanto à matéria orgânica do solo, na cobertura com *A. mangium*, observaram-se acréscimos no estoque de carbono de 33 % e 80 % nas profundidades de 0,00-0,10 m e 0,20-0,30 m, respectivamente, em relação à *B. mutica*. O menor estoque de carbono ocorreu na fração ácidos fúlvicos livres (AFL). Na cobertura com *A. mangium* foi observado um aumento no grau de humificação da matéria orgânica com aumentos que variaram de 38 % a 280 % na fração ácidos fúlvicos (AF) e de 26 % a 217 % nos ácidos húmicos (AH), dependendo da profundidade do solo. A acidez total, tanto da fração AF como a dos AH foi elevada, variando na faixa de 810 a 920 $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$. No entanto, em torno de 67 % da capacidade de troca de H^+ foi devido a grupos OH fenólicos caracterizados como grupamentos ácidos mais fracos. Os valores observados para a relação E_4/E_6 foram dentro da faixa normalmente encontrada para AF (entre 8,2 e 10,5) e AH (entre 1,3 e 3,9). Os AH, isolados da cava com cobertura da *A. mangium*, apresentaram valores mais elevados da relação E_4/E_6 , sugerindo a presença de fração humificada menos condensadas e de menor massa molecular. A humina, isolada da cobertura com *A. mangium*, apresentou abundância de compostos alifáticos com predomínio de ésteres metílicos e ácidos graxos. A utilização de leguminosas arbóreas pode ser uma boa estratégia para revegetação de áreas degradadas, melhorando as

características químicas, físicas e microbiológicas do solo, via fixação biológica de N_2 atmosférico. Em consórcio, pode contribuir com o crescimento de espécies não fixadoras de N, como eucalipto.

ABSTRACT

SCHIAVO, Jolimar Antonio; Agronomy Engineer, D.Sc.; State University of North Fluminense Darcy Ribeiro; March 2005; Re-vegetation of land degraded, by clay extraction, with mycorrhizal plants of *Acacia mangium* Willd, *Sesbania virgata* and *Eucalyptus camaldulensis*. Supervisor: Prof. Marco Antonio Martins.

The present work aimed to evaluate the effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on the growth and nutrition of *Acacia mangium* Willd, *Sesbania virgata* and *Eucalyptus camaldulensis*, grown under green house conditions. The behaviour of these plant species grown in single or in intercrop systems, in field degraded area by clay extraction, was also evaluated. The experimental design utilized in the field work was random blocks in a factorial scheme 6x2 (six plant combinations: *A. mangium*; *S. virgata*; *E. camaldulensis*; *A. mangium* x *S. virgata*; *A. mangium* x *E. camaldulensis*; and, *S. virgata* x *E. camaldulensis*; and two microbiological treatments: inoculated or not with AMF), with four replicates. Furthermore, a study to characterize the quality of organic matter in a site of clay extraction, at depths of 0.00-0.10; 0.10-0.20 and 0.20-0.30 m, re-vegetated with spontaneous vegetation of *Brachiaria mutica* (Forsk) Stapf or *Acacia mangium*, was carried out. *A. mangium* and *S. virgata* mycorrhizal plants, produced in green house conditions, presented, higher high, diameter and shoot dry weight production their counterparts non-mycorrhizal plants, while the *E. camaldulensis* mycorrhizal plants presented higher high and diameter. The presence of AMF

infection in *A. mangium* plants led to an increase in the contents of N, P and Zn in 22, 71 and 67%, respectively, while in the *S. virgata* plants the AFM infection led to an increase in the contents of N, P, Ca, Mg and Zn in 39, 48, 56, 24, 105 and 54%, respectively. On the other hand, the presence of AFM infection in *E. camaldulensis* plants led to a decrease in plant growth and nutrient contents. The plant species grown in the field, at 600 days after transplanting (DAT), presented a high survivor rate (>80%), fast growth, reaching a height of 7 m (*A. mangium* and *E. camaldulensis*) and 3.5 m (*S. virgata*), and it was not observed any influence of the plant combination treatments. *A. mangium* and *S. virgata* plants, in the field, presented the same behaviour to nutrient contents, being observed the effects of the plant combination treatments only in the Ca and Mg contents. On the other hand, in the case of *E. camaldulensis* plants both AMF infection and the plant combination treatments had effects on N, P and Mg contents. Regarding the study of the quality of organic matter, it was found where *A. mangium* was present the carbon stocks increased by 33% and 80% in the depths of 0,00-0,10 m and 0,20-0,30 m, respectively, in relation to the *B. mutica*. The smallest stock of carbon was observed in the fraction of free fulvic acids (LFA). At the site with *A. mangium*, it was also noticed an increase in the degree of humification of the organic matter with increases that varied from 38% to 280% in the fraction of fulvic acids (FA) and from 26% to 217% in the humic acids (HA) depending on the soil depth. The total acidity in the FA and HA fractions was high, varying from 810 to 920 $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$. However, around 67% of the capacity of H^+ exchange was due to the phenolic groups OH characterized with weaker acid groups. The values observed for the relationship E_4/E_6 were within the range normally found for FA (between 8,2 and 10,5) and HA (between 1,3 and 3,9). The HA isolated in the site with *A. mangium* presented higher values of E_4/E_6 , suggesting the presence of a humified fraction less condensed and with a smaller molecular mass. The humin isolated in the site with *A. mangium* presented aliphatic compounds with an abundance of methyl esters and fatty acids. The use of legume trees is shown to be indicated in land reclamation programs, once the legume trees not only can improve the chemical, physical and microbiological soil attributes, by N_2 atmospheric fixation, but also, it can improve the growth of a non-fixing N plant, like the Eucalyptus.

1.0. Introdução

Com o declínio da atividade canavieira na região Norte/Noroeste Fluminense, outras alternativas vêm ocupando o cenário econômico da região. Dentre as várias opções de uso das terras, antes destinadas à monocultura da cana-de-açúcar, destaca-se a extração de argila promovida pela atuação de diversas cerâmicas para produção de tijolos e telhas.

A importância sócio-econômica da indústria ceramista no município de Campos dos Goytacazes pode ser avaliada pela magnitude dos números apresentados pela atividade. De acordo com o Sindicato Patronal dos Ceramistas, existem cerca de 100 cerâmicas atuando no município, sendo que estas, produzem em média 3.100.000 peças/dia, empregando diretamente cerca de 4.500 trabalhadores.

Apesar da importância sócio-econômica, esta atividade provoca a degradação do solo. Com uma retirada diária estimada em, aproximadamente, 7000 m³ de solo, a área degradada no município de Campos dos Goytacazes - RJ é de aproximadamente 3500 m² /dia, considerando a profundidade de exploração de até 2 m (Costa Júnior, 1997). Levando-se em conta, que tanto as clareiras quanto as lavras abertas, geralmente correspondem a uma superfície maior que a da área de exploração do subsolo (correspondentes a bordaduras e aceiros), tem-se um quadro bem mais alarmante. A extensão da área degradada tem enorme repercussão na área ambiental. Não bastassem os efeitos danosos ao sistema edáfico, a área perturbada é de tal representatividade, que são perceptíveis as alterações

paisagísticas promovidas em pequenos intervalos de tempo, sendo prováveis também, distúrbios na fauna da região.

O processo de revegetação de áreas degradadas geralmente exige um alto investimento, muitas vezes às custas da transferência da camada fértil de outras áreas (Franco et al., 1992).

Diversos estudos têm mostrado que o processo economicamente mais viável para recuperação destas áreas é a revegetação com espécies leguminosas que, inoculadas com os microssimbiontes rizóbio e ou fungos micorrízicos, possam crescer e se estabelecer nestas áreas (Souza e Silva, 1996; Franco et al., 1992).

O N é um dos nutrientes mais limitantes ao crescimento de plantas, principalmente em solos pobres ou desprovidos de matéria orgânica. Assim, o rizóbio associado às leguminosas, através de um complexo enzimático chamado de nitrogenase, consegue converter o N_2 atmosférico em NH_3 , que é assimilado a compostos orgânicos e utilizado pela planta. Nessa associação de leguminosa com bactérias fixadoras de N, a planta fornece à bactéria fotoassimilados e recebe em troca produtos nitrogenados (Franco e Dobereiner, 1988). Este processo é conhecido como fixação biológica de nitrogênio (FBN).

Um dos fatores mais limitantes ao estabelecimento de uma nodulação eficaz é a limitação de disponibilidade de fósforo, devido à grande exigência energética da FBN. Pelo menos 16 moléculas de ATP são necessárias para cada molécula de N_2 reduzido. Além disso, ainda há necessidade do poder redutor (ferrodoxina), que seria equivalente ao gasto de 9 ATPs. Assim, pelo menos 25 moléculas de ATP seriam gastas para cada molécula de N_2 fixado (Marschner, 1995).

O principal benefício dos fungos micorrízicos para a planta hospedeira está relacionado à uma maior absorção de nutrientes, através da extensão do sistema radicular, via as hifas do fungo que proporcionam um aumento da área de superfície de contato com o solo, favorecendo a maior absorção de nutrientes, principalmente os de baixa mobilidade no solo, como o fósforo; e também Cu, Zn, Mo e Fe (Cooper, 1984; Marschner e Dell, 1994).

As leguminosas noduladas e micorrizadas podem se estabelecer em áreas degradadas com baixa concentração de nutrientes, especialmente N, em relação a outras espécies que não formam estas simbioses. Souza e Silva (1996), afirmam que

o estabelecimento dessas plantas em áreas degradadas pode ser melhorado através da adição de alguns nutrientes, objetivando a otimização do desempenho da simbiose tripartite leguminosa-rizóbio-fungos micorrízicos arbusculares (FMAs).

Apesar de vários trabalhos mostrarem o efeito positivo das leguminosas na recuperação de áreas degradadas, existe uma resistência por parte dos ceramistas para o cultivo de árvores nativas, uma vez que temem a intervenção do IBAMA impedindo o corte das mesmas, o que não ocorre com a cultura do eucalipto.

Grandes quantidades de madeira têm sido utilizadas como fonte de calor pelas cerâmicas para a “queima das peças”. Esta madeira, em sua maioria de eucalipto, proveniente do Norte do Espírito Santo, acaba elevando o custo de produção das peças. Alguns ceramistas têm optado pelo cultivo do eucalipto (dentro e fora da área de extração de argila), mas, na maioria das vezes, não tem-se obtido grandes sucesso. Uma opção para as áreas de extração de argila, seria o cultivo de eucalipto em consórcio com leguminosas.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento das espécies *Acacia mangium* Willd, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis* inoculadas ou não com fungos micorrízicos arbusculares em plantios puros ou consorciados em área degradada pela extração de argila. Ainda, objetivou-se caracterizar a qualidade da matéria orgânica do substrato da cava de extração de argila revegetada com *A. mangium* Willd.

2.0. Revisão de literatura

2.1. Fungos micorrízicos

Micorriza (myco=fungo, rhiza=raíz) é definida como sendo uma associação simbiótica mutualista, não patogênica, que ocorre entre fungos do solo e raízes da maioria das plantas (Sieverding, 1991). Dentre as simbioses que ocorrem entre plantas e microrganismos, a formação de micorrizas é a mais comum, especialmente, as denominadas micorrizas arbusculares. Estas incluem membros da maioria das angiospermas e gimnospermas, junto com samambais, licopódios e briófitas (Trappe, 1987). Dentre os grupos de plantas, as associações micorrízicas ocorrem em 83% das dicotiledôneas, 79% das monocotiledôneas, e praticamente em todas as gimnospermas (Wilcox, 1991). No entanto, plantas das famílias das Cruciferae, Cyperaceae, Chenopodiaceae e Proteaceae normalmente não formam associações micorrízicas, sendo consideradas plantas não micotróficas (Harley & Harley, 1987). Existem três tipos de micorrizas: ectomicorrizas, ectoendomicorrizas e endomicorrizas. As ectomicorrizas caracterizam-se pelo crescimento intercelular (rede de Harting), formando um manto de hifas externas ao redor das raízes. As ectoendomicorrizas penetram nas células do córtex e também formam a rede de Harting (Allen, 1991). As endomicorrizas caracterizam-se pelo crescimento inter e intracelular no córtex da raiz. Os tipos de endomicorrizas conhecidos são as ericóides, as orquidóides e as arbusculares (Marschner, 1995).

As endomicorrizas do tipo arbusculares são as de maior ocorrência geográfica, e no reino vegetal, quando comparadas aos outros tipos de micorrizas (Wilcox, 1991). Esta associação é formada por fungos da ordem Glomales,

subordem Glomineae, famílias Glomaceae, Acaulosporaceae, Archaeosporaceae e Paraglomaceae e subordem Gigasporineae, família Gigasporaceae. Na família Glomaceae encontram-se os gêneros *Glomus* e *Sclerocystis*; na família Acaulosporaceae encontram-se os gêneros *Acaulospora* e *Entrophospora*; na família Archaeosporaceae encontra-se o gênero *Archaeospora*; na família Paraglomaceae encontra-se o gênero *Paraglomus* e na família Gigasporaceae encontram-se os gêneros *Gigaspora* e *Scutellospora* (INVAN – International Culture Collection of Arbuscular & Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são caracterizados pela formação de três estruturas típicas: arbúsculos, vesículas e hifas. Os arbúsculos são estruturas formadas pela ramificação das hifas, que penetram nas células do córtex e são os sítios preferenciais de transferência de nutrientes entre os simbioses (Gianninazzi et al., 1983). As vesículas são estruturas globulares que ocorrem intra e extracelular, com a função de reserva e armazenamento (Harley & Smith, 1983). As hifas interna e externamente à raiz são responsáveis pela absorção e transporte de nutrientes. As hifas externas são as estruturas em contato direto com o solo, responsáveis pela absorção de nutrientes e água.

O principal benefício dos fungos micorrízicos para a planta hospedeira está relacionado à uma maior absorção de nutrientes, através da extensão do sistema radicular, via as hifas do fungo, que proporcionam um aumento da área de superfície de contato com o solo, favorecendo a maior absorção de nutrientes, principalmente os de baixa mobilidade no solo, como o fósforo, e também Cu, Zn, Mo e Fe (Cooper, 1984; Marschner & Dell, 1994). Esses mesmos autores verificaram que a concentração de Mg não foi influenciada pelos FMAs, enquanto que as de Ca e K foram inferiores nas plantas micorrizadas em comparação as não micorrizadas. No entanto, aumentos nas concentrações de Ca e K promovidos pelos FMAs foram verificados (Kay Hardie & Leyton, 1981; Gianinazzi-Pearson & Gianinazzi, 1983; Hamel et al., 1991; Ruiz-Lozano & Azcón, 1995). Outros benefícios também são proporcionados pelo fungo à planta hospedeira, assim, o estabelecimento dos FMAs no sistema radicular influencia o aspecto fisiológico das plantas como: a redução da suscetibilidade a certos patógenos (Dehne, 1982), tolerância ao estresse hídrico (Koide, 1985), alteração da capacidade fotossintética da planta (Brown &

Bethlenfavay, 1988), manutenção da biodiversidade, por meio da melhoria na capacidade das espécies em competir por fatores de crescimento, ciclagem de nutrientes e estabilidade do ecossistema e contribui para a estabilização do solo, por meio de efeitos na agregação e estabilização dos agregados (Jasper, 1994).

Os vegetais em simbiose com FMAs possuem taxas transpiratórias mais elevadas, resultado de uma maior absorção de água por unidade de comprimento de raiz. Como conseqüência, o fluxo de massa da solução do solo para a superfície radicular é, aproximadamente, duas vezes maior que o verificado em plantas não micorrizadas (Marschner & Dell, 1994). Sob condições de estresse hídrico, os FMAs podem aumentar a resistência das plantas hospedeiras à seca por meio de mecanismos, como aumento da condutividade hidráulica das raízes, regulação estomatal, ajuste osmótico e mudanças na elasticidade da parede celular. Todavia, a contribuição das hifas dos FMAs na absorção de água ainda não está perfeitamente esclarecida (Levy & Krikun, 1980; Kay Hardie & Leyton, 1981; Allen & Allen, 1986; Hetrick et al., 1991; Osonubi et al., 1991; Ruiz-Lozano & Azcón, 1995).

Devido a baixa especificidade nas associações simbióticas entre fungos micorrízicos arbusculares e raízes de plantas (Mosse, 1975), é possível que hifas externas de FMAs, que se desenvolvem no solo e estão conectadas as estruturas fúngicas dentro da raiz, possam formar uma extensa rede micelial interconectando plantas de mesma ou de diferentes espécies, estabelecendo interconexões entre estas plantas (Newman, 1988). Essa interconexão fúngica permite a transferência de nutrientes entre plantas através da passagem direta pela hifa do fungo (Martins, 1992a; Martins, 1992b; Martins, 1993; Cruz, 1996; Martins & Read, 1996).

A maioria das plantas vasculares dependem, em níveis variados, dos FMAs para melhoria de sua condição nutricional, embora um grupo de espécies (não micotróficas) não precisem. Algumas espécies só crescem na presença da simbiose micorrízica (micotróficas obrigatórias). Outras (micotróficas facultativas), crescem melhor em solos férteis sem a presença das micorrizas, mas em solos com limitações nutricionais são favorecidas pelos fungos. Dessa maneira, a fertilidade do solo, bem como os FMAs, podem influenciar de maneira direta a sucessão vegetal, determinando quais espécies vegetais podem ocorrer e ser, posteriormente,

substituídas em uma comunidade (Janos, 1980; Francis & Read, 1994; Watkinson & Freckleton, 1997).

O P é o fator edáfico mais importante no controle da intensidade de colonização e no efeito da simbiose micorrízica sobre a planta (Smith, 1980). Em geral, as condições de baixo P disponível são favoráveis à micorrização, e a planta tem o máximo de benefícios da simbiose. Níveis elevados de P são inibitórios ao estabelecimento da simbiose, e a efetividade simbiótica pode não se expressar adequadamente se o nível de P na solução do solo estiver muito elevado (Abbott et al., 1984; Habte, 1982). Os mecanismos que regulam a colonização do fungo em função dos níveis de P ainda não estão bem definidos. De acordo com Schwab et al. (1983) e Graham et al. (1981), condições de deficiência de P causam aumento na permeabilidade da membrana da raiz, levando à perda de metabólitos (carboidratos, ácidos carboxílicos e aminoácidos), nos exsudados das raízes que favorecem a germinação e crescimento do fungo nos períodos de pré e pós-infecção.

2.2. Áreas degradadas

De acordo com o IBAMA, o surgimento de uma área degradada acontece quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; o regime hídrico alterado em qualidade ou em regime de vazão. Assim, a degradação ambiental ocorre quando há perdas das características físicas, químicas e biológicas, levando a condições indesejáveis para o crescimento de plantas (Dias & Griffith, 1998).

O principal responsável pela degradação de um ambiente é o mau uso das terras. Estima-se que, anualmente, cerca de 11,1 milhões de hectares de florestas tropicais, secundárias e energéticas são destruídas em todo o mundo, ou degradadas pela expansão agrícola (World Resources Institute / II ed, 1988, citado por Parrota, 1992). Na faixa tropical, a estimativa mostra a existência de quase dois bilhões de hectares em múltiplos estágios de degradação, contrastando com 650 milhões de hectares de áreas cultivadas (Jesus, 1994). Essas ações de degradação levam à perda da matéria orgânica contida nos horizontes superficiais removidos, causam sérios problemas na estrutura, na disponibilidade de água e na atividade

biológica do solo, prejudicando o suprimento de nutrientes essenciais como P, S e, principalmente, N às plantas (Franco et al., 1995a). Do ponto de vista de gênese de solos, pedólogos, consideram que se estas ações atingirem um nível de perturbação extremo, podem ser consideradas cataclismos, criando-se a partir deles um tempo zero para a formação do solo (Fanning & Fanning, 1989).

De acordo com o parágrafo 2^o do artigo 225 da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, com referência à recuperação de áreas mineradas está previsto: “Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente na forma da lei” (Motta, 1996). Entretanto, uma vez encontradas inúmeras variáveis nas diferentes regiões degradadas, torna-se necessária a aplicação de metodologias específicas, pertinentes a cada situação a ser recuperada, o que torna dificultada a regulamentação e eventual fiscalização por parte dos órgãos competentes.

É considerada área degradada aquela que, após distúrbio, teve eliminados seus meios de regeneração natural, apresentando baixa resiliência, sendo necessária a ação antrópica para sua recuperação (Carpanezzi et al., 1990). Assim, o processo de recuperação de áreas degradadas geralmente deve obedecer ao modelo de sucessão autogênica, caracterizado por mudanças sucessionais ocasionadas, principalmente, por interações internas dos ecossistemas, como o fluxo de energia e nutrientes, estruturação da comunidade e elasticidade. A extrema competição por recursos limitantes em área degradadas faz com que somente os indivíduos mais aptos tenham a capacidade de estabelecer-se, crescer e reproduzir, dominando assim, os diferentes estádios serais (Souza & Silva, 1996).

2.3. Revegetação de áreas degradadas

A classificação das espécies arbóreas é feita em 4 grupos sucessionais: pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e climáticas (Budowski, 1970). As espécies pioneiras são caracterizadas por serem árvores de rápido crescimento, e não serem influenciadas pelos outros grupos no seu estabelecimento. As espécies secundárias iniciais são intolerantes à sombra total das pioneiras, exigindo pleno sol

para seu desenvolvimento. As espécies secundárias tardias são beneficiadas quando em associação com as espécies secundárias iniciais (sombreamento parcial) e prejudicadas quando junto às pioneiras (sombreamento total). As espécies climáticas não sofrem redução de crescimento quando associadas com os outros grupos ecológicos.

A recuperação de áreas degradadas, através da revegetação, requer o uso de espécies de rápido crescimento, que sejam capazes de melhorar o solo, depositando matéria orgânica e reciclando nutrientes (Franco, 1991). A deposição de folhas e o crescimento das raízes das espécies pioneiras estabilizam o solo, aumentam a atividade biológica do mesmo e criam condições favoráveis para o estabelecimento de outras espécies mais exigentes (Franco et al., 1992).

Dentre as espécies pioneiras, as leguminosas têm conseguido destaque na revegetação de áreas degradadas, já que grande parte das espécies estabelecem simbioses eficientes com bactérias diazotróficas do gênero *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium* e *Sinorhizobium*, genericamente denominados rizóbio. A nodulação tem sido relatada na maioria das espécies leguminosas, das quais 25% já foram examinadas. A sub-família Mimosoideae é composta por 65 gêneros, sendo que dos 41 examinados apenas 7 não nodulam. Do total de 451 gêneros de Papilionoideae, 68 % já foram examinados quanto à capacidade de nodulação e deste total, 80% nodulam. A sub-família Caesalpinioideae é a que possui o maior número de gêneros que não nodulam em associação com rizóbio. Dos 68% dos gêneros observados, cerca de 42,5% não nodulam e apenas 12,4% são confirmados como nodulantes (Faria, 1998).

O N é um dos nutrientes mais limitantes ao crescimento de plantas, principalmente em solos pobres ou desprovidos de matéria orgânica. Assim, o rizóbio associado às leguminosas, através de um complexo enzimático chamado de nitrogenase, consegue converter o N_2 atmosférico em NH_3 , que é assimilado a compostos orgânicos e utilizado pela planta. Nessa associação de leguminosa com bactérias fixadoras de N, a planta fornece à bactéria fotoassimilados e recebe em troca produtos nitrogenados (Franco & Dobereiner, 1988). Este processo é conhecido como fixação biológica de nitrogênio (FBN).

Considerando que a utilização de grandes quantidades de fertilizantes nitrogenados, compostos orgânicos e camadas superficiais do solo na recomposição do substrato para a revegetação de áreas degradadas consiste em uma prática bastante onerosa, exigindo aplicações repetidas, o uso da FBN seria uma alternativa viável, uma vez que o fornecimento de N é contínuo, e ocorre a acumulação de matéria orgânica no solo (Franco, 1984; Franco & Faria, 1997). Algumas espécies, como *Cajanus cajan* podem acumular de 190 a 250 kg N ha⁻¹ em apenas 150 dias de crescimento, *Mucuna pruriens* acumula 155 kg N ha⁻¹ ano⁻¹, *Vigna unguiculata* 85 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ (Freire, 1992) e *Leucaena leucocephala* 500 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ (Saninga et al., 1984).

Um dos fatores mais limitantes ao estabelecimento de uma nodulação eficaz é a limitação de disponibilidade de fósforo, devido à grande exigência energética da FBN. Pelo menos 16 moléculas de ATP são necessárias para cada molécula de N₂ reduzido. Além disso, ainda há necessidade do poder redutor (ferrodoxina), que seria equivalente ao gasto de 9 ATPs. Assim, pelo menos 25 moléculas de ATP seriam gastas para cada molécula de N₂ fixado (Marschner, 1995).

As leguminosas podem estabelecer a simbiose com rizóbio e com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), sendo esta associação importante em meios onde o N e o P são limitantes ao crescimento vegetal (Costa Júnior, 1997).

O papel dos FMAs consiste em estabelecer uma ligação entre as raízes da planta hospedeira com o solo e sua biota, por meio da micorrizosfera. Primeiramente, as micorizas atuam como extensões do sistema radicular das plantas, melhorando seu estado nutricional e fisiológico. A colonização micorrízica pode afetar a nutrição mineral da planta hospedeira diretamente, através do estímulo ao crescimento do vegetal, em decorrência da aquisição e transferência de nutrientes pelo fungo, ou indiretamente, por alterações na taxa transpiratória e na composição da microflora rizosférica. Os FMAs têm acesso direto ao C fixado pelas plantas e constituem a maior fonte deste elemento e de energia para o solo. Os FMAs distribuem esse carbono pela rizosfera, possibilitando aumento na atividade microbiológica ao redor das raízes (Hamel, 1996).

Tem sido demonstrado que a ação física de raízes e hifas dos fungos, bem como a exsudação de alguns compostos orgânicos, fazem com que as micorizas

atuem diretamente na formação de agregados estáveis do solo. Dada a grande suscetibilidade dos substratos à erosão, esse efeito de agregação das partículas do solo é de grande importância para etapas de reabilitação das áreas mineradas (Instituto Brasileiro de Mineração, 1987).

Aspecto também de grande importância no emprego de FMAs em áreas degradadas é a possibilidade de transferência de nutrientes, mediada pelo fungo, entre plantas de mesma ou de diferentes espécies, favorecendo o estabelecimento de comunidades mais complexas em áreas com diversas limitações. Essa transferência pode ocorrer sob diversas formas: a) transferência direta através do micélio do fungo que interconecta as raízes das plantas; e b) transferência indireta com a absorção, por parte do fungo e posterior transferência de nutrientes liberados por outros vegetais para plantas vizinhas ou infectadas pelos FMAs. Trabalhos puderam constatar a transferência entre plantas de mesma ou de diferentes espécies, via fungo, de C (Martins, 1992a; Martins, 1992b; Martins, 1993), N (Hamel et al., 1991; Cruz, 1996; Cruz & Martins, 1997; Martins & Cruz, 1998) e com mais expressão em termos percentuais tem-se a transferência de P (Martins & Read, 1996).

A seleção de espécies de FMAs eficientes em promover o crescimento de plantas a serem utilizadas em plantios de áreas degradadas é fator de grande importância para que o processo possa ter êxito (Abbott & Robson, 1981). Apesar da ausência de especificidade dos FMAs em relação ao hospedeiro, existe uma combinação ideal fungo-hospedeiro e ambiente, que proporciona uma melhor eficiência simbiótica (Costa Júnior et al., 1995). Ainda há de se ressaltar, que a competição com fungos nativos pode comprometer a eficiência simbiótica dos FMAs introduzidos na inoculação.

Na produção de mudas em viveiros florestais, a inoculação com FMAs tem contribuído no incremento do vigor das plantas. Mudas produzidas sem inoculação de FMAs, quando colocadas no campo apresentaram crescimento insatisfatório (Thapar et al., 1992). Além do simples fato de se inocular, é importante que os FMAs utilizados estejam ecologicamente adaptados às condições das áreas a serem revegetadas. Caso contrário, as plantas podem ter seu crescimento comprometido (Le Tacon et al., 1987).

Outra questão de grande importância é a necessidade de realização de trabalhos, onde, além de se testar espécies de FMAs ecologicamente adaptados à área de interesse, possa-se também testar o comportamento de espécies de fungos exóticas na presença dos fungos nativos. Pralon (1999), em trabalho conduzido com mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia*, onde se testou a inoculação com FMAs e rizóbio sob diferentes doses de Ferkal (resíduo da fabricação do ácido lático), verificou, para os parâmetros avaliados, que as melhores respostas foram obtidas nas mudas inoculadas com FMAs e rizóbio, quando comparados com o tratamento controle. Ainda, foi verificado que os FMAs nativos foram mais eficientes que o FMA *G. clarum* em promover o crescimento da espécie.

Vários autores atestam a viabilidade da dupla inoculação (rizóbio x fungo micorrízico) de leguminosas arbóreas, como também apresentam resultados positivos desta co-inoculação (Azcón et al., 1991; Xie et al., 1995).

As leguminosas noduladas e micorrizadas podem se estabelecer em áreas degradadas, com baixa concentração de nutrientes, especialmente N, em relação a outras espécies que não formam estas simbioses. Souza & Silva (1996), afirmam que o estabelecimento dessas plantas em áreas degradadas pode ser melhorado através da adição de alguns nutrientes, objetivando a otimização do desempenho da simbiose tripartite leguminosa-rizóbio-FMAs.

2.3.1. *Acacia mangium* Willd

A *Acacia mangium* é uma espécie arbórea pioneira, pertencente à família Leguminosae e subfamília das mimosoidae, de grande ocorrência natural no nordeste da Austrália, Indonésia, nas Ilhas Molucas e de Java e na Província da Papua Nova Guiné. Em menor escala, ocorre em vários outros países, com exceção daqueles localizados no continente europeu e na Antártida. A espécie foi introduzida, experimentalmente, no Brasil a partir de 1979 (Ferreira et al., 1990).

Em vários países, a *Acacia mangium* pode apresentar excelente desenvolvimento e produtividade superior a várias espécies de eucalipto e atingir até trinta metros de altura, na fase adulta, apresentando fuste reto e boa desrama natural (National, 1983; Boontawee & Kuwalairat, 1986). Entre as leguminosas arbóreas, a

Acacia mangium tem-se destacado pela rusticidade e adaptabilidade às condições adversas de solo e clima, pelo rápido crescimento, elevada produção de biomassa e capacidade de formar simbioses com microrganismos do solo (Colonna et al., 1991; Franco et al., 1992; Reddel et al., 1992; Malajczuk et al., 1993). Além de ser nitrificadora, como leguminosa, a espécie pode desenvolver-se em solos pobres, ácidos e degradados. O valor econômico representado pela *Acacia mangium* pode ser avaliado em função das amplas possibilidades de aproveitamento, já que as folhas podem ser usadas como forragem na alimentação de animais, e a madeira apresenta uma densidade básica que varia de 420 a 500 kg m⁻³, considerada dura, de cerne marron claro e alburno creme-claro, mostrando indicadores favoráveis para ser usada na fabricação de papel e celulose, aglomerados, caixoteria, moirões, carvão e lenha, destacando-se, principalmente, na fabricação de móveis, pela facilidade de ser serrada, polida e aplainada, com ausência quase total de rachaduras ou outros defeitos (Keong, 1983; Turnbull et al., 1986; Nitrogen, 1987).

Essa espécie tem sido cada vez mais utilizada na recuperação de áreas degradadas, em razão da possibilidade de ocorrência de associação com microrganismos, como a bactéria do gênero *Rhizobium* e com fungos micorrízicos arbusculares e ectomicorrízicos (National Research Council, 1983). A seleção de estirpes de rizóbio mais eficientes na fixação de N₂ em simbiose com a *Acacia mangium* (Faria et al., 1991), e a avaliação de procedência da espécie (Silva et al., 1996) vêm favorecendo, ainda mais, sua capacidade de apresentar bom desenvolvimento em solo de baixa fertilidade. Já na fase de muda, as plantas de *Acacia mangium* demonstram baixa exigência nutricional quanto a Ca, Mg (Dias et al., 1990) e K (Dias et al., 1991). No entanto, como observado para outras espécies florestais, a *Acacia mangium* apresentou resposta positiva à fertilização fosfatada, e os teores de cálcio e magnésio na biomassa da parte aérea das mudas foram dependentes das doses de fósforo aplicadas ao solo (Dias et al., 1990). Dessa maneira, reforça-se a necessidade de determinar a dose ideal de fósforo a ser aplicada em mudas de *Acacia mangium*, nos diversos tipos de solos existentes.

Em trabalho com produção de mudas de *Acacia mangium*, Daniel et al. (1997), verificaram que a dose de 400 mg kg⁻¹ de P₂O₅ foi a mais indicada para garantir a

qualidade das mudas, tendo como substrato uma mistura de Latossolo Roxo Distrófico Subsuperficial e areia grossa 50% v/v.

O uso da *Acacia mangium* em programas de recuperação de áreas degradadas tem proporcionado excelentes resultados (Franco et al., 1994, 1997). Em uma comparação entre plantios homogêneos dessa espécie com *Eucalyptus pellita*, após dez anos de cultivo em solo degradado pela extração de bauxita, verificou-se a maior capacidade da *Acacia mangium* em termos de aporte de matéria orgânica e de nutrientes como N, P, K e Mg ao solo (Dias et al., 1994).

De acordo com Tavares et al. (2000), em trabalho com produção de mudas de *Acacia mangium* e *Mimosa caesalpiniaefolia* inoculadas com FMAs e rizóbio, adubadas com cinco níveis de fósforo e duas fontes de adubos fosfatados, verificou-se que o maior acúmulo de matéria seca na parte aérea, para as duas espécies, ocorreu na presença da dupla inoculação (FMAs + rizóbio), com resposta linear à dose de P aplicada, não sendo possível estabelecer os níveis críticos para as espécies. Quanto à fonte de adubo fosfatado, foi constatada superioridade na aplicação do fosfato de rocha em relação ao superfosfato triplo.

Pralon et al. (2000), em trabalho conduzido com mudas de *Acacia auriculiformis*, onde se testou a inoculação com FMAs e rizóbio sob diferentes doses de Ferkal (resíduo da fabricação do ácido láctico), verificaram que a adição de Ferkal foi benéfica ao crescimento e desenvolvimento das mudas de acácia, sendo as respostas mais evidentes nas mudas inoculadas com os microsimbiontes, as quais apresentaram aumentos significativos em altura, peso da matéria seca da parte aérea e conteúdos de N e P, nos tratamentos com associações microbiológicas.

Sendo a *Acacia mangium* uma leguminosa arbórea de crescimento rápido e com produção de uma elevada quantidade de biomassa, com significativo aporte de folhas ao solo, observou-se em um plantio que, após seis anos, o manto de serapilheira acumulado na superfície do solo foi da ordem de 19.400 kg ha⁻¹, sem considerar a fração que se decompôs e foi incorporada ao solo (Costa et al., 1995). A alta taxa de aporte de serapilheira ao solo por esta leguminosa permite a formação de um reservatório de material orgânico e nutrientes que é fundamental para o processo de revegetação.

Além do volume de material vegetal adicionado ao solo, as características desse material são de grande importância para a fertilidade do solo. As leguminosas são geralmente ricas em nitrogênio, apresentando material de baixa relação C/N. Desta forma, a liberação de nutrientes de resíduos é, geralmente, mais rápida que a de plantas com baixo teor de nitrogênio (alta relação C/N). Entretanto, diferenças são encontradas entre as plantas com baixa relação C/N, sendo observada uma maior velocidade de liberação em resíduos de *Erythrina spp* do que de *Inga edulis* ou *Cajanus cajan*, de *Mimosa caesalpiniaefolia* do que de *Acacia mangium* (Palm, 1988, citado por Szott et al., 1991). Da mesma forma, a velocidade de liberação de fósforo, potássio, enxofre, cálcio, magnésio e micronutrientes também varia com as espécies. A serapilheira produzida pela *Leucaena leucocephala* pode apresentar “turnover” de nitrogênio inferior a um ano, e com uma liberação anual de nitrogênio da ordem de 200 kg ha⁻¹ (Sandhu et al., 1990).

2.3.2. *Sesbania virgata*

A *Sesbania virgata* é uma espécie pioneira, arbustiva, semi-perene pertencente à família das Leguminosae, e que forma simbiose radicular com *Azorhizobium spp* (Santos et al., 1998). O gênero *Sesbania* inclui, aproximadamente, 50 espécies de ocorrência em regiões tropicais e subtropicais. A maior ocorrência do gênero se dá principalmente na África.

De acordo com Faria (1998), a *Sesbania virgata* é uma espécie altamente específica, sendo verificada eficiência na nodulação somente quando se utiliza estirpes isoladas da própria espécie ou do mesmo gênero. Em 27 espécies deste gênero, inclusive *S. virgata*, já foi comprovada a simbiose com bactérias diazotróficas (Faria et al., 1989).

Em levantamento florístico realizado em cavas abandonadas, com três, cinco e dez anos após a extração de argila, no município de Campos dos Goytacazes-RJ, verificou-se que a *Sesbania* foi uma das espécies com maior frequência de ocorrência (Samôr, 1999).

Além de formar simbiose radicular com *Azorhizobium*, a *S. virgata*, associa-se com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), podendo favorecer a sobrevivência e desenvolvimento das plantas em condições adversas.

Desta maneira, esta espécie associada à rizóbio e FMAs apresenta alto potencial para utilização em programas de recuperação de áreas degradadas. Pouyú-rojas & Siqueira (2000), em trabalho com *S. virgata*, obtiveram resposta positiva à inoculação com FMAs na formação de mudas, como também no transplante para vasos contendo solo de baixa fertilidade natural. Franco et al. (1996), em trabalho com revegetação de áreas de mineração de bauxita no Pará, verificaram que a *Sesbania marginata* apresentou bons resultados. Em estudo conduzido em estéril de minas de chumbo e zinco, Yang et al. (1997), verificaram uma taxa de germinação da ordem de 90% para *Sesbania rostrata*, com acúmulo de 69,4 Kg N ha⁻¹ano e produção de matéria seca de 3200 Kg ha⁻¹ ano. Outros autores como Giller & Wilson (1991), verificaram que *Sesbania spp* acumula de 24 a 106 kg N ha⁻¹ aos 57 dias de crescimento.

2.3.3. Eucalipto

O eucalipto ocorre naturalmente na Austrália, com exceção das espécies *Eucalyptus urophylla* e *E. deglupta*, e apresenta cerca de 600 espécies adaptadas a diferentes condições de solo e clima (Mora & Garcia, 2000). A maioria das espécies conhecidas atinge alturas de 30 a 50 m em florestas altas e entre 10 e 25 m em florestas abertas. Cerca de 30 a 40 espécies são arbustivas.

O gênero *Eucalyptus* apresenta ampla distribuição natural, possibilitando a ocorrência de grandes variações de desenvolvimento entre espécies e dentro de uma mesma espécie (Florence, 1986).

Este gênero tem sido extensamente utilizado em plantios florestais em todas as partes do mundo, devido às suas características de rápido crescimento, produtividade, grande capacidade de adaptação e por ser utilizado para diversos fins. Entre os diferentes usos da madeira do eucalipto pode-se citar: produção de celulose e papel, lenha, carvão vegetal, madeira serrada, compensados, aglomerados e chapas. A eucaliptocultura brasileira é uma das mais produtivas, avançadas e competitivas do mundo. No entanto, ainda não participa ativamente da indústria de madeira serrada, laminados e compensados, representando apenas 0,44% da produção nacional (Ponce, 1997).

Quanto à produtividade do eucalipto no Brasil, Scolforo (1997), considera que a variabilidade na produtividade do eucalipto é acentuada devido ao número de espécies plantadas no país e ao avanço na área de melhoramento genético; sendo possível obter, aos 7 anos, 120 a 250 m³.ha⁻¹ em plantios de *Eucalyptus camaldulensis* nos sítios poucos produtivos, que caracterizam a região norte de Minas Gerais, e 600 m³.ha⁻¹ para *E. grandis* em sítios especiais no sul da Bahia, Espírito Santo e nordeste do Paraná. Entretanto, uma média realista está entre 30 e 50 m³ ha⁻¹ ano.

Segundo Mora & Garcia (2000), apesar da existência de áreas sujeitas ao manejo inadequado da cultura do eucalipto, é importante ressaltar, que quando conduzida em sistema sustentável desempenha seu papel satisfatoriamente pelas seguintes razões: em áreas degradadas tem recuperado o solo, principalmente, no que diz respeito à erosão e compactação; tem auxiliado na redução da pressão sobre matas nativas; contribui com o seqüestro de gás carbônico da atmosfera; e participa eficazmente como produtor de matéria prima para diferentes produtos de uso cotidiano.

O eucalipto apresenta boa adaptabilidade a solos de baixa fertilidade, acidez elevada e regime hídrico irregular. Entretanto, para se garantir uma boa produtividade das florestas plantadas tem-se verificado a necessidade de aplicações de fertilizantes (Barros et al., 1981). O fósforo é um elemento, cuja aplicação tem apresentado resposta positiva marcante para o crescimento do eucalipto, principalmente na fase de produção de mudas (Barros, 1990).

Outro fator importante para melhorar a qualidade das mudas e o estabelecimento das mesmas após o plantio no campo é a inoculação com fungos micorrízicos. De acordo com Zambolim (1990), os relatos sobre a ocorrência de micorrizas em eucalipto datam de 1917. Inicialmente, observou-se que plantas de eucalipto se associavam somente com ectomicorrizas. Posteriormente, constatou-se que esta associação também ocorre com endomicorrizas arbusculares (*Glomus*, *Gigaspora* e *Acaulospora*).

O P e o N, de acordo com Grove et al. (1996), são elementos normalmente limitados nas florestas de eucalipto, e a micorriza tem um papel crucial na aquisição desses elementos. Zambolim et al. (1982), verificaram que a inoculação de várias

espécies de *Glomus* em mudas de *E. grandis* e *E. tereticornis* promoveram aumentos significativos no peso de matéria seca, na altura e no conteúdo de nutrientes.

No eucalipto, os maiores problemas relacionados à adubação com N são as perdas por lixiviação, quando as chuvas ocorrem logo após a adubação, ou a plasmólise das mudas, se houver ocorrência de um “veranico” (Barros et al., 1990).

Quando o eucalipto é cultivado em consórcio com leguminosas associadas a rizóbio e FMAs, é possível que exista uma rede micelial de FMAs envolvendo ambas as espécies, podendo proporcionar uma nutrição mais adequada ao eucalipto, principalmente em relação ao N e P, além da melhoria das qualidades físicas e químicas do solo. Rodrigues (2001), em trabalho em casa de vegetação, com vasos compartimentalizados, onde foi permitido a passagem de hifas e não de raízes, verificou-se a transferência de ^{15}N das mudas de *Sesbania virgata* para *Eucalyptus grandis*, e que a transferência foi maior quando a leguminosa recebeu a dupla inoculação (FMAs + rizobio).

O *Eucalyptus camaldulensis* é uma espécie de ampla distribuição geográfica na sua área de ocorrência natural, ocupando ambientes ecológicos variados, entre as latitudes de 14° S e 38° S (Golfari, 1978). Ela se adequa bem a zonas críticas de reflorestamento por apresentarem as seguintes características: boa adaptação em regiões de solos pobres e prolongada estação seca; tolerância às inundações periódicas; moderada resistência às geadas; e boa regeneração por brotação de cepas (Oliveira et al., 1990; Akilan et al., 1997). Destaca-se ainda por sua tolerância à salinidade (Akilan et al., 1997; Rawat & Banerjee, 1998).

Reis et al. (1989), observaram que o *E. camaldulensis* foi menos sensível às restrições radiculares, apresentando alta capacidade de crescimento após a liberação das raízes, mesmo quando a restrição imposta foi severa. A restrição ao crescimento radicular pode ser imposta por camadas impermeáveis, elevação do lençol freático, alto poder de retenção de água, camadas salinas, camadas de cascalho e alta densidade populacional. A madeira de *E. camaldulensis* pode ser utilizada para serraria, postes, dormentes, lenha e carvão (Golfari, 1978).

2.4. Matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) representa um sistema complexo de substâncias, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e pela sua transformação contínua sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos. Depositada na superfície, a matéria orgânica é uma fonte importante de fornecimento de nutrientes para as culturas com influência na retenção de cátions, na complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, na estabilidade da estrutura, na infiltração e retenção de água, na aeração, e na atividade e biomassa microbiana, constituindo-se, assim, um componente fundamental da capacidade produtiva do solo (Santos & Camargo, 1999). A MOS pode ser dividida em dois grupos fundamentais. O primeiro é constituído pelos produtos da decomposição dos resíduos orgânicos e do metabolismo microbiano, como proteínas e aminoácidos, carboidratos simples e complexos, resinas, ligninas e outros. Esses compostos orgânicos constituem, aproximadamente, 10 a 15% da reserva total do carbono orgânico nos solos minerais (Andreux, 1996). O segundo é representado pelas substâncias húmicas propriamente ditas, constituindo 85 a 90% da reserva total do carbono orgânico (Andreux, 1996).

De acordo com os critérios empregados nos métodos convencionais de extração, a matéria orgânica humificada do solo é composta por diferentes frações. De modo geral, é aceito a distribuição das frações humificadas em três categorias: as huminas (H), que representam a matéria orgânica intimamente ligada à fração mineral do solo, e por isso insolúvel; os ácidos fúlvicos (AF), que possuem conteúdo elevado de grupamentos funcionais oxigenados e são solúveis tanto em meio ácido como básico; e os ácidos húmicos (AH), insolúveis em meio fortemente ácido, pois, com a protonação dos grupamentos funcionais ocorre o colapso da estrutura e precipitação das macromoléculas. Os AH representam a fração reativa mais estável da matéria orgânica humificada (Zech et al., 1997).

O conteúdo relativo de cada fração da matéria orgânica humificada pode ser usado como indicativo da qualidade do húmus do solo (MacCallister & Chuien, 2000). De acordo com Kononova (1966), a relação AH/AF varia de acordo com a fertilidade dos solos, normalmente maior que 1,5 naqueles naturalmente mais férteis e menor que a unidade nos mais intemperizados. Em condições favoráveis de pH, saturação de bases e drenagem, o aumento do conteúdo dos AH é devido ao incremento da

atividade microbiana que promove a síntese de substâncias húmicas mais condensadas (Orlov, 1998).

O processo de decomposição e humificação da serapilheira, levando a formação de estruturas mais condensadas é regulado pela interação de três grupos de variáveis: as condições físico-químicas do ambiente, as quais são controladas pelo clima e pelas características edáficas do sítio; a qualidade (orgânica e nutricional) do substrato, que determina sua degradabilidade, e a natureza da comunidade decompositora (os macro e microrganismos) (Heal et al., 1997; Correia & Andrade, 1999). Quanto à qualidade da serapilheira, esta é dada pelo grau de lignificação, teores de nutrientes, compostos orgânicos solúveis e presença de moléculas orgânicas com efeitos alelopáticos e estimuladores em concentrações biologicamente significativas (Palm & Sanchez, 1991). Garay et al. (2003), observaram que a serapilheira da *A. mangium* apresentou baixa relação C/N (variando de 30,3 a 18,5 entre folhas inteiras e a fração mais fina, respectivamente), ocasionando maior decomposição e incorporação de matéria orgânica ao solo.

O compartimento formado pela serapilheira e pelo solo é o sítio de todas as etapas da decomposição da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes. O conjunto serapilheira-solos não representa somente fonte de carbono e energia para os organismos do solo, mas também o habitat onde todas as ações do organismo ocorrem, garantindo a sua sobrevivência e reprodução. A serapilheira é a porção mais dinâmica desse conjunto e, possivelmente, a mais variável não só entre ecossistemas, mas também dentro de um mesmo ecossistema.

3.0 Trabalhos

**MONOCULTIVO E/OU CONSORCIAÇÃO DE LEGUMINOSAS E EUCALIPTO EM
ÁREA DEGRADADA PELA EXTRAÇÃO DE ARGILA. I. PRODUÇÃO DE MUDAS
INOCULADAS COM FMAs, SOBREVIVÊNCIA E CRESCIMENTO DAS PLANTAS
NO CAMPO⁽¹⁾.**

Jolimar Antonio Schiavo⁽²⁾, Luciana Aparecida Rodrigues⁽³⁾ & Marco Antonio Martins⁽⁴⁾

RESUMO - O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) no crescimento das mudas de *Acacia mangium* Willd, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis* em casa de vegetação, e o comportamento dessas espécies em monocultivo e/ou consórcio em áreas degradadas pela extração de argila. Na área de extração de argila o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 6x2, sendo os fatores: 6 (*A. mangium*; *S. virgata*; *E. camaldulensis*; *A. Mangium* x *S. virgata*; *A. Mangium* x *E. camaldulensis* e *S. virgata* x *E. camaldulensis*) e 2 (inoculadas e não inoculadas com FMAs) totalizando 12 tratamentos, com 4 repetições.

Termos de indexação: áreas degradadas, micorriza, leguminosas, rizóbio, eucalipto.

⁽¹⁾Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF.

⁽²⁾Doutorando do curso de Produção Vegetal da UENF/CCTA. Av. Alberto Lamego 2000, Campos dos Goytacazes (RJ). CEP: 28013-600. E-mail: schiavo@uenf.br

⁽³⁾ Pesquisadora da UENF/CCTA. Bolsista da CAPES. E-mail: lua@uenf.br

⁽⁴⁾Professor Associado, UENF/CCTA. Bolsista do CNPq. E-mail: marco@uenf.br

Mudas de acácia e sesbânia inoculadas com os FMAs apresentaram maior altura, diâmetro do colo e matéria seca da parte aérea em relação às não inoculadas, enquanto as mudas de eucalipto inoculadas apresentaram maior altura e diâmetro do

colo em relação às não inoculadas. As espécies em plantio na cava de extração de argila apresentaram elevada sobrevivência (> 80%) e rápido crescimento, com altura em média de 7m (acácia e eucalipto) e 3,5m (sesbânia) aos 600 dias após o plantio no campo (DAPC), não sendo verificada influência do tipo de cultivo. Plantas de acácia inoculadas com FMAs apresentaram maior altura (aos 45 DAPC) e diâmetro do colo (aos 45 e aos 220 DAPC) em relação as não inoculadas. Pelos resultados preliminares, o cultivo das leguminosas em consórcio com o eucalipto não causou efeitos no crescimento do eucalipto.

INTRODUÇÃO

Com o declínio da atividade canavieira na região Norte/Noroeste Fluminense, outras alternativas vêm ocupando o cenário econômico da região. Dentre as várias opções de uso das terras antes destinadas à monocultura da cana-de-açúcar, destaca-se a extração de argila promovida pela atuação de diversas cerâmicas, produzindo em média 3.100.000 peças/dia e empregando cerca de 4.500 trabalhadores.

Apesar da importância sócio-econômica, esta atividade provoca a degradação do solo. Com uma retirada diária estimada em, aproximadamente, 7000 m³ de solo, a área degradada no município de Campos dos Goytacazes - RJ gira em torno de 3500 m² /dia, considerando a profundidade de exploração em média de 2 m (Costa Júnior, 1997). Levando-se em conta, que tanto as clareiras quanto as lavras abertas, geralmente correspondem a uma superfície maior que a da área de exploração do subsolo (correspondentes a bordaduras e aceiros), têm-se um quadro bem mais alarmante. A extensão da área degradada tem enorme repercussão na área ambiental. Não bastassem os efeitos danosos ao sistema edáfico, a área perturbada é de tal representatividade, que são perceptíveis as alterações paisagísticas promovidas em pequenos intervalos de tempo, sendo prováveis também, distúrbios na fauna da região.

Diversos estudos têm mostrado que o processo economicamente mais viável para recuperação destas áreas é a revegetação com espécies leguminosas que

inoculadas com os microssimbiontes rizóbio e fungos micorrízicos, possam crescer e se estabelecer nestas áreas (Franco & Faria 1997).

No caso específico das áreas de extração de argila, existe por parte dos ceramistas, resistência ao plantio dessas leguminosas por temerem repressão dos órgãos ambientais, como o IBAMA, no momento em que acharem conveniente o corte das espécies para a utilização da madeira. O mesmo não ocorre com o eucalipto e sua madeira é retirada normalmente para que possa ser utilizada como combustível na “queima” das peças no processo de fabricação das cerâmicas. Porém, seu crescimento e desenvolvimento nestas áreas não têm sido satisfatório quando comparado a plantios comerciais com as mesmas espécies em outros estados. Como alternativa sugere-se o plantio do eucalipto em consórcio com leguminosas arbóreas inoculadas com rizóbio e fungos micorrízicos.

A obtenção de mudas de espécies florestais com alta qualidade morfofisiológica, produzidas a baixo custo, é um dos fatores mais importantes para o sucesso do futuro povoamento florestal. A qualidade das mudas pode ser avaliada por características como altura e diâmetro do colo, sendo estas variáveis de acordo com a espécie. De acordo com Querreiro & Colli Júnior (1984), mudas de *Eucalyptus saligna* e *E. urophylla* aptas ao plantio devem apresentar diâmetro do colo mínimo de 2,0 mm e altura da parte aérea entre 20 e 35 cm. Para as mudas de espécies florestais atingirem estas características conferindo-lhes alta qualidade, dentre outros fatores, devem apresentar teores nutricionais balanceados. Neste ponto, as micorrizas podem ter efeito positivo, uma vez que apresentam a capacidade de aumentar a absorção de nutrientes, principalmente àqueles de baixa mobilidade no solo, como o P (Marschner & Dell, 1994), e ainda, conseguem reter no micélio, elementos que se encontram em níveis tóxicos (Galli et al., 1994).

O presente trabalho teve como objetivos avaliar: os efeitos dos fungos micorrízicos arbusculares no crescimento das mudas de *Acacia mangium* Willd., *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis*, em casa de vegetação; a taxa de sobrevivência e o comportamento das espécies em monocultivo ou em consórcio, em função da inoculação ou não com FMAs, em áreas degradadas pela extração de argila.

MATERIAL E MÉTODOS

Casa de vegetação

O experimento foi realizado em casa de vegetação, pertencente a UENF - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, localizada no Município de Campos dos Goytacazes- RJ, sendo as mudas de *Acacia mangium* Willd, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis* produzidas em delineamento inteiramente casualizado, com os tratamentos, com e sem inoculação com os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). O período de produção de mudas foi de março a junho de 2002 (eucalipto) e abril a junho de 2002 (leguminosas).

Utilizou-se FMAs nativos pertencentes ao banco de inóculo do Laboratório de Solos (Lsol/UENF), isolados de uma área de extração de argila, pertencente à cerâmica Caco Manga Ltda, localizada no Distrito de Ururaí, no Município de Campos dos Goytacazes, RJ. Amostras dessa mistura foram enviadas para o Departamento de Biologia da Universidade Estadual de Maringá (PR) para identificação das espécies de FMAs. Foram identificadas as seguintes espécies: *Glomus macrocarpum*, *G. etunicatum* e *Entrophospora colombiana*.

O substrato utilizado na multiplicação dos FMAs consistiu-se de uma mistura de solo e areia na proporção de 1:2 (v/v). O substrato foi esterilizado em autoclave por três vezes, a uma temperatura de 121⁰C, por uma hora. O substrato foi colocado em vasos de cultivo com 5 dm⁻³ de capacidade e adicionou-se uma amostra de 50 g de solo contendo esporos e raízes colonizadas com os FMAs nativos, a 3 cm da superfície. A seguir foram semeadas seis sementes de *Brachiaria brizantha*, que tiveram a superfície esterilizada com solução de 0,5% de hipoclorito de sódio, durante 15 minutos. Após a embebição, as sementes foram lavadas com água esterilizada, por quatro vezes consecutivas. Os vasos foram mantidos em casa de vegetação por um período de quatro meses para a multiplicação dos fungos. Após este período a parte aérea da *B. brizantha* foi cortada e descartada. Suas raízes permaneceram no solo por mais um mês sem irrigação para estimular a esporulação

dos FMAs. As raízes picadas juntamente com o solo de cultivo foram utilizadas como fonte de inóculo para o experimento.

Para a produção de mudas das leguminosas, como recipiente, utilizou-se tubetes modelo cônico, com seção circular, contendo oito frisos internos longitudinais e eqüidistantes, 190 mm de altura, 50 mm de diâmetro interno superior e volume de 250 cm³. Para a espécie de eucalipto foi utilizado o modelo de seção circular, com diâmetro interno superior de 2,5 cm e altura de 12 cm, contendo seis frisos internos longitudinais e eqüidistantes, com capacidade volumétrica de 50 cm³.

O substrato utilizado nos tubetes para a produção das mudas foi o mac plant florestal. A análise química do mac plant apresentou os seguintes resultados: pH (H₂O; 1:2,5), 6,6; P (Mehlich-1), 3540 mg dm⁻³; P (H₂O), 73 mg dm⁻³; K, 742 mg dm⁻³; Ca, 151 mmol_c dm⁻³; Mg, 63 mmol_c dm⁻³; Al, 0,0 mmol_c dm⁻³; H total, 29 mmol_c dm⁻³; Na, 4,9 mmol_c dm⁻³; C, 82,8 g kg⁻¹; N total, 12,8 g kg⁻¹.

As sementes de *A. mangium* provenientes da Embrapa Agrobiologia, Seropédica (RJ) e de *S. virgata*, coletadas de planta matriz localizadas no Município de Campos dos Goytacazes (RJ), foram submetidas à quebra de dormência por intermédio de imersão em ácido sulfúrico concentrado (Davide et al., 1995) por um período de 20 minutos, sendo, a seguir, desinfestadas com hipoclorito de sódio 0,5 %, por três minutos e lavadas com água corrente destilada. As sementes de *E. camaldulensis* foram procedentes do Instituto de Pesquisas Florestais (IPEF), de Piracicaba (SP).

No tratamento com FMAs a inoculação foi realizada no momento da semeadura nos tubetes, tendo como inóculo 5 ml de uma mistura de solo, raízes colonizadas e esporos do fungo (cerca de 120 esporos de *Glomus macrocarpum*, 100 de *G. etunicatum* e 80 de *Entrophospora colombiana*). Para equilibrar a microbiota entre os tratamentos inoculados e sem inoculação, adicionou-se aos últimos, depois da semeadura, 1 ml de filtrado de inóculo, isento de propágulos de FMAs. No caso das leguminosas, foram também inoculadas com estirpes selecionadas de rizóbio (acácia Br 3609 e Br 6009 e sesbânia Br 5401), da coleção pertencente à Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ.

O crescimento das leguminosas e do eucalipto foram avaliados com medições periódicas de altura e diâmetro do colo e, aos 120 (leguminosas) e 150 (eucalipto)

dias após a semeadura (DAS), as plantas de cada tratamento foram coletadas e o sistema radicular foi separado da parte aérea, para a determinação da colonização micorrízica e nodulação por rizóbio (número de nódulos). Após lavagem com água de torneira, amostras de 2 cm de comprimento das raízes foram coletadas e conservadas em álcool a 50 % para posterior determinação da colonização pelo método da interseção em placa de Petri reticulada (Giovannetti & Mosse, 1980), após a coloração das raízes com azul de metila (Koske & Gemma, 1989; Grace & Stribley, 1991). A parte aérea e o restante do sistema radicular foram colocados para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até peso constante.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Plantio na cava de extração de argila

Aos 120 e 150 DAS em casa de vegetação as mudas das leguminosas e do eucalipto, respectivamente, foram plantadas em cava de extração de argila no delineamento experimental blocos casualizados em esquema fatorial 6x2, sendo os fatores: 6 (*A. mangium*, *S. virgata*, *E. camaldulensis*, *A. Mangium* x *S. virgata*, *A. Mangium* x *E. camaldulensis* e *S. virgata* x *E. camaldulensis*) e 2 (com e sem FMAs), totalizando 12 tratamentos, com 4 repetições.

No processo de extração da argila a camada superficial mais rica em matéria orgânica foi retirada e colocada à parte. Após a retirada da argila, atingindo aproximadamente 3 m de profundidade, a camada superficial foi devolvida para o fundo da cava e a área nivelada mecanicamente.

Antes do plantio e preparo da área foram coletadas amostras do substrato da cava, com trado seccionado, na camada de 0,00-0,20 m de profundidade. A análise química mostrou os seguintes resultados: pH (H₂O; 1:2,5), 5,7; P (Mehlich-1), 7,7 mg dm⁻³; K, 81,2 mg dm⁻³; Ca, 3,65 cmol_c dm⁻³; Mg, 2,87 cmol_c dm⁻³; Al, 0,18 cmol_c dm⁻³; H+Al, 3,4 cmol_c dm⁻³; Na, 0,87 cmol_c dm⁻³; C, 11,4 g kg⁻¹; M.O, 19,65 g kg⁻¹; S.B, 7,6 cmol_c dm⁻³; T, 11,0 cmol_c dm⁻³; t, 7,78 cmol_c dm⁻³; m, 2,75 %; V, 68,25 %; Fe, 103,75 mg dm⁻³; Cu, 2,30 mg dm⁻³; Zn, 2,30 mg dm⁻³ e Mn, 26,68 mg dm⁻³.

Para o preparo da área realizou-se uma aração e duas gradagens. Em seguida, promoveu-se o sulcamento com espaçamento de três metros entre sulcos. Nos sulcos procedeu-se a abertura das covas, com espaçamento de 2 m e dimensões de 0,30 x 0,30 x 0,30 m.

Em cada bloco, cada tratamento foi constituído por 16 plantas, plantadas no espaçamento de 3x2 m. Nos tratamentos consorciados, as linhas foram alternadas com o plantio das espécies. Dentro de cada bloco, cada tratamento foi isolado dos demais pelo plantio de bordadura, constituída por duas linhas de plantas de eucalipto sem nenhum tratamento microbiológico ou adubação.

Após o plantio das mudas na cava de extração de argila foram realizados os seguintes tratamentos culturais: controle de ervas daninhas, combate às formigas e irrigação conforme a necessidade.

Aos 30 dias após o plantio no campo (DAPC), foi realizada avaliação da determinação do percentual de sobrevivência, aos 45, 80, 120, 220 e 600 DAPC foram realizadas medições de altura, e, aos 45, 80, 120 e 220 DAPC foram realizadas medições de diâmetro do colo das plantas.

Para cada época de avaliação, os dados obtidos, foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Casa de vegetação

A altura e o diâmetro do colo das mudas de acácia, sesbânia e eucalipto, encontram-se na Tabela 1. Mudas das leguminosas e do eucalipto tiveram a altura e o diâmetro do colo influenciados pela inoculação dos FMAs. Mudas de acácia, inoculadas com FMAs apresentaram incrementos na altura de 48,26; 21,50 e 6,21 % aos 35, 75 e 98 DAS, respectivamente, em relação às não inoculadas. Mudas de sesbânia, inoculadas com FMAs apresentaram maior altura em relação às não inoculadas, porém, com baixos incrementos de 11,08 e 6,25 % aos 35 e 75 DAS, respectivamente. Aos 98 DAS, mudas de acácia e sesbânia não inoculadas apresentaram altura semelhante, estatisticamente, às inoculadas. As mudas de eucalipto inoculadas com FMAs, em todos os períodos de avaliação apresentaram

maior altura em relação às não inoculadas. Os incrementos foram de 40,18, 13,12 e 16,51 % aos 70, 110 e 133 DAS, respectivamente. Na primeira avaliação das mudas de acácia (aos 75 DAS) e eucalipto (aos 133 DAS), observou-se que as micorrizas proporcionaram maior diâmetro de colo, em relação às não inoculadas. Porém, nos outros períodos de avaliação e para a sesbânia os valores não diferiram estatisticamente.

A produção de matéria seca da parte aérea, matéria seca das raízes, matéria seca total, o número de nódulos e a colonização micorrízica são apresentados na Tabela 2. Verificou-se maior acúmulo de matéria seca da parte aérea das mudas de acácia e sesbânia inoculadas com os FMAs, em relação às não inoculadas, com incrementos de 49,62 e 51,88%, respectivamente. Ainda, para a sesbânia, a inoculação com os FMAs proporcionou maior acúmulo de matéria seca das raízes, e de matéria seca da planta toda, com incrementos de 83 e 58%, respectivamente, em relação às não inoculadas. Para a acácia, a produção de matéria seca das raízes e da planta toda não foram influenciadas pela inoculação com os FMAs.

As mudas das leguminosas apresentaram boa nodulação. Porém, apenas para a sesbânia, verificou-se aumento do número de nódulos em função da inoculação com os FMAs, corroborando com os resultados obtidos por Costa & Paulino et al. (1992), em relação a maior nodulação e fixação biológica de nitrogênio (FBN) em leguminosas com a dupla inoculação de FMAs e rizóbio.

As raízes das mudas de acácia, sesbânia e eucalipto, apresentaram elevada percentagem de colonização micorrízica, sendo de 79,20; 85,60 e 80,60%, respectivamente. No tratamento sem inoculação com FMAs, foram observadas presença de estruturas dos FMAs nas raízes das mudas. Essa pequena percentagem de colonização (< 13%) pode ser explicada pelo fato do substrato utilizado não ter sido esterilizado, ou pela presença de propágulos na água de irrigação utilizada durante o período de condução do experimento.

A produção de mudas com qualidade é uma etapa muito importante dentro do setor florestal, uma vez que essas plantas quando levadas à campo, quer seja para plantios comerciais, ou para reabilitação ou revegetação de áreas degradadas, possam apresentar menor taxa de mortalidade e rápido crescimento. Para a avaliação da qualidade de mudas, comumente são utilizadas entre outras

características, a altura, o diâmetro do colo e a matéria seca das mudas, sendo variáveis de acordo com a espécie. De acordo com Guerreiro & Colli Junior (1984), mudas de *Eucalyptus urophylla* e *E. salina*, são consideradas com qualidade para serem levadas à campo quando apresentarem no mínimo 2 mm de diâmetro do colo e altura oscilando entre 15 e 35 cm. No presente trabalho, em todos os tratamentos as mudas se enquadraram dentro destas características, indicando estarem aptas ao plantio no campo.

Vários fatores podem contribuir para a melhoria da qualidade das mudas, merecendo destaque a inoculação com os microssimbiontes fungos micorrízicos e rizóbio. Alguns autores, (Pouyú-Rojas & Siqueira, 2000; Schiavo & Martins, 2003; Rodrigues et. al., 2003), observaram efeito positivo da inoculação com FMAs na qualidade das mudas de espécies florestais com potencial de uso em áreas degradadas, corroborando com os resultados obtidos para *A. mangium* e *S. virgata*, do presente trabalho.

A FBN apresenta elevada exigência energética, com o gasto de 25 moléculas de ATP para cada molécula de N₂ fixado (Marschner, 1995), sendo o fósforo (P) um dos fatores mais limitantes ao estabelecimento de uma nodulação eficaz. Na simbiose leguminosa rizóbio, os FMAs assumem grande importância, podendo proporcionar maior absorção de P e maior nodulação, com conseqüente aumento do crescimento da planta (Sun et al., 1992; Faria et al., 1995). No presente trabalho, os FMAs aumentaram a nodulação apenas das mudas de sesbânia (em torno de 120 %). Possivelmente, a acácia, ao contrário da sesbânia, apresenta menor exigência em relação a P, ou, o teor de P (3540 mgdm⁻³) encontrado no substrato utilizado para produção das mudas, tenha sido suficiente para promover eficaz nodulação da acácia, não sendo verificado efeito dos FMAs. Schiavo & Martins (2003), em trabalho de produção de mudas de *Acacia mangium* Willd, em substrato proveniente da indústria açucareira (torta de filtro), com elevado teor de P, observaram efeito positivo da inoculação dos FMAs sobre a nodulação.

No caso do eucalipto, a altura e o diâmetro do colo foram maiores nas mudas inoculadas com os FMAs, com valores superiores aos considerados por Guerreiro & Colli Junior (1984), como de qualidade para as mudas serem levadas a campo. Porém, a matéria seca das mudas inoculadas com os FMAs, foi menor em relação às

não inoculadas, contrariando os resultados obtidos por Rodrigues et al. (2003). No entanto, esses autores trabalharam com a espécie *E. grandis*, enquanto no presente experimento a espécie utilizada foi a *E. camaldulensis*. Plenchette et al. (1983), comenta sobre a existência de variação na dependência micorrízica entre espécies de plantas, o que indica que a espécie *E. camaldulensis* pode apresentar uma menor dependência que outras espécies de eucalipto. Outra hipótese, é que pode ter ocorrido competição por fotoassimilados entre os FMAs e a planta hospedeira de eucalipto. De acordo com Ruiz-Lozano & Azcón (1994), a inoculação de microrganismos numa planta pode provocar a competição por fotoassimilados entre organismos, ou seja, FMAs e as raízes do hospedeiro, principalmente em condições limitantes de nutrientes. A presença dos FMAs no hospedeiro pode consumir quantidades significativas de carbono (Buwalda & Goh, 1982). Conforme Van Veen et al. (1989), os FMAs podem consumir até 30% do carbono fotoassimilado pela planta hospedeira.

Plantio na cava de extração de argila

A taxa de sobrevivência das mudas de acácia, sesbânia e eucalipto são apresentados na Figura 1. Independe da inoculação com os FMAs e do consórcio, as três espécies apresentaram elevada percentagem de sobrevivência (> 80 %), 30 dias após plantio no campo (DAPC), na área degradada pela extração de argila. Independente da inoculação com os FMAs, a sobrevivência das plantas de acácia em monocultivo e em consórcio com sesbânia foram semelhantes (> 90%), e maiores, quando comparadas à da acácia em consórcio com eucalipto (Figura 1A). Ainda, verificou-se que plantas de acácia em consórcio com eucalipto e inoculadas com FMAs apresentaram maior sobrevivência (13,7%) em relação as sem inoculação. Plantas de sesbânia em monocultivo apresentaram 100% de sobrevivência tanto com, como sem fungo (Figura 1B). Porém, quando em consórcio com acácia e eucalipto foram observados decréscimos variando de 6,4 a 4,7%, respectivamente. Em relação às plantas de eucalipto em monocultivo, ao contrário da acácia e sesbânia, apresentaram os menores percentuais de sobrevivência, comparados aos consórcios (Figura 1C). Os aumentos de percentuais de

sobrevivência, em consórcio com acácia e sesbânia, variaram de 7 a 3 %, respectivamente.

Os níveis descritivos de probabilidade associados às hipóteses de nulidade para os fatores cultivo, inoculação com FMAs na fase de produção de mudas, suas interações e seus respectivos coeficientes de variação, são apresentados na tabela 3. Para as três espécies, foram observados efeitos significativos ($p < 0,05$) apenas para o fator isolado inoculação com FMAs (Tabela 3). Plantas de acácia apresentaram significância ($p < 0,05$) para as variáveis altura aos 45 dias após plantio no campo - DAPC (A45), diâmetro do colo aos 45 e 220 DAPC (D45 e D220); as de sesbânia para as variáveis A80, A120, D80 e D120; e, as de eucalipto para as variáveis A220, A600, D120 e D220 (Tabela 3).

Os valores médios das medições de altura e diâmetro do colo, das três espécies, em função do cultivo (monocultivo e em consórcio), são apresentados na Figura 2. Para cada espécie, não verificaram-se diferenças na altura e diâmetro do colo, das plantas cultivadas em monocultivo e em consórcio (Figura 2). As plantas de acácia apresentaram crescimento inicial reduzido, não ultrapassando 2 m de altura e 10 mm de diâmetro do colo, aos 220 e 120 DAPC, respectivamente (Figura 2A e 2B). No entanto, após este período de medição, o crescimento foi acelerado, e as plantas atingiram 6 m de altura e 25 mm de diâmetro do colo aos 600 e 220 DAPC, respectivamente. As plantas de sesbânia, em relação às de acácia e eucalipto, apresentaram crescimento inicial acelerado, até aos 220 e 120 DAPC para altura e diâmetro do colo, respectivamente (Figura 2C e 2D). Após este período, ao contrário da acácia e do eucalipto, poucos incrementos de altura e diâmetro do colo foram observados. O comportamento do eucalipto foi semelhante ao da acácia, com altura de 6m e diâmetro do colo de 25 mm, aos 600 e 220 DAPC, respectivamente (Figura 2E e 2F).

Na Figura 3 são apresentados os valores de altura e diâmetro do solo em função da inoculação com os FMAs na fase de produção das mudas. Plantas de acácia inoculadas com os FMAs, aos 45 DAPC, para altura e diâmetro colo, e, aos 220 DAPC para diâmetro do colo, foram estatisticamente maiores, comparadas às não inoculadas (Figura 3A e 3B). Nas demais medições não observou-se diferenças entre os tratamentos de inoculação com os FMAs. As plantas de sesbânia e

eucalipto, em relação à inoculação com os FMAs, apresentaram comportamento semelhante (Figura 3C, 3D, 3E e 3F). Em relação às plantas não inoculadas, sesbania inoculada com FMAs apresentou menor altura e diâmetro do colo aos 80 e 120 DAPC (Figura 3C e 3D), e, o eucalipto inoculado com FMAs menores altura aos 220 e 600 DAPC e diâmetro do colo aos 120 e 220 DAPC (Figura 3E e 3F).

Nos últimos anos, o plantio de espécies de crescimento rápido, nativas ou exóticas, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais têm aumentado. De acordo com a FAO (1993), em 1990, a área estimada de plantios não comerciais (mais especificamente para fins de recuperação de áreas degradadas) foi de 28,2 milhões de hectares. Deste total, 82 % encontra-se na Ásia e região do Pacífico, 12% na América Latina e no Caribe, e 6% na África. A maioria desses plantios, semelhantes aos comerciais, têm sido realizados em monocultivo, sendo necessário após anos consecutivos de cultivo aplicações elevadas de fertilizantes minerais, para manutenção da produtividade, principalmente quando a espécie utilizada não forma associação com rizóbio, como o eucalipto. De acordo com Nykvist et al. (1994), Khanna (1997), Parrota (1999), Binkley et al. (2000) e Bauhus et al. (2000), o monocultivo de eucalipto, com exportações de nutrientes através da colheita da madeira, pode afetar as características químicas, físicas e microbiológicas do solo, com conseqüente diminuição da produtividade.

Alguns trabalhos têm mostrado o potencial de uso de leguminosas arbóreas fixadoras de N em consórcio com espécies não fixadoras. Bauhus et al. (2000), verificaram que aos 6,5 anos após o plantio em consórcio de *Acacia mangium* Willd com *Eucalyptus globulus* na proporção 1:1, produziram 48 m³.ha⁻¹ de madeira, 28 e 10 m³. ha⁻¹ a mais comparados aos produzidos pelo monocultivo do eucalipto e acácia, respectivamente. Ainda, os mesmos autores verificaram que as raízes de eucalipto em consórcio com acácia (1:1) apresentaram maiores teores de N, sendo provavelmente oriundos da FBN, através da senescência dos nódulos e raízes da leguminosa, e posteriormente absorvidos pelo eucalipto, ou pela transferência direta entre as espécies via hifas dos FMAs. Dessa maneira, no plantio consorciado de eucalipto com acácia, o N pode ser suprido, parcial ou total, via FBN da leguminosa (Khanna, 1997; Wichienopparat et al., 1998). Esta resposta foi também confirmada por Rodrigues et al. (2003), que observaram que a transferência de ¹⁵N via hifas de

FMA de sesbânia para eucalipto foi significativamente maior do que quando as plantas não foram micorrizadas. Com relação aos nutrientes do solo, quando são utilizadas leguminosas fixadoras de N, o P, principalmente em áreas degradadas, pode ser o elemento mais limitante, exigindo muitas vezes aplicações no plantio. São utilizados preferencialmente os fosfatos naturais, tendo solubilidade e absorção facilitada pela presença dos FMAs. O aumento na aquisição de P em plantas micorrizadas, muitas vezes proporciona também o aumento na FBN, fato este comprovado no trabalho realizado por Pralon & Martins (2001).

Alguns fatores podem afetar o crescimento das espécies quando são cultivadas em consórcio, destacando-se a competição entre as espécies e a fertilidade do solo, além do sombreamento, após um período de crescimento das plantas. A competição entre as espécies pode ser avaliada através da relação entre a altura e o diâmetro à altura do peito (H/DAP), refletindo na alocação de carbono para crescimento do dossel (altura), para maior absorção de luz a ser utilizada na fotossíntese. Bauhus et al. (2000) verificaram maior competitividade do *E. globulus* em relação a *A. mearnsii*, quando consorciadas.

No presente trabalho, não observou-se diferenças de crescimento das plantas em função do cultivo. Este fato pode ser explicado pelo período de avaliação do trabalho (600 DAPC), não sendo suficiente para que houvesse benefício, ou competição entre as espécies.

Em alguns períodos de avaliação plantas de eucalipto e sesbânia inoculadas com os FMAs, apresentaram altura e diâmetro do colo inferiores quando comparadas às sem inoculação, sendo possivelmente atribuído à competição entre os microrganismos, como discutido na fase de produção de mudas. Outro fato, é que propágulos de FMAs mais adaptados e presentes na área tendem a se associarem mais facilmente com as plantas não inoculadas (devido à competição entre os FMAs) proporcionando maiores benefícios. Resultados semelhantes foram observados por Pralon & Martins (2001), quando observaram que a inoculação com FMAs nativos da cava de extração de argila proporcionou maior colonização e crescimento nas plantas de sabiá cultivadas em estéril de argila, em comparação com o FMA *Glomus clarum*.

Trabalhos futuros deverão ser realizados na área do presente trabalho, verificando a influência do cultivo das leguminosas em consórcio com o eucalipto sobre a produção da biomassa aérea (volume de madeira), das raízes, quantidade e qualidade da serapilheira, e, características químicas, físicas e microbiológicas do solo.

CONCLUSÕES

Na fase de casa de vegetação, os FMAs proporcionaram maior crescimento das mudas, contribuindo para sua qualidade e podendo ser incorporado ao processo de produção das mesmas.

Na cava de extração de argila, as espécies apresentaram elevada sobrevivência e rápido crescimento, principalmente acácia e eucalipto.

Quanto ao plantio consorciado, até o período de avaliação não foram observados efeitos significativos no crescimento das espécies. Dessa maneira, sugere-se maior período de avaliação, para que mudanças nas características químicas, físicas e microbiológicas do solo possam ocorrer, contribuindo para ambas espécies, leguminosas fixadoras de N e eucalipto.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pelo auxílio financeiro, aos funcionários da Unidade de Apoio a Pesquisa (UAP) e à cerâmica Stilb LTDA pela concessão da área para realização do experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bauhus, J.; Khanna, P.K.; Menden, N. Aboveground and belowground interactions in mixed plantations of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. Can. J. For. 30: 1886-1894. 2000.
- Binkley, D.; Giardina, C.; Bashkin, M.A. Soil phosphorus pools and supply under the influence of *Eucalyptus saligna* and nitrogen – fixing *Albizia facaltaria*. Forest Ecology and management 128. 241-247. 2000.

- Buwalda, J.G., Goh, K.M. (1982) Host-fungus competition for carbon as a cause of growth depression in VA mycorrhizal ryegrass. *Soil Biol. Biochem.*, 14: 103-106.
- Costa Júnior, P.F. (1997) Comportamento de leguminosas arbóreas inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio em estéril de extração de argila. Tese (Mestrado em Produção Vegetal)- Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – 72p.
- Costa, N.; Paulino, V.T. Response of leucaena to single and combined inoculation with rhizobium and mycorrhiza. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports* 10, 45-46, 1992.
- Davide, A.C.; Faria, J.M.R.; Botelho, S.A. Propagação de espécies florestais. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1995. 41p.
- Fao, 1993. Forest resources assessment 1990: tropical countries. FAO Forestry paper 112. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Pp. 59.
- Faria, M.P. de.; Siqueira, J.O.; Vale, F.R. do. & Curi, N. Crescimento de leguminosas arbóreas em resposta a fósforo, nitrogênio, fungo micorrízico e rizóbio. I. *Albizia lebbek* (L.) Benth. *Rev. Árv*, 19:293-307, 1995.
- Franco, A.A., Faria, S.M. (1997) The contribution of N₂-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. *Soil Biol. Biochem.* 29(516). 897-903.
- Galli, U.; Schuepp, H.; Brunold, C. Heavy metal binding by mycorrhizal fungi. *Physiol. Plant.* 92:364-368, 1994.
- Giovannetti, M.; Mosse, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytology*, Cambridge, v.84, p.489-500, 1980.
- Querreiro, C.A; Colli junior, G. Controle de qualidade de mudas de *Eucalyptus* spp. na Champion Papel e Celulose S.A. In: simpósio internacional de Métodos de produção de mudas e controle de qualidade de sementes e mudas florestais (1984. Curitiba). Métodos de produção e controle de qualidade de sementes e mudas florestais. Curitiba: Universidade Federal do Paraná/FUPEF., 1984. P. 127-133.
- Grace, C. & Stribley, D.P. A safer procedure for routine staining of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycological Research*, v.95, p.1160-1162, 1991.

- Khanna, P.K. Comparison of growth and nutrition of young monocultures and mixed stands of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *Forest Ecology and Management* 94, 105:113. 1997.
- Koske, R. E. & Gemma, J. N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. In: *Mycology Research*, n. 92, 1989. p. 488-505.
- Marschner, H., Dell, B. (1994) Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 159:89-102.
- Marschner, H. (ed) (1995) *Mineral Nutrition of Higher plants*. London, Academic Press Limited, 889p.
- Nykvist, N.; Grip, H.; Sim, B.L.; Malmer, A.; Wong, F.K. Nutrient losses in forest plantations in Sabah, Malaysia. *Ambio*, 23: 210-215. 1994.
- Parrota, J.A. Productivity, nutrient cycling, and succession in single – and mixed – species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta*, and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management* 124, 45-77. 1999.
- Planchette, C.; Fortin, J.A.; Furlan, V. Growth responses of several species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. *Plant Soil*, 70: 119-209, 1983.
- Pouyú-rojas, E. & Siqueira, J.O. Micorriza arbuscular e fertilização do solo no desenvolvimento pós-transplante de mudas de sete espécies florestais. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.35, n.1, p.103-114, 2000.
- Pralon, A.Z.; Martins, M.A. Utilização do resíduo industrial ferkal na produção de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia*, em estéril de extração de argila, inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio. *R. Bras. Ci. Solo*, 25: 55-63, 2001.
- Rodrigues, L.A.; Martins, M.A.; Salomão, M.S.M.B. Uso de micorrizas e rizóbio em cultivo consorciado de eucalipto e sesbânia. I. Crescimento, absorção e transferência de nitrogênio entre plantas. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:583-591, 2003.
- Ruiz-Lozano, J.M., Azcón, R. (1994) Development and activity of the symbiosis between *Bradyrhizobium* strains, *Glomus* species and *Cicer arietinum* – effect of timing of inoculation and photon irradiance. *Symbiosis.*, 16: 249-265.

- Schiavo, J.A.; Martins, M.A. Produção de mudas de acácia colonizadas com micorrizas e rizóbio em diferentes recipientes. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 38, n. 2, p. 173-178, 2003.
- Sun, J.S., Simpson, R.J., Sands, R. (1992) Nitrogenase activity of two genotypes of *Acacia mangium* as affected by phosphorus nutrition. *Plant Soil*, The Hague, 144: 51-58.
- Van Veen, J.A., Merokx, R., Van de Geijn, S.C. (1989) Plant and soil related controls of the flow of carbon from roots through the soil microbial biomass. *Plant and Soil*, 115: 179-188.
- Wichiennopparat, W.; Khanna, P.K.; Snowdon, P. Contribution of acacia to the growth and nutrients status of eucalypts in mixed – species stands at Ratchaburi, Thailand. In *Proceedings of the International Workshop: Recent Developments in Acacia Planting*. 27-30 Oct. 1997. Hanoi. Edited by J.W Turnbull, H.R. Crompton, and K. Pinyopusarerk. Australian Centre For International Agricultural Research. Canberra. Pp. 281-287.

Tabela 1. Altura e diâmetro do colo de mudas de *Acacia mangium* Willd, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis*, inoculadas ou não com FMAs, produzidas em casa de vegetação. DAS – dias após a semeadura.

Variáveis	DA S	Acácia		Sesbânia		DA S	Eucalipto	
		+FMAs	-FMAs	+FMAs	-FMAs		+FMAs	-FMAs
Altura (cm)	35	5,96 a	4,02 b	23,10 a	20,80 b	70	15,00 a	10,70 b
	75	24,30 a	20,00 b	34,00 a	32,00 b	110	18,10 a	16,00 b
	98	29,90 a	28,15 a	37,20 a	37,00 a	133	31,75 a	27,25 b
Diâmetro (mm)	75	3,05 a	2,59 b	3,73 a	3,54 a	110	2,65 a	2,30 a
	95	3,35 a	3,06 a	3,80 a	3,44 a	133	3,35 a	3,01 b

Para cada espécie e variável analisada, médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Peso da matéria seca da parte aérea (MSA), das raízes (MSR), da planta toda (MST), número de nódulos e colonização micorrízica de mudas de *Acacia mangium* Willd, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis*, inoculadas ou não com FMAs, produzidas em casa de vegetação.

Variáveis	Acácia		Sesbânia		Eucalipto	
	+ FMAs	- FMAs	+ FMAs	- FMAs	+ FMAs	- FMAs
MSA (g)	5,88 a	3,93 b	6,47 a	4,26 b	2,74 b	3,90 a
MSR (g)	1,79 a	1,52 a	1,94 a	1,06 b	0,80 b	1,40 a
MST (g)	7,67 a	5,45 a	8,41 a	5,32 b	3,55 b	5,30 a
Nº de nódulos	69,40 a	78,60 a	104,20 a	47,40 b	-	-
Colonização (%)	79,20 a	11,60 b	85,60 a	9,36 b	80,60 a	12,60 b

Para cada espécie e variável analisada, médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

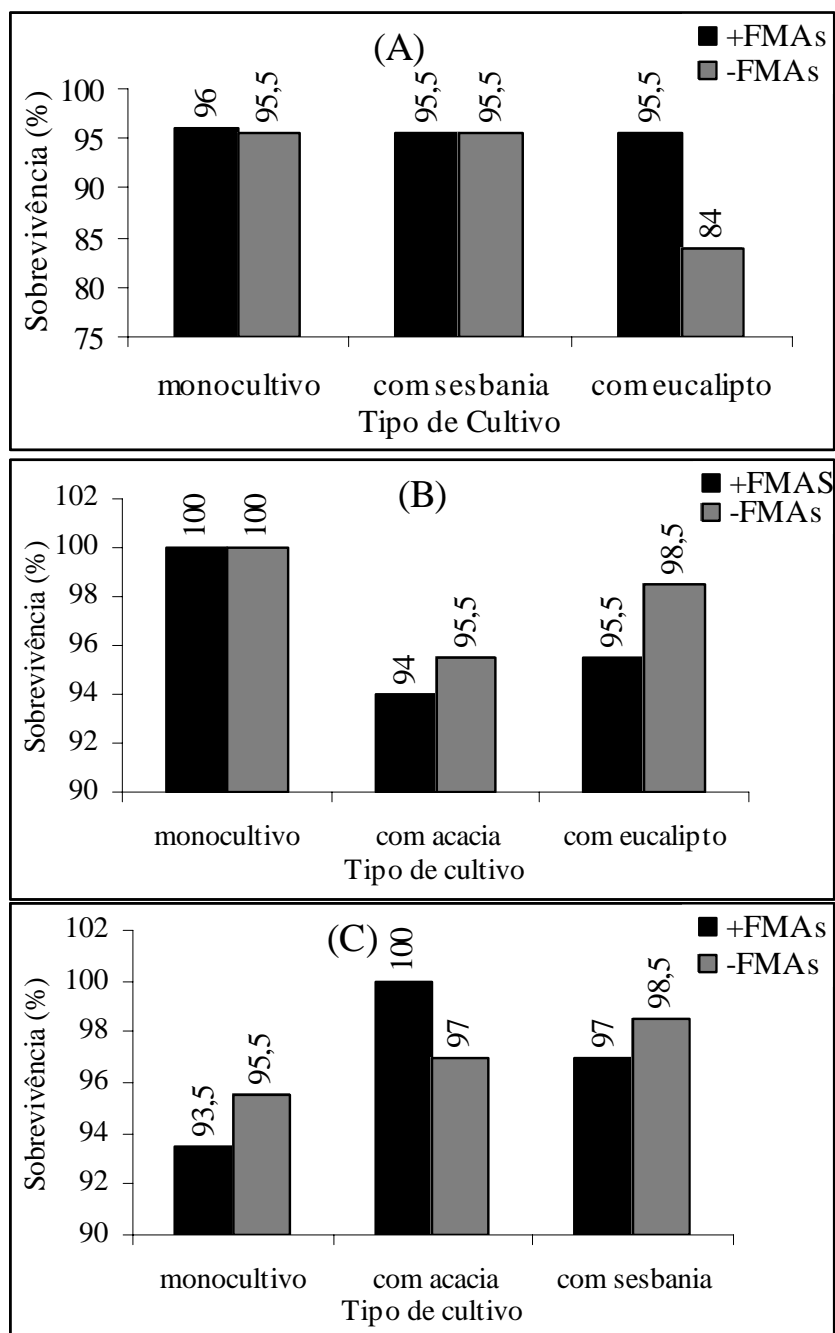


Figura 1. Taxa de sobrevivência de mudas de *Acacia mangium* Willd (A), *Sesbania virgata* (B) e *Eucalyptus camaldulensis* (C), em monocultivo ou em consórcio, inoculadas ou não com FMAs, 30 dias após plantio em cavas de extração de argila.

Tabela 3. Níveis descritivos de probabilidade (Valor P) para hipóteses de nulidade associadas à análise de variância para as diferentes variáveis analisadas, em plantas de *Acacia mangium* Willd, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis* em áreas degradadas pela extração de argila.

Variáveis ²	Efeito ¹			
	C	M	C x M	CV (%)
	<i>Acacia mangium</i>			
A45	0,3333	0,0265	0,2409	13,42
D45	0,1109	0,0472	0,0754	12,48
A80	0,5388	0,3876	0,3873	16,19
D80	0,3180	0,5002	0,2973	17,04
A120	0,3424	0,4641	0,3482	18,23
D120	0,3757	0,0955	0,3172	23,05
A220	0,5922	0,5366	0,5910	56,94
D220	0,1778	0,0457	0,2367	27,07
A600	0,1166	0,1673	0,3455	13,53
	<i>Sesbania virgata</i>			
A45	0,4895	0,3138	0,9852	16,77
D45	0,5309	0,1586	0,9991	19,00
A80	0,5186	0,0361	0,9855	15,65
D80	0,3083	0,0218	0,9559	15,01
A120	0,1883	0,0129	0,9390	8,07
D120	0,5375	0,0120	0,7288	12,18
A220	0,9104	0,3218	0,1392	9,07
D220	0,9123	0,3264	0,3559	12,30
A600	0,6243	0,9883	0,9714	17,43
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>			
A45	0,8691	0,1907	0,7873	22,62
D45	0,7270	0,6278	0,6729	25,42
A80	0,6106	0,7589	0,4394	26,79
D80	0,5511	0,1136	0,2770	27,41
A120	0,2622	0,0868	0,1733	31,31
D120	0,2789	0,0104	0,6054	37,43
A220	0,1500	0,0287	0,3970	55,68
D220	0,6037	0,0298	0,9394	45,87
A600	0,6012	0,0269	0,9978	36,34

¹C: cultivo; *A. mangium* Willd (monocultivo, consorciada com sesbania e/ou com eucalipto); *S. virgata* (monocultivo, consorciada com acácia e/ou com eucalipto); *E. camaldulensis* (monocultivo, consorciado com acácia e/ou com sesbania); M: inoculação com FMAs na fase de produção de mudas; e suas respectivas interações. A30, A60, A90, A150 e A210 (altura das plantas aos 30, 60 90, 150 e 210 dias após plantio no campo); D30, D60, D90 e D150 (diâmetro à altura do colo aos 30, 60, 90 e 150 dias após plantio no campo).

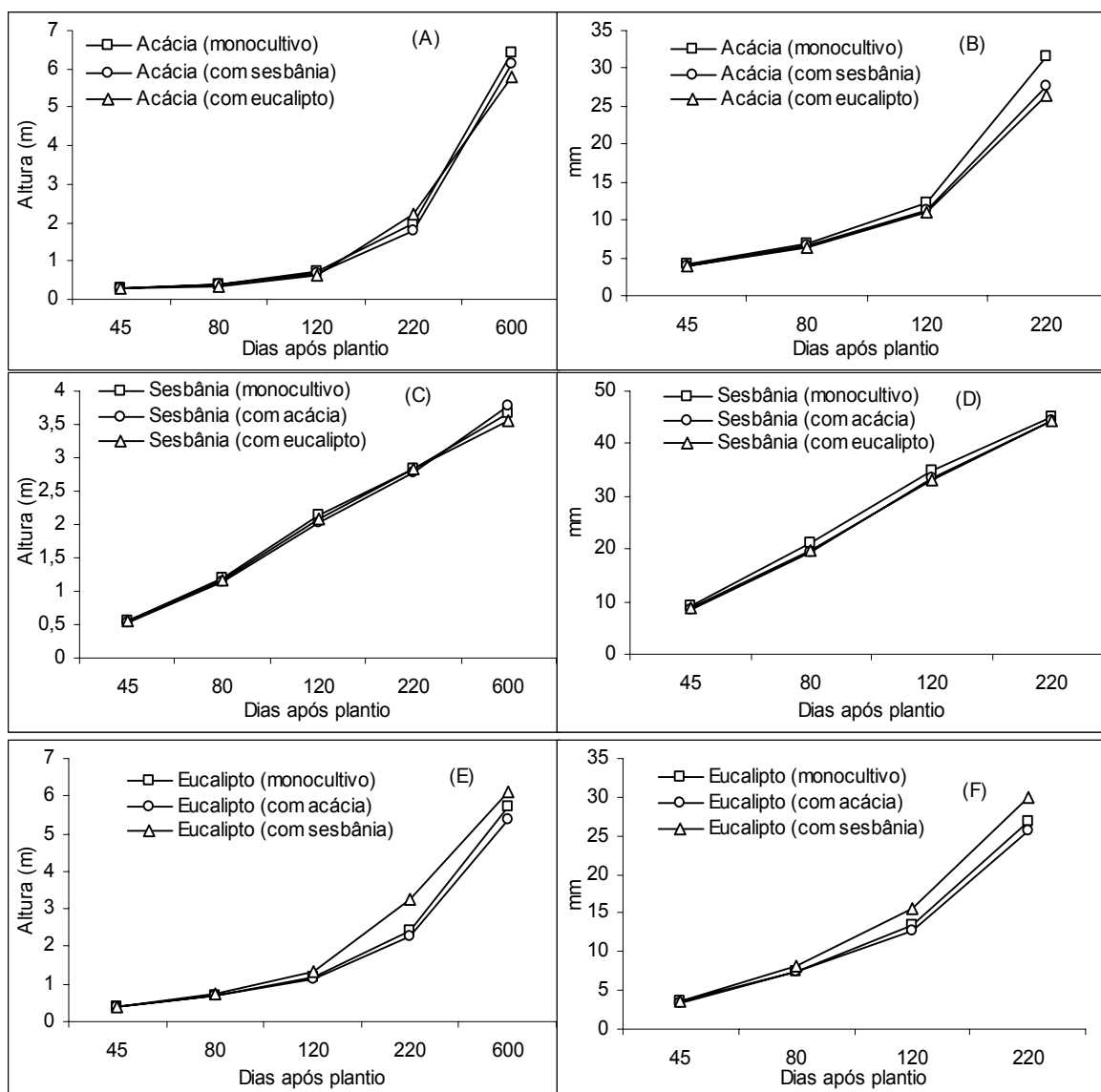


Figura 2. Altura e diâmetro à altura do colo das plantas de *Acacia mangium* Willd (A e B), *Sesbania virgata* (C e D) e *Eucalyptus camaldulensis* (E e F), respectivamente, em função do cultivo, em áreas degradadas pela extração de argila.

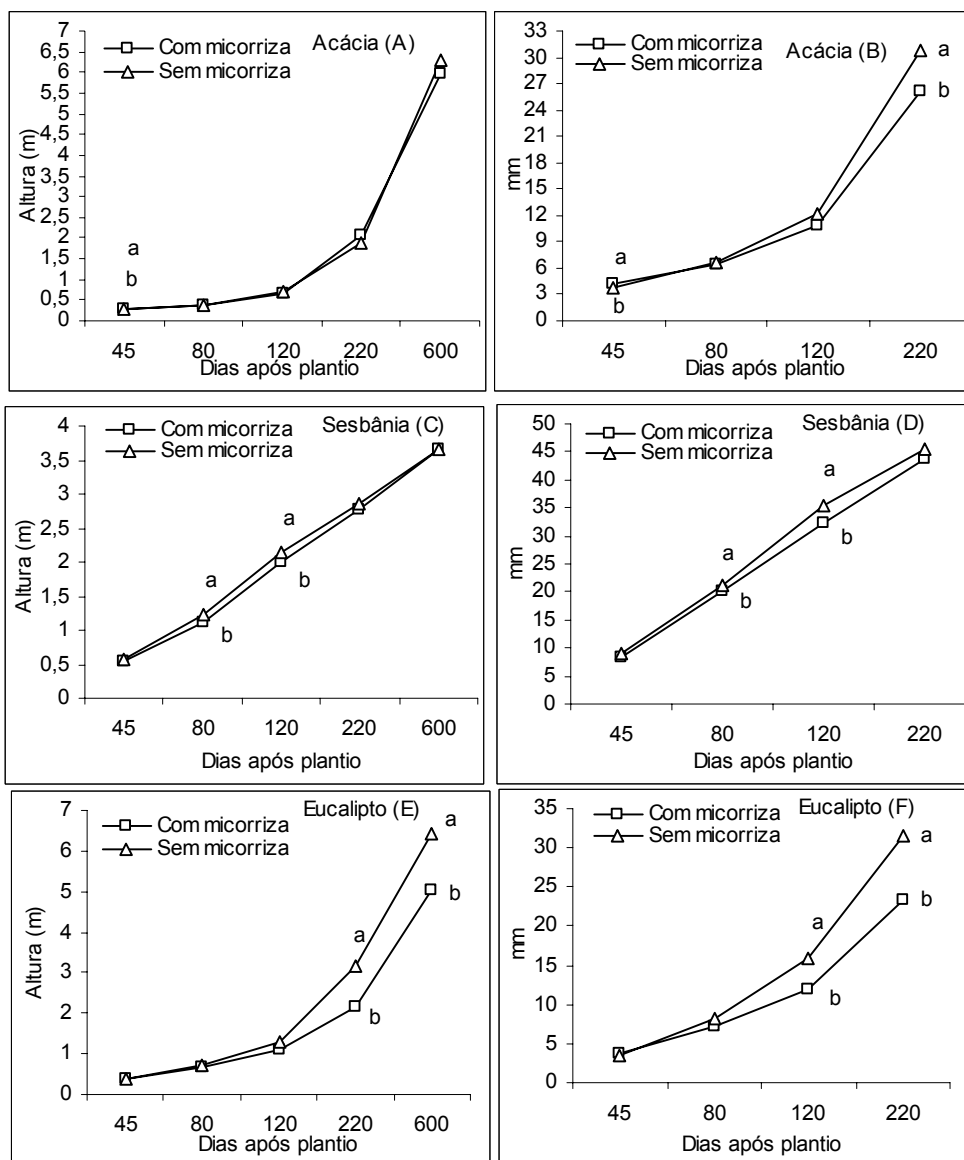


Figura 3. Altura e diâmetro à altura do colo das plantas de *Acacia mangium* Willd (A e B), *Sesbania virgata* (C e D) e *Eucalyptus camaldulensis* (E e F), respectivamente, em função da inoculação com FMAs, em áreas degradadas pela extração de argila.

**MONOCULTIVO E/OU CONSORCIAÇÃO DE LEGUMINOSAS E EUCALIPTO EM
ÁREA DEGRADADA PELA EXTRAÇÃO DE ARGILA. II. AVALIAÇÃO
NUTRICIONAL DAS MUDAS INOCULADAS COM FMAs E TEORES DE
NUTRIENTES DAS FOLHAS DAS DIFERENTES ESPÉCIES NO CAMPO⁽¹⁾.**

Jolimar Antonio Schiavo⁽²⁾, Luciana Aparecida Rodrigues⁽³⁾ & Marco Antonio Martins⁽⁴⁾

RESUMO – O objetivo deste trabalho foi verificar a influência dos fungos micorrízicos arbusculares (FAMs) sobre o acúmulo de nutrientes na parte aérea das mudas de *Acacia mangium* Willd, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis* produzidas em casa de vegetação, bem como a influência dos FMAs, do monocultivo e/ou consórcio sobre os teores dos nutrientes nas folhas das plantas em cava degradada pela extração de argila. Na cava de extração de argila as mudas foram plantadas no delineamento experimental blocos casualizados em esquema fatorial 6x2, sendo os fatores: 6 (*A. mangium*, *S. virgata*, *E. camaldulensis*, *A. mangium* x *S. virgata*, *A. mangium* x *E. camaldulensis* e *S. virgata* x *E. camaldulensis*); 2 (com e sem FMAs) totalizando 12 tratamentos, com 4 repetições.

Termos de indexação: nutrientes, áreas degradadas, micorriza, leguminosas, rizóbio, eucalipto

⁽¹⁾Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF.

⁽²⁾Doutorando do curso de Produção Vegetal da UENF/CCTA. Av. Alberto Lamego 2000, Campos dos Goytacazes (RJ). CEP: 28013-600. E-mail: schiavo@uenf.br

⁽³⁾Pesquisadora da UENF/CCTA. Bolsista da CAPES. E-mail: lua@uenf.br

⁽⁴⁾Professor Associado, UENF/CCTA. Bolsista do CNPq. E-mail: marco@uenf.br

Em casa de vegetação nas mudas de acácia, os FMAs proporcionaram aumentos nos conteúdos de N, P e Zn de 22,4, 71,4 e 67,2%, respectivamente, e, nas de

sesbânia 39,4; 49,0; 56,6; 24,7; 105,9 e 54,5, respectivamente para N, P, Ca, Mg, Mn e Zn. Contudo, nas mudas de eucalipto verificaram-se efeito depressivo da inoculação com os FMAs. Na cava de extração de argila, acácia e sesbânia apresentaram comportamento semelhantes quanto aos teores de nutrientes, sendo verificado efeito do cultivo e dos FMAs apenas para Ca e Mg. Enquanto, para eucalipto o cultivo e os FMAs influenciaram os teores de N, P e Mg. A utilização de leguminosas arbóreas em consórcio com eucalipto pode ser uma boa estratégia para revegetação de áreas degradadas, melhorando as características químicas, físicas e microbiológicas do solo, via FBN, podendo contribuir com a nutrição e produção das espécies.

INTRODUÇÃO

A produção de mudas de qualidade, sua sobrevivência e estabelecimento no campo são fatores primordiais para obtenção do sucesso no plantio de espécies florestais em grande escala. A inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) pode contribuir para melhoria da qualidade das mudas, expressa no maior crescimento e nas quantidades de nutrientes presentes nos tecidos das plantas, sendo absorvidos do solo com mais eficiência, principalmente os de baixa mobilidade, como o P (Marschner & Dell, 1994). Ainda, nos trópicos, onde a maioria dos solos apresenta baixa fertilidade, a formação de micorrizas é importante para a sobrevivência e o crescimento das plantas, assim como para a sucessão da floresta e a recuperação das áreas degradadas (Janos, 1996).

As leguminosas arbóreas em associação com rizóbio e fungos micorrízicos apresentam características desejáveis para a finalidade de recuperação de áreas degradadas, sendo algumas delas: rápido recobrimento do solo, sistemas radiculares desenvolvidos, absorvendo nutrientes nas camadas mais profundas do solo e, retorno ao solo de parte da biomassa produzida formada por folhas, galhos e estruturas reprodutivas que consitui a camada de serapilheira (Campello, 1996; Piagentini et al., 2002; Faria et al., 2002).

A qualidade nutricional do material formador da serapilheira assume papel fundamental na sustentabilidade da capacidade produtiva do sistema. De acordo com Andrade et al. (2000), o aporte de nutrientes da serapilheira em plantio de

leguminosas arbóreas têm sido elevado, podendo superar os verificados em fragmentos de Floresta Atlântica (Louzada et al., 1995). Dessa maneira, os nutrientes liberados no processo de decomposição da serapilheira podem favorecer a nutrição de espécies não fixadoras de N quando em consórcio com leguminosas. Bauhus et al. (2000) verificaram aumentos nos teores de N nas raízes de *Eucalyptus globulus* em consórcio com *Acacia mearnsii*, provavelmente via fixação biológica de N.

Em cultivos consorciados de leguminosas com plantas de diferentes espécies, o N fixado simbioticamente é, sob certas circunstâncias, translocado para a cultura não-leguminosa, mediada pelos FMAs (Cruz & Martins, 1997; Martins & Cruz, 1998; Rodrigues et al., 2003). Essa transferência é bidirecional (Frey & Schuepp, 1992), podendo existir competição entre as plantas interconectadas pela rede micelial, com efeitos negativos (Costa Júnior, 1997) ou positivos (Martins, 1993; Martins & Read, 1996; Rodrigues et al. 2003).

Em ambientes degradados, como nas cavas de extração de argila, cujo substrato apresenta características químicas, físicas e microbiológicas desfavoráveis para o crescimento de espécies não fixadoras de N, como eucalipto, torna-se necessário a investigação do efeito do plantio dessas espécies em consórcio com leguminosas fixadoras de N. Dessa maneira, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito dos FMAs sobre as quantidades de nutrientes encontradas na parte aérea das mudas de *Acacia mangium* Willd, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis*, bem como avaliar os teores nutricionais presentes nas folhas dessas espécies em monocultivos e consorciadas, em área degradada pela extração de argila.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em duas fases. Uma em casa de vegetação da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, e a outra, diretamente em cava degradada pela extração de argila, pertencente à cerâmica Stilbe Ltda, localizada em Poço Gordo, Município de Campos dos Goytacazes. A obtenção e multiplicação dos inóculos dos FMAs e do rizóbio, a produção das mudas com e sem inoculação, o preparo da área no campo, a montagem do experimento (delineamento), foram realizados de acordo com os procedimentos descritos em Schiavo et al. (2005a).

Casa de vegetação

Aos 120 (leguminosas) e 150 (eucalipto) dias após a semeadura (DAS), respectivamente, as mudas de cada tratamento foram coletadas e o sistema radicular separado da parte aérea. Os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu e Mn na parte aérea, foram determinados após as amostras terem sido secas em estufa de ventilação forçada, a 65 °C, por 48 horas (Malavolta et al., 1997). A seguir, o material foi pesado e moído em moinho tipo Willey (peneira de 20 “mesh”) e armazenado em frascos hermeticamente fechados. Após o material ser submetido à oxidação pela digestão sulfúrica (para determinação de N), e nítrico-perclórica para os demais nutrientes; os teores de N foram determinados pelo método de Nessler; os de P e S por colorimetria; os de K, por fotometria de chama; e os de Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn por espectrofotometria de absorção atômica.

Os dados obtidos foram expressos em teores e conteúdos de nutrientes presentes na parte aérea das mudas e submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Plantio na cava de extração de argila

Aos 90, 180 e 220 dias após o plantio no campo (DAPC), na área da cava de extração de argila, foram coletadas folhas jovens completamente expandidas do terço mediano dos galhos para determinação dos teores de N, P, K, Ca e Mg,

conforme metodologia citada anteriormente, na fase de produção de mudas em casa de vegetação.

Para cada época de avaliação, os dados obtidos, foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Casa de vegetação

Os teores e conteúdos dos nutrientes analisados da parte aérea das mudas das três espécies são apresentados na Tabela 1.

Dos nutrientes analisados nas mudas de acácia, não verificou-se diferenças nos teores em relação à inoculação com FMAs, exceto para N e Cu. Mudas de acácia não inoculadas com FMAs apresentaram teores de N e Cu 23 e 98% maiores, respectivamente, em relação às com inoculação (Tabela 1). No entanto, avaliando os conteúdos dos nutrientes das mudas inoculadas com FMAs (mg planta^{-1}), observaram-se acréscimos de 22,38; 71,14 e 67,21% para N, P e Zn, respectivamente, em relação às não inoculadas.

Os teores de N, K e Mg das mudas de sesbânia apresentaram comportamento semelhantes aos observados para os teores de N e Cu nas mudas de acácia. Mudas de sesbânia inoculadas com FMAs apresentaram acréscimos de 39,39; 48,92; 56,64; 24,69; 105,88 e 54,54% nos conteúdos de N, P, Ca, Mg, Mn e Zn, respectivamente, em relação às não inoculadas. Ainda, mudas de sesbânia inoculadas com FMAs apresentaram acréscimos de 33,88% nos teores de Mn, em comparação com às não inoculadas. Esse menor teor de alguns nutrientes, como N, nas mudas inoculadas, com FMAs pode ser explicado pelo efeito de diluição, uma vez que as mudas desse tratamento apresentaram maior acúmulo de matéria da parte aérea seca (Schiavo et al., 2005a). Essa resposta pode explicar o resultado na relação C/N que foi maior nas mudas micorrizadas de acácia.

Com relação aos teores de nutrientes das mudas de eucalipto verificaram-se efeitos da inoculação com FMAs apenas para o K, Ca, Fe e Mn. O teor de K das mudas de eucalipto foi 15,91% maior em relação às não inoculadas, enquanto os de Ca, Fe e Mn foram menores 33,94, 24 e 123 %, respectivamente. Avaliando-se os

conteúdos dos nutrientes das mudas de eucalipto, verifica-se efeito negativo da inoculação para Ca, Mg, Fe, Mn, e Zn. Provavelmente, esses menores conteúdos são em decorrência da menor produção de matéria da parte aérea, observada no tratamento com inoculação com FMAs (Schiavo et al., 2005a). Resultados semelhantes foram obtidos por Melloni et al. (2000), que encontraram efeito negativo de inoculação em limoeiro-cravo, quando inoculado com *Glomus clarum* no solo, com aplicação de P nas dosagens de 50, 100 e 250 mg dm⁻³. Em mudas de eucalipto, o maior valor em eficiência micorrízica foi observado na dose 0 de P, decrescendo com o aumento das doses deste nutriente, e, na dose de 160 mg dm⁻³ de P houve efeito depressivo da inoculação (Trajano et al., 2001), o que pode ocorrer quando o saldo do balanço entre a quantidade de nutrientes transferida pelo fungo para as raízes da planta e a quantidade metabólica produzida pela planta e consumida pelo fungo para se sustentar for negativo (Peng et al., 1993). O fato da associação micorrízica poder ter uma natureza parasítica no solo, com nível de P acima da dosagem adequada para o crescimento da planta (Moreira & Siqueira, 2002), explicaria os valores negativos obtidos da inoculação. Ainda, para as mudas de eucalipto os teores de nutrientes considerados adequados apresentaram comportamento diferenciados. Os teores de P, K, S, Mn e Zn, independente da inoculação com FMAs, e de acordo com Malavolta et al. (1997), estão dentro dos níveis adequados, enquanto os de Fe e Cu estão inadequados. O teor de N das mudas com inoculação com FMAs está adequado, porém, sem inoculação estão abaixo desse nível. Comportamento inverso, com relação à inoculação, foi observado para os teores de Ca e Mg. No caso das leguminosas, nenhuma informação acerca dos teores foliares adequados foram obtidos da literatura, e, durante o período de condução do experimento nenhuma deficiência visual foi observada.

Os benefícios na nutrição de diferentes espécies de plantas, advindos da inoculação com FMAs têm sido bastante relatados, principalmente para os teores foliares de N e P (Pouyú-Rojas & Siqueira, 2000; Rodrigues et al., 2003; Schiavo & Martins, 2003; Chu et al., 2004). No entanto, como a interação planta - fungos micorrízicos é um processo biológico e evolutivo, é de se esperar que a extensão da resposta de plantas à micorriza varie entre diferentes plantas e fungos micorrízicos (Smith & Read, 1997; Chu et al., 2004). Essa interação é influenciada pela

dependência da planta aos fungos micorrízicos, pela eficiência do fungo em aumentar o crescimento da planta e pelas condições edafoclimáticas (Smith & Giannazzi - Prarson, 1988). Entre os fatores edáficos, a disponibilidade de P exerce grande influência sobre a formação de micorriza, o que pode reduzir ou até inibir a colonização radicular em níveis extremamente deficientes ou altos (Peng et al., 1993). Schiavo & Martins (2003), em trabalho com produção de mudas de *Acacia mangium*, verificaram que mesmo o substrato apresentando elevados teores de P, os FMAs proporcionaram aumentos nos conteúdos de N e P da parte aérea das plantas.

No presente trabalho, verificou-se que para alguns nutrientes, os teores não diferiram em função da inoculação com os FMAs. Este fato, possivelmente pode ser explicado pela alta concentração de nutrientes, principalmente P, e pela presença de propágulos de fungos micorrízicos, presentes no substrato utilizado para produção das mudas, os quais estariam suprimindo o efeito da inoculação.

Somente na parte aérea da acácia, a inoculação com os FMAs proporcionou aumento na relação C/N (Tabela 1). Esse aumento da relação C/N possivelmente se deve à maior alocação de carbono na parte aérea da acácia inoculada com FMAs. A parte aérea da sesbânia, independentemente da inoculação com FMAs, apresentou menor relação C/N, podendo formar serapilheira de melhor qualidade comparada às da acácia e eucalipto. De acordo com Franco & Balieiro (1999), espécies de leguminosas arbóreas são responsáveis pela incorporação ao solo de material formador de serapilheira com relação C/N estreita, favorecendo o retorno da vida ao solo e intensificando a ciclagem de nutrientes. Nos cultivos consorciados, a baixa relação C/N nas raízes das leguminosas pode beneficiar a outra espécie cultivada em consórcio. Rodrigues et al. (2003), verificaram diminuição na relação C/N das raízes de eucalipto quando consorciado com sesbânia.

A inoculação com fungos micorrízicos em plantas perenes, que em geral, passam por fase de formação de mudas em viveiros, é recomendada, pois além de viável é uma prática que onera pouco o custo de produção. No entanto, trabalhos adicionais com o intuito de testar maior número de isolados de fungos micorrízicos são necessários, principalmente para o eucalipto.

Plantio na cava de extração de argila

Os teores dos nutrientes analisados nas folhas das plantas de acácia encontram-se na Tabela 2. Os teores de N, P e K, nos três períodos de coleta não foram influenciados pelo tipo de cultivo e inoculação com FMAs. Para N e K os teores mantiveram-se constantes do primeiro ao último período de coleta, no entanto, os teores de P decresceram em relação ao primeiro período, ou seja, à medida que as plantas cresceram. Observaram-se influência do cultivo e da inoculação com FMAs sobre os teores foliares de Ca na acácia aos 180 e 220 DAPC. Plantas de acácia inoculadas com FMAs quando consorciadas com sesbânia apresentaram decréscimos de 40,49 e 39,76% nos teores de Ca aos 180 e 220 DAPC, respectivamente, em relação às sem inoculação. No entanto, quando em monocultivo ou em consórcio com eucalipto essas diferenças não foram verificadas. Ainda, com relação ao Ca, aos 180 e 220 DAPC no tratamento com FMAs, plantas de acácia em consórcio com eucalipto, apresentaram os maiores teores, em comparação aos observados em consórcio com a sesbânia. Plantas de acácia inoculadas com FMAs e em consórcio com eucalipto tiveram aumentos de 36,62 e 36,55%, em relação às não inoculadas, aos 180 e 220 DAPC, respectivamente, nos teores foliares de Mg.

Os teores dos nutrientes da sesbânia (Tabela 3) apresentaram respostas semelhantes aos da acácia com relação ao P, ou seja, foi observado decréscimo no teor desse nutriente aos 180 e 220 DAPC em relação aos 90 DAPC. Os teores de Ca e Mg foram influenciados pelo cultivo e inoculação com FMAs. No monocultivo, os teores de Ca e Mg das plantas de sesbânia inoculadas com os FMAs, aos 180 e 220 DAPC foram inferiores em relação às não inoculadas. Os teores de Mg das plantas sem inoculação, aos 180 e 220 DAPC, foram maiores no monocultivo, em comparação as do consórcio com acácia e/ou eucalipto. Apesar de comportamento semelhante, os teores de N nas folhas da sesbânia foram superiores aos da acácia (de 32,71 a 50,07%) e próximos aos teores observados por Coutinho (2003).

Os teores dos nutrientes analisados presentes nas folhas das plantas de eucalipto são apresentados na tabela 4, sendo observada influência do cultivo e inoculação com os FMAs para N, P e Mg. No monocultivo nas três coletas, os teores de N foram menores no tratamento com FMAs, enquanto o Mg aos 90 DAPC,

apresentou comportamento oposto. Aos 180 e 220 DAPC os teores foliares de N das plantas não inoculadas foram maiores no monocultivo, equivalendo-se ao tratamento com sesbânia, já os de P e Mg no consórcio com sesbânia esses teores foram maiores que no monocultivo. Plantas de eucalipto em todos os tratamentos apresentaram teores foliares de Ca e Mg abaixo da faixa adequada, a qual varia entre 8-12 e 4-5 g kg⁻¹, respectivamente, (Malavolta et al., 1997). A relação teor Ca:Mg encontra-se abaixo de 4:1, o que pode, inclusive, prejudicar o crescimento do eucalipto.

Nas três espécies estudadas observou-se para alguns nutrientes efeito depressivo da inoculação com os FMAs. O funcionamento da inoculação micorrízica em solo natural, segundo Menge (1983) e Siqueira (1991), depende da capacidade que o fungo introduzido tem de estabelecer a relação de mutualismo com a planta, da sua adaptação às condições da fertilidade do solo e da sua compatibilidade com outros microrganismos do solo incluindo os FMAs nativos. A alta disponibilidade de nutrientes inibe o estabelecimento da simbiose e, mesmo que esta se estabeleça, os benefícios para a planta seriam reduzidos, inexistentes ou até depressivos quando os FMAs atuam como parasitas (Moreira & Siqueira, 2002). No presente trabalho, após a extração da argila, a camada superficial (top soil), rica em matéria orgânica, foi devolvida para dentro da cava atribuindo boas condições de fertilidade do substrato onde realizou-se o plantio das espécies (Schiavo et al., 2005a). Este, poderia ser um dos fatores para explicar o efeito depressivo dos FMAs. Outro fator edáfico é a presença da microbiota indígena, incluindo os fungos micorrízicos existentes que podem também influenciar o funcionamento da inoculação de espécies de FMAs selecionadas (Garbaye & Bowen, 1987), sendo interessante conhecer os efeitos da inoculação no solo natural sem fumigação, para prever o grau de sucesso na parte de inoculação em condições de campo (Trindade et al., 2000; Pouyú-Rojas & Siqueira, 2000).

As leguminosas apresentaram teores foliares de N bem superiores aos do eucalipto, obtidos, provavelmente, através da fixação biológica de nitrogênio (FBN). As folhas dessas leguminosas junto com estruturas reprodutivas e galhos irão constituir o material formador da serapilheira, que depositado sobre o solo poderá disponibilizar os nutrientes nela presentes, e, no caso do consórcio, beneficiar

plantas que não realizam a FBN. De acordo com Andrade et al. (2000), leguminosas arbóreas podem depositar quantidades anuais elevadas de serapilheira sobre o solo, sendo observado 10 Mg ha^{-1} para *Mimosa caesalpiniiifolia* e 9 Mg ha^{-1} para *Acacia mangium* e *Acacia holosericea*. Além da quantidade, a qualidade do material depositado é muito importante para as características químicas e microbiológicas do solo. Entre as três espécies estudadas, os mesmos autores verificaram que a serapilheira produzida pela *Mimosa caesalpiniiifolia* foi a mais rica em nutrientes, com menor tempo de residência, enquanto a *Acacia mangium* apresentou maior capacidade de retranslocação interna de nutrientes, produzindo a serapilheira mais pobre e de menor velocidade de decomposição. Para a *Sesbania virgata*, Coutinho (2003), observou produção média de fitomassa fresca de 4,86 kg aos 10 meses após o plantio no campo. Através da decomposição da serapilheira e senescência dos nódulos, quantidades elevadas de N via FBN são acumuladas no solo. Algumas espécies, como *Cajanus cajan*s podem acumular de 190 a 250 kg N ha^{-1} em apenas 150 dias de crescimento, *Mucuna pruriens* acumula 155 kg N $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, *Vigna unguiculata* 85 kg N $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Freire, 1992) e *Leucaena leucocephala* 500 kg N $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Saninga et al., 1984).

Leguminosas arbóreas podem através da FBN melhorar a nutrição, e, conseqüentemente, o crescimento de espécies não fixadoras como o eucalipto. Trabalhos como os de Khanna, (1997), Parrota, (1999), Binkley et al. (2000) e Rodrigues et al. (2003), verificaram que plantas de eucalipto consorciadas com leguminosas apresentaram maior concentração de N nas raízes quando comparadas com as do monocultivo, sugerindo que este N seja proveniente das leguminosas via FBN.

No presente trabalho, com relação ao consórcio das espécies, mesmo observando-se algumas diferenças, acredita-se na necessidade de um período mais longo para que os efeitos dos tratamentos possam se acentuar, e as possíveis contribuições das leguminosas em relação ao eucalipto possam ser avaliadas.

CONCLUSÕES

Os fungos micorrízicos arbusculares proporcionaram, em casa de vegetação, melhoria no estado nutricional, principalmente nas espécies *A. mangium* e *S. virgata*.

Na cava de extração de argila as leguminosas apresentaram elevados teores foliares de N, e, observaram-se efeitos dos fungos micorrízicos arbusculares e do cultivo apenas para os teores de Ca e Mg.

Para as plantas de eucalipto, independentemente dos tratamentos, os teores de Ca e Mg estão abaixo dos níveis adequados. Os teores de N, mesmo que adequados, foram bem menores, comparados aos das leguminosas.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pelo auxílio financeiro e as técnicas do Laboratório de Solos (Andréia, Kátia e Vanilda), pelo auxílio na realização das análises nutricionais das plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, A.G.; Costa, G.S.; Faria, S.M. Deposição e decomposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpinifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em planossolo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24: 777-785, 2000.
- Bauhus, J.; Khanna, P.K.; Menden, N. Aboveground and belowground interactions in mixed plantations of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *Can. J. For.* 30: 1886-1894. 2000.
- Binkley, D.; Giardina, C.; Bashkin, M.A. Soil phosphorus pools and supply under the influence of *Eucalyptus saligna* and nitrogen – fixing *Albizia facaltaria*. *Forest Ecology and management* 128. 241-247. 2000.
- Campello, E.F.C. (1996) O papel de leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas na recuperação de áreas degradadas (parte 1). In: Balensisfer, M. (org.), *Recuperação de áreas degradadas*, III curso de atualização, Curitiba, FUPEF. P. 09-16.
- Costa Júnior, P.F. (1997) Comportamento de leguminosas arbóreas inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio em estéril de extração de argila. Tese

- (Mestrado em Produção Vegetal)- Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – 72p.
- Chu, E.Y.; Yared, J.A.G.; Maki, H.J.O. Efeitos da inoculação micorrízica e da adubação fosfatada em mudas de *Vochysia maxima* Ducke. Revista Árvore, Viçosa –MG, v.28, n.2, p.157-165, 2004.
- Coutinho, M.P. (2003) Produção de mudas de *Sesbania virgata* em substrato de cava de extração de argila, com diferentes adubações. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Campos dos Goytacazes, RJ – Universidade Estadual do Norte Fluminense, 50p.
- Cruz, A.F.; Martins, M.A. Transferência de nitrogênio entre plantas interconectadas por fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). R. Bras. Ci. Solo, 21:559-565, 1997.
- Faria, S.M de.; Silva, M.G.; Graig, j.; Dias, S.L.; Lima, H.C. Nara, M. (2202).
Revegetação com espécies arbóreas fixadoras de nitrogênio em taludes de exploração de ferro na Samarco Minerações Mariana, MG. In: V Simpósio Nacional Sobre Recuperação de Areas Degradadas “Água e biodiversidade”2002, Belo Horizonte, MG. Anais... Belo Horizonte: Sobrade, p. 413-415.
- Franco, A.A.; Baliero, F.C. Fixação biológica de nitrogênio: uma alternativa aos fertilizantes nitrogenados. In: Siqueira, J.O.; Moreira, F.M.S.; Lopes, A.S.; Guilherme, L.R.G.; Faquini, V.; Furtini Neto, A.E.; Carvalho, J.G. (Eds.). Inter-relações fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras, 1999. P.577-596.
- Freire, J.R.J. (1992). Fixação do nitrogênio pela simbiose rizóbio/leguminosa. In: Cardoso, E.F.B., Tsai, S.M., Neves, M. Microbiologia do solo, Campinas, p 121-140.
- Frey, B.; Schueep, H. Transfer of symbiotically fixed nitrogen from berseen (*Trifolium alexandrinum* L.) to maize via vesicular-arbuscular mycorrhizal hyphae. New Phytol, 122: 447-454, 1992.
- Garbaye, j.; Bowwen, g.d. Effect of dfferent microflora on the success of ectomycorrhizal inoculation of *Pinus radiata*. Canadian Journal of Forest Research, v.17, p.941-943, 1987.
- 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, UK: Cambridge University Press, 1996. V.20, p. 129-162.
- Khanna, P.K. Comparison of growth and nutrition of young monocultures and mixed stands of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *Forest Ecology and Management* 94, 105:113. 1997.
- Louzada, M.A.P.; Quintela, M.F.S.; Penna, L.P.S. Estudo comparativo da produção de serapilheira em áreas de Mata Atlântica, floresta secundária “antiga” e uma floresta secundária (capoeira). *Oec. Bras*, 1: 61-74, 1995.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas. 2ª ed. ver. e atual. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 316p.
- Marschner, H., Dell, B. (1994) Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 159:89-102.
- Martins, M.A. The role of the external mycelial network of arbuscular mycorrhizal fungi in the carbon transfer process between plants. *Mycol. Res.*, 97:807-810, 1993.
- Martins, M.A.; Read, D.J. The role of the external mycelial network of VA mycorrhizal fungi: II. A study of phosphorus transfer between plants interconnected by a common mycelium. *R. Microbiol. Res.*, 27:30-35, 1996.
- Martins, M.A.; Cruz, A.F. The role of the external mycelial network of arbuscular mycorrhizal fungi: III. A study of nitrogen transfer between plants interconnected by a common mycelium. *R. Microbiol.*, 29:289-294, 1998.
- Melloni, R.; Nogueira, M.A.; Freire, V.F.; Cardoso, E.J.B.N. Fósforo adicionado e fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e nutrição mineral de limoeiro-cravo [*Citrus limonia* (L.) Osbeck] . *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 767-775, 2000.
- Menge, J.A. Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. *Canadian Journal of Botany*, v.61, n.3, p.1015-1024, 1983.
- Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O. Micorrizas. In: UFLA (Ed.) *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras, 2002. P. 483-539.
- Parrotá, J.A. Productivity, nutrient cycling, and succession in single – and mixed – species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta*, and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management* 124, 45-77. 1999.

- Peng, S. et al. Growth depressions in mycorrhizal citrus at high-phosphorus supply. *Plant Physiology*, v.101, p. 1063-1071, 1993.
- Piagentini, P.M.; Dias, L.E.; Campello, E.F.C.; Ribeiro Jr, E.S. (2002) Crescimento de diferentes espécies arbóreas a arbustivas em depósito de beneficiamento de minérios de zinco em Vazante, MG. In: V Simpósio Nacional Sobre Recuperação de Areas Degradadas "Água e Biodiversidade"2002, Belo Horizonte, MG. Anais... Belo Horizonte: Sobrade, p. 413-415.
- Pouyú-rojas, E.; Siqueira, J.O. Micorriza arbuscular e fertilização do solo no desenvolvimento pós-transplante de mudas de sete espécies florestais. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.35, n.1, p.103-114, 2000.
- Rodrigues, L.A.; Martins, M.A.; Salomão, M.S.M.B. Uso de micorrizas e rizóbio em cultivo consorciado de eucalipto e sesbânia. I. Crescimento, absorção e transferência de nitrogênio entre plantas. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:583-591, 2003.
- Saninga, N.; Mulongoy, K.; Ayanaba, A. (1984) Inoculation of *Leucaena leucocephala* (Lam de Wit) with Rhizobium and its contribution to a subsequent maize crop. In: Int. Conf. Biol. Agri. The role of Microorganisms in Sustained Agriculture. Wye College, Ashford, KEN, UK. p.3-7.
- Schiavo, J.A.; Martins, M.A. Produção de mudas de acácia colonizadas com micorrizas e rizóbio em diferentes recipientes. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 38, n. 2, p. 173-178, 2003.
- Schiavo, J.A.; Martins, M.A; Rodrigues, L.A. Monocultivo e/ou consorciação de leguminosas e eucalipto em área degradada pela extração de argila. I. Produção de mudas inoculadas com FMAs, sobrevivência e crescimento das plantas no campo. 2005a (não publicado).
- Siqueira, J.O. Fisiologia e bioquímica de micorrizas vesiculo-arbusculares: alguns aspectos da relação fungo-planta e absorção de fósforo. In: Reunião Brasileira Sobre Micorrizas, 4., Mendes. Programa e resumos. Mendes: 1991. P. 105-131.
- Smith, S.E.; Gianinazzi-Pearson, V. Physiological interactions between symbiots in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Annual review of plant physiology, plant molecular biology*, v.99, p.221-224, 1988.

- Smith, S.E.; Read, D.J. Mycorrhizas in managed environments: forest production, interaction with other microorganisms and pollutants. In: Smith, S.E.; Read, D.J. (Eds.) Mycorrhizal symbiosis, London: Academic Press, 1997. P. 470-489.
- Trajano, M.A.B.; Kasuya, M.C.M.; Tótola, M.R.; Borges, A.C.; de Novais, R.F. Suprimento de fósforo e formação de micorrizas em mudas de eucalipto em sistemas de raízes divididas. *Revista Árvore*, v. 25, n. 2, p. 193-201, 2001.
- Trindade, A.V.; Siqueira, J.O.; Aleida, F.P. Eficiência simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares em solo não fumigado, para mamoeiro. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v.24, p.505-513, 2000.

Tabela 1. Teores e conteúdos de nutrientes da parte aérea de mudas de *Acacia mangium* Willd, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis*, inoculadas ou não com FMAs, produzidas em casa de vegetação.

Nutrientes	Acácia		Sesbânia		Eucalipto	
	+ FMAs	- FMAs	+ FMAs	- FMAs	+ FMAs	- FMAs
Teor (g kg ⁻¹)						
N	19,34 b	23,90 a	45,49 b	49,90 a	14,46 a	12,86 a
P	4,23 a	3,76 a	3,52 a	3,57 a	2,15 a	2,09 a
K	19,90 a	20,60 a	24,80 b	30,80 a	20,40 a	17,60 b
Ca	7,56 a	8,08 a	8,32 a	8,21 a	6,07 b	8,13 a
Mg	4,23 a	4,55 a	4,07 b	4,93 a	3,20 a	4,11 a
S	2,03 a	2,01 a	3,62 a	2,18 a	1,83 a	1,58 a
Carbono	427,64 a	379,20 a	380,72 a	349,00 a	378,68 a	383,72 a
Teor (mg kg ⁻¹)						
Fe	81,24 a	97,07 a	108,34 a	134,00 a	80,00 b	99,18 a
Mn	40,77 a	46,06 a	54,73 a	40,88 b	162,46 b	362,68 a
Cu	0,61 b	1,21 a	0,95 a	0,69 a	4,04 a	3,93 a
Zn	17,20 a	15,78 a	26,94 a	26,97 a	51,10 a	55,31 a
Conteúdo (mg planta ⁻¹)						
N	112,90 a	92,25 a	295,20 a	211,78 b	39,79 a	49,49 a
P	24,79 a	14,46 b	22,74 a	15,27 b	5,93 a	8,22 a
K	117,57 a	81,46 a	160,18 a	130,44 a	56,00 a	68,86 a
Ca	44,35 a	31,45 a	53,93 a	34,43 b	16,76 b	31,54 a
Mg	24,97 a	17,93 a	26,26 a	21,06 b	8,78 b	15,69 a
S	11,96 a	8,07 a	24,01 a	9,15 a	5,04 a	6,01 a
Fe	0,47 a	0,38 a	0,70 a	0,57 a	0,21 b	0,38 a
Mn ¹	2,40 a	1,70 a	3,50 a	1,70 b	4,48 b	13,72 a
Cu ²	0,36 b	0,46 a	0,63 a	0,31 a	1,11 a	1,53 a
Zn ¹	1,02 a	0,61 b	1,70 a	1,10 b	1,40 b	2,13 a
Relação C/N						
	22,49 a	16,06 b	8,36 a	7,00 a	26,58 a	29,89 a

Para cada espécie e nutrientes analisados, médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

¹os conteúdos de Mn e Zn foram multiplicados por 10.

²o conteúdo de Cu foi multiplicado por 100.

Tabela 2. Teores de nutrientes (g kg^{-1}) das folhas de *Acacia mangium* Willd, inoculadas com FMAs, em monocultivo e consorciadas com *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis* em cava degradada pela extração de argila. DAPC – dias após plantio no campo.

DAPC	Monocultivo		C/ sesbânia		C/ eucalipto	
	+ FMAs	- FMAs	+ FMAs	- FMAs	+ FMAs	- FMAs
Nitrogênio						
90	26,27 aA	25,65 aA	23,95 aA	21,95 aA	21,95 aA	24,73 aA
180	24,73 aA	25,84 aA	24,65 aA	24,13 aA	24,20 aA	26,68 aA
220	23,88 aA	24,99 aA	23,80 aA	23,28 aA	23,35 aA	25,83 aA
Fósforo						
90	3,01 aA	3,22 aA	3,25 aA	3,25 aA	3,02 aA	3,26 aA
180	1,70 aA	2,02 aA	1,71 aA	2,18 aA	1,81 aA	2,15 aA
220	1,66 aA	1,98 aA	1,67 aA	2,14 aA	1,77 aA	2,11 aA
Potássio						
90	8,75 aA	10,18 aA	8,87 aA	9,37 aA	10,25 aA	10,81 aA
180	10,71 aA	12,03 aA	9,71 aA	11,56 aA	11,43 aA	11,12 aA
220	11,11 aA	12,43 aA	10,11 aA	11,96 aA	11,83 aA	11,52 aA
Cálcio						
90	4,46 aA	4,33 aA	4,75 aA	3,97 aA	3,82 aA	3,66 aA
180	1,67 aAB	2,07 aA	1,63 bB	2,29 aA	2,20 aA	2,50 aA
220	1,70 aAB	2,10 aA	1,66 bB	2,32 aA	2,24 aA	2,54 aA
Magnésio						
90	1,95 aA	1,67 aA	2,01 aA	1,81 aA	1,66 aA	2,07 aA
180	1,84 aA	1,66 aA	1,75 aA	1,98 aA	1,94 aA	1,42 bA
220	1,87 aA	1,70 aA	1,79 aA	2,02 aA	1,98 aA	1,45 bA

Para cada nutriente, dentro de cada cultivo, letras minúsculas comparam a inoculação com FMAs, enquanto letras maiúsculas, dentro de cada tratamento microbiológico, comparam os cultivos, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Teores de nutrientes (g kg^{-1}) das folhas de *Sesbania virgata*, inoculadas com FMAs, em monocultivo e consorciadas com *Acacia mangium* Willd e *Eucalyptus camaldulensis* em cava degradada pela extração de argila. DAPC – dias após plantio no campo.

DAPC	Monocultivo		C/ acácia		C/ eucalipto	
	+ FMAs	- FMAs	+ FMAs	- FMAs	+ FMAs	- FMAs
Nitrogênio						
90	34,81 aA	37,06 aA	40,04 aA	36,50 aA	36,22 aA	34,61 aA
180	30,29 aA	30,79 aA	32,04 aA	29,98 aA	32,11 aA	32,07 aA
220	29,44 aA	29,94 aA	31,19 aA	29,13 aA	31,26 aA	31,22 aA
Fósforo						
90	3,80 aA	3,93 aA	3,94 aA	3,91 aA	3,96 aA	3,65 aA
180	1,72 aA	2,11 aA	1,95 aA	2,05 aA	1,95 aA	2,06 aA
220	1,68 aA	2,07 aA	1,91 aA	2,01 aA	1,91 aA	2,03 aA
Potássio						
90	12,62 aA	12,12 aA	12,81 aA	12,18 aA	12,43 aA	12,12 aA
180	12,00 aA	12,06 aA	11,31 aA	11,40 aA	11,09 aA	12,28 aA
220	12,40 aA	12,46 aA	11,71 aA	11,80 aA	11,49 aA	12,68 aA
Cálcio						
90	4,50 aA	4,93 aA	5,10 aA	4,39 aA	4,72 aA	4,82 aA
180	3,00 bA	3,79 aA	2,66 aA	3,18 aA	3,10 aA	3,15 aA
220	3,04 bA	3,82 aA	2,69 aA	3,21 aA	3,13 aA	3,19 aA
Magnésio						
90	1,34 aA	1,35 aA	1,61 aA	1,41 aA	1,40 aA	1,36 aA
180	2,13 bA	3,10 aA	2,21 aA	2,27 aB	2,10 aA	2,13 aB
220	2,16 bA	3,14 aA	2,24 aA	2,30 aB	2,13 aA	2,17 aB

Para cada nutriente, dentro de cada cultivo, letras minúsculas comparam a inoculação com FMAs, enquanto letras maiúsculas, dentro de cada tratamento microbiológico, comparam os cultivos, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Teores de nutrientes (g kg^{-1}) das folhas de *Eucalyptus camaldulensis*, inoculadas com FMAs, em monocultivo e consorciadas com *Acacia mangium* Willd e *Sesbania virgata* em cava degradada pela extração de argila. DAPC – dias após plantio no campo.

DAPC	Monocultivo		C/ acácia		C/ sesbania	
	+ FMAs	- FMAs	+ FMAs	- FMAs	+ FMAs	- FMAs
Nitrogênio						
90	17,16 bA	24,31aA	19,21 aA	22,24 aA	19,55 aA	19,55 aA
180	14,26 bA	17,42 aA	13,74 aA	13,98 aB	13,16 aA	15,03 aAB
220	13,41 bA	16,57 aA	12,88 aA	13,13 aB	12,31 aA	14,18 aAB
Fósforo						
90	3,17 aA	3,40 aA	3,34 aA	3,37 aA	3,29 bA	3,65 aA
180	2,44 aA	2,50 aAB	2,28 aA	1,84 aB	2,12 bA	2,86 aA
220	2,41 aA	2,46 aAB	2,24 aA	1,80 aB	2,09 bA	2,83 aA
Potássio						
90	13,93 aA	13,93 aA	14,94 aA	14,13 aA	14,50 aA	15,31 aA
180	10,71 aA	10,84 aA	9,50 aA	10,62 aA	10,71 aA	9,87 aA
220	11,11 aA	11,24 aA	9,90 aA	11,02 aA	11,11 aA	10,27 aA
Cálcio						
90	3,52 aA	3,47 aA	2,67 aA	2,75 aA	2,13 aA	2,40 aA
180	3,66 aA	3,13 aA	3,25 aA	3,00 aA	3,30 aA	3,46 aA
220	3,69 aA	3,16 aA	3,28 aA	3,03 aA	3,33 aA	3,49 aA
Magnésio						
90	2,66 aA	1,79 bA	2,26 aA	2,40 aA	2,09 aA	2,25 aA
180	3,11 aA	2,73 aB	2,97 aA	2,96 aAB	2,80 bA	3,26 aA
220	3,15 aA	2,76 aB	3,00 aA	3,00 aAB	2,82 bA	3,29 aA

Para cada nutriente, dentro de cada cultivo, letras minúsculas comparam a inoculação com FMAs, enquanto letras maiúsculas, dentro de cada tratamento microbiológico, comparam os cultivos, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Caracterização da matéria orgânica em área de extração de argila revegetada com *Acacia mangium* Willd

Jolimar Antonio Schiavo⁽¹⁾, Luciano Pasqualoto Canellas⁽¹⁾ e Marco Antonio Martins⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Laboratório de Solos, CEP 28013-600 Campos dos Goytacazes, RJ. E-mail: schiavo@uenf.br, canellas@uenf.br, marco@uenf.br

Resumo – O uso de leguminosas arbóreas contribui para a recuperação de áreas degradadas através do aporte de quantidades expressivas de serapilheira. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar a qualidade da matéria orgânica em cava de extração de argila com vegetação espontânea de gramínea [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf] ou revegetada com *Acacia mangium* Willd. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Na cobertura com *A. mangium* observaram-se acréscimos no estoque de carbono de 33 % e 80 % nas profundidades de 0,00-0,10 m e 0,20-0,30 m, respectivamente, em relação à *B. mutica*. O menor estoque de carbono ocorreu na fração ácidos fúlvicos livres (AFL). Na cobertura com *A. mangium* foi observado um aumento no grau de humificação da matéria orgânica com aumentos que variaram de 38 % a 280 % na fração ácidos fúlvicos (AF) e de 26 % a 217 % nos ácidos húmicos (AH),

dependendo da profundidade do solo. A acidez total, tanto da fração AF como a dos AH foi elevada, variando na faixa de 810 a 920 $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$. No entanto, em torno de 67 % da capacidade de troca de H^+ foi devido a grupos OH fenólicos caracterizados como grupamentos ácidos mais fracos. Os valores observados para a relação E_4/E_6 foram dentro da faixa normalmente encontrada para AF (entre 8,2 e 10,5) e AH (entre 1,3 e 3,9). Os AH, isolados da cava com cobertura da *A. mangium*, apresentaram valores mais elevados da relação E_4/E_6 , sugerindo a presença de fração humificada menos condensada e de menor massa molecular.

Termos para indexação: áreas degradadas, leguminosas, substâncias húmicas.

Characterization of organic matter in sites of clay extraction revegetated with *Acacia mangium* Willd

Abstract – The use tree legumes contribute for the recovery of land reclamation through input of expressive quantities of litter. The present work aimed to characterize the quality of the organic matter in a site of clay extraction with spontaneous vegetation of grass [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf] or revegetated with *Acacia mangium* Willd. Samples of soil in the depths of 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m were collected. Where *A. mangium* was present the carbon stocks, increased of 33% and 80% in the depths of 0,00-0,10 m e 0,20-0,30 m, respectively, in relation to the *B. mutica*. The smallest stock of carbon was observed in the fraction of free fulvic acids (LFA). At site with *A. mangium*, was also noticed an increasing on the degree of humidification of the organic matter with increases that varied from 38 % to 280 % in the fraction of fulvic acids (FA) and of 26 % to 217 % in the humic acids (HA) depending on the soil depth. The total acidity, in the FA and HA fractions were high, varying from 810 to 920 $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$. However, around 67 % of the capacity of H^+ exchange was due to the phenolic groups OH characterized with weaker acid groups. The values observed to relationship E_4/E_6 were within the range normally found for FA (between 8,2 and 10,5) and HA (between 1,3 and 3,9). The HA isolated in the site with *A. mangium* presented higher values of E_4/E_6 , suggesting the presence of humidified fraction less condensed and with a smaller molecular mass.

Index terms: land reclamation, legumes, humic substances.

Introdução

A indústria sucroalcooleira na região Norte e Noroeste Fluminense, atravessa um período de grave crise com diminuição da área plantada, e, baixa produtividade, com média em torno de 45 Mg ha^{-1} de cana (IBGE, 2003). O número de usinas em atividade diminuiu de dezoito em 1980 para sete em 2004 (ASFLUCAN, 2003). Com a crise, outras alternativas passaram a ocupar o cenário econômico desta região. Dentre elas, a extração de argila para produção de telhas e tijolos tem assumido grande importância no contexto sócio-econômico, refletindo na geração de aproximadamente 4500 empregos diretos e na produção de 3.100.000 peças por dia. Mesmo exercendo importante papel econômico o impacto dessa atividade precisa ser analisado, uma vez que têm promovido degradação ambiental em grande escala. No Município de Campos dos Goytacazes - RJ, área de maior concentração das cerâmicas, estima-se uma retirada diária de aproximadamente, 7000 m^3 de solo, ocasionando a degradação de uma área em torno de $3500 \text{ m}^2/\text{dia}$ (Costa Júnior, 1997). Quando a atividade é artesanal as cavas abertas são rasas e ainda cultivadas devido à alta fertilidade natural dos Cambissolos da região. Porém, em larga escala, a extração mecanizada produz cavas mais profundas dificultando a utilização e recuperação da paisagem. No processo de extração da argila a camada superficial mais rica em matéria orgânica é retirada e colocada à parte. Após a retirada da argila, que pode chegar até a camada de areia, a camada superficial é devolvida para o fundo da cava. Neste processo, envolvendo revolvimento e remoção da camada superficial do solo para retirada da argila, o ambiente é drasticamente modificado, surgindo grandes cavas de extração de argila resultando na degradação da paisagem.

Um dos processos mais viáveis economicamente para recuperação das cavas é a revegetação com espécies leguminosas que, inoculadas com os microssimbiontes rizóbio e fungos micorrízicos conseguem se estabelecer nessas

áreas (Franco & Faria, 1997). A leguminosa arbórea, *Acacia mangium* Willd, têm-se destacado pela rusticidade, adaptabilidade às condições adversas de solo e clima, pelo rápido crescimento e elevada produção de biomassa, com deposição anual de cerca de 9 Mg ha^{-1} de serapilheira (Andrade et al., 2000), e de aproximadamente $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$, devido a associação com rizóbio pelo elevado potencial de fixação biológica de nitrogênio (Galiana et al., 2002). Essa espécie apresenta grande potencial de uso em programas de reflorestamento e recuperação de áreas com solos pobres ou degradados.

A matéria orgânica do solo (MOS) representa um sistema complexo de substâncias, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e pela sua transformação contínua sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos. Depositada na superfície, a matéria orgânica é uma fonte importante de fornecimento de nutrientes para as culturas com influência na retenção de cátions, na complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, na estabilidade da estrutura, na infiltração e retenção de água, na aeração, e na atividade e biomassa microbiana, constituindo-se, assim, um componente fundamental da capacidade produtiva do solo (Santos & Camargo, 1999).

A MOS pode ser dividida em dois grupos fundamentais. O primeiro é constituído pelos produtos da decomposição dos resíduos orgânicos e do metabolismo microbiano, como proteínas e aminoácidos, carboidratos simples e complexos, resinas, ligninas e outros. Esses compostos orgânicos constituem, aproximadamente, 10 a 15% da reserva total do carbono orgânico nos solos minerais (Andreux, 1996). O segundo é representado pelas substâncias húmicas propriamente ditas, constituindo 85 a 90% da reserva total do carbono orgânico (Andreux, 1996). De acordo com os critérios empregados nos métodos convencionais de extração, a matéria orgânica humificada do solo é composta por diferentes frações. De modo geral, é aceito a distribuição das frações humificadas em três categorias: as huminas (H), que representam a matéria orgânica intimamente ligada à fração mineral do solo, e por isso insolúvel; os ácidos fúlvicos (AF), que possuem conteúdo elevado de grupamentos funcionais oxigenados e são solúveis tanto em meio ácido como básico; e os ácidos húmicos (AH), insolúveis em meio fortemente ácido, pois, com a protonação dos grupamentos funcionais, ocorre o

colapso da estrutura e precipitação das macromoléculas. Os AH representam a fração reativa mais estável da matéria orgânica humificada (Zech et al., 1997).

O conteúdo relativo de cada fração da matéria orgânica humificada pode ser usado como indicativo da qualidade do húmus do solo (MacCallister & Chuien, 2000). De acordo com Kononova (1966), a relação AH/AF varia de acordo com a fertilidade dos solos, normalmente maior que 1,5 naqueles naturalmente mais férteis e menor que a unidade nos mais intemperizados. Em condições favoráveis de pH, saturação de bases e drenagem, o aumento do conteúdo dos AH é devido ao incremento da atividade microbiana que promove a síntese de substâncias húmicas mais condensadas (Orlov, 1998). Alterações na qualidade do húmus em substratos degradados (área de extração de argila), revegetados com leguminosas arbóreas, com elevada deposição de serapilheira necessitam de investigações. Além da distribuição relativa das frações humificadas da MOS, a análise de características funcionais das frações pode ser usada para avaliação da qualidade da matéria orgânica.

A espectroscopia de infravermelho (IV) permite observar as oscilações do eixo (estiramento) e do ângulo (deformação) das ligações entre os átomos de um grupamento funcional que apresente momento dipolo (diferença de polaridade entre os átomos de uma molécula), sendo útil na caracterização de grupamentos funcionais oxigenados da matéria orgânica (Stevenson, 1994). Cada molécula responde de forma diferente à radiação, o que proporciona diferentes bandas de absorção no espectro de infravermelho (Martin-Neto et al., 1996). Os espectros de infravermelho fornecem informações sobre a estrutura dos grupos funcionais presentes na matéria orgânica, bem como sobre a natureza de suas ligações químicas e sua reatividade (Johnston & Aochi, 1996), constituindo um marcador inequívoco da identidade química das substâncias orgânicas (Colthup et al., 1964).

O objetivo deste trabalho foi o de verificar possíveis alterações na distribuição das frações humificadas da matéria orgânica, extraída do substrato da cava de extração de argila após revegetação com *Acacia mangium* Willd, através do fracionamento químico da MOS. Possíveis alterações químicas nos AF e AH foram avaliadas através da determinação da acidez, da espectroscopia na região do UV-

visível e da composição elementar dos AF e AH. Ainda, objetivou-se caracterizar os principais grupos funcionais dos AF e AH, através da espectroscopia de IV.

Material e métodos

A coleta das amostras de solo para o estudo foi realizada numa cava de extração de argila pertencente à cerâmica Stilbe, localizada no distrito de Poço Gordo, Município de Campos dos Goytacazes, RJ. Nesta cava, para a extração de argila, foi removida a camada superficial deixando-a a parte, e em seguida procedeu-se a retirada da argila até uma profundidade de aproximadamente 3 m. Após a extração, a camada superficial foi devolvida para dentro da cava e nivelada mecanicamente e mantida sob pousio durante dois anos, surgindo como vegetação espontânea a braquiária [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf]. Após este período, numa parte da cava foi realizado o plantio da leguminosa acácia (*Acacia mangium* Willd) no espaçamento de 3 x 2 m, constituindo uma área plantada de 1000 m² com aproximadamente 200 plantas. Na fase de produção, as mudas foram inoculadas com inóculo misto de fungos micorrízicos (*Glomus macrocarpum*, *G. etunicatum*, *Entrophospora colombiana*), pertencente à coleção do Laboratório de solos da UENF; e com estirpe específica de rizóbio (Br 3609, Br 6009), da coleção pertencente à Embrapa Agrobiologia, Seropédica-RJ. Após 3 anos do plantio da acácia, foram coletadas dez amostras simples de solo para cada profundidade (0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m), que constituíram as amostras compostas para a realização das análises. Da mesma forma, foram coletadas amostras de solo na área sob pousio com braquiária. Para cada profundidade foram obtidas 3 amostras compostas (3 repetições), para serem utilizadas nas análises. Após a coleta, as amostras foram secas e peneiradas (2 mm), constituindo a terra fina seca ao ar (TFSA), e as características físicas e químicas determinadas de acordo com a metodologia preconizada pela Embrapa (1997).

O fracionamento da matéria orgânica foi realizado a partir da simplificação do método de Belchikova-Kononova descrito em detalhes em Guerra & Santos (1999). Resumidamente, as amostras de TFSA sofreram pré-tratamento com ácido

ortofosfórico 2 mol L^{-1} , que separou por densidade a fração leve e solubilizou a fração ácidos fúlvicos livres (AFL). Em seqüência sobre a amostra de TFSA foi colocada a mistura extratora de $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1} + \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \text{ } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$, na proporção 1:10 (v/v), que solubilizou os ácidos fúlvicos (AF) e os ácidos húmicos (AH). O resíduo sólido insolúvel resultante do processo de fracionamento foi denominado de humina (H). Os AH foram separados dos AF por centrifugação após precipitação em meio ácido obtido com adição de H_2SO_4 concentrado até valor de pH 1. Em seguida após lavagens os AH foram redissolvidos em $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$.

Os teores de C nas frações AFL, AF e AH foram determinados automaticamente via combustão úmida (TOC Analyser-Perkyn Elmer) e de huminas e carbono do solo via combustão seca (CHN/S Analyser-Perkyn Elmer modelo PE 2400-II). Os valores de C obtidos em g kg^{-1} foram transformados em estoque de carbono através da equação: $E_c = C \times L \times d \times 10$; onde: C em g kg^{-1} ; L, espessura da camada de solo em m e d, densidade em Mg m^{-3} .

A seguir, foi realizada a extração dos ácidos AF e AH de acordo com a metodologia da IHSS (www.ihss.gatech.edu) utilizando-se $\text{NaOH } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$ para aumentar o rendimento de extração. Os AF e AH foram purificados adicionando-se solução aquosa diluída de HF e HCl (preparada com 5 mL de HCl concentrado, e 5 mL de HF concentrado e o volume da solução completado para 1 L com água deionizada), sendo em seguida lavados com água até teste negativo contra Cl^- , e secos por liofilização. Após extração e purificação, foram utilizados 50 mg de AF e AH para a determinação da acidez total, carboxílica e fenólica (obtida por diferença) de acordo com procedimentos preconizados por Schnitzer & Gupta (1965).

A relação E_4/E_6 foi obtida por meio da razão da absorbância em 465 nm e 665 nm de uma solução aquosa de AF e AH (4 mg em 10 mL de $\text{NaHCO}_3 \text{ } 0,05 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 8,0 ajustado com NaOH/HCl diluídos) num espectrofotômetro Hitachi U-2000.

A composição elementar (C, H, N, O) dos AF e AH foi determinada através da combustão seca (CHN/S Analyser-Perkyn Elmer modelo PE 2400-II) utilizando-se aproximadamente 5 mg da amostra livre de umidade. C, H e N foram obtidos diretamente da análise, enquanto O foi calculado pela diferença ($\%O = 100 - \%C - \%H - \%N$) com base na amostra livre das cinzas. O conteúdo de cinzas dos AF e AH foi determinado pela seguinte equação: $\% \text{ cinzas} = (M_{750}/M_{60}) \times 100$, onde M_{60} é o

peso dos AF e AH após 16 h em estufa a 60°C e M_{750} o peso do resíduo dos AF e AH após 8 h na mufla a 750°C.

A espectroscopia na região do infravermelho com transformação de Fourier (IV-TF), dos AF e AH foi realizada na faixa de 400 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} , utilizando-se pastilhas com $1 \pm 0,1$ mg de AF e/ou AH em $100 \pm 0,1$ mg de KBr seco (as pastilhas foram preparadas através da mistura do KBr com AF e/ou AH, homogeneizados, e em seguida prensadas em vácuo). Os espectros foram obtidos num espectrofotômetro Shimadzu (modelo ftir-8300). No momento da leitura dos espectros de IV-TF procedeu-se a correção automática da linha base em 4000, 2000 e 400 cm^{-1} , igualando-se a absorção em 4000, 2000 e 400 cm^{-1} a zero.

Resultados e discussão

Na Tabela 1 são apresentadas as características físicas e químicas do solo em função das coberturas da cava de extração de argila e das profundidades. Os valores de pH do solo com cobertura da braquiária apresentaram pouca variação em profundidade, sendo de 5,5 na profundidade de 0,00-0,10 m e de 6,1 nas profundidades de 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m. Por outro lado, na cobertura com acácia os valores de pH foram menores em relação a braquiária, e, diminuíram com a profundidade de coleta do solo. Este fato pode ser atribuído à fixação biológica de N_2 atmosférico. Neste processo, para manter o pH intracelular, a planta de leguminosa faz extrusão de prótons, com acidificação da rizosfera (Marschner & Römheld, 1983). A acidificação da rizosfera pelas leguminosas, bem como a formação de simbiose com fungos micorrízicos, promovem a solubilização de fosfatos naturais, aumentando sua absorção, podendo melhorar o estabelecimento dessas espécies onde este nutriente é limitante, caso da maioria das áreas degradadas. Os teores de Ca^{2+} do solo sob cobertura da braquiária nas três profundidades foram maiores quando comparados aos da acácia. Já, os teores de Mg^{2+} em função da cobertura da cava e das profundidades de coleta apresentaram pouca variação. De maneira geral, os teores de K^+ e P diminuíram com a profundidade, e, os maiores teores foram observados na cobertura da acácia na profundidade de 0,00-0,10 m. As diferenças observadas nos teores de areia, silte e argila no substrato da cava, são possivelmente, decorrentes das variações nas profundidades de extração da argila, que muitas vezes expõe camadas de areia. O

substrato da cava de extração de argila apresentou nível de fertilidade mais elevado do que normalmente se observa em áreas degradadas (Franco et al. 1992), indicando que a devolução da camada superficial é um fator decisivo no crescimento e estabelecimento das espécies a serem utilizadas na revegetação dessas áreas, devendo ser mantido.

Os valores de densidade do solo não foram alterados em função da cobertura da cava nas profundidades estudadas.

O estoque de carbono total e o contido nas frações humificadas encontram-se na Tabela 2. Verificou-se na área com cobertura de acácia um acréscimo, em relação a braquiária, da ordem de 33 % no estoque de carbono (C_{total}), na profundidade de 0,00-0,10 m e de 80 % na de 0,20-0,30 m. Na profundidade intermediária (0,10-0,20 m) não foi observada mudança na quantidade de C_{total} armazenada em função da cobertura vegetal. A fração ácidos fúlvicos livres (AFL) representou a menor parte do estoque de carbono com decréscimo em profundidade nas duas coberturas da cava. Na fração ácidos fúlvicos (AF), foi observado acréscimo na ordem de 88 %, 284 % e 38 % na cobertura acácia em relação a braquiária, nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, respectivamente. A diminuição dos teores de AFL e aumento na fração de AF podem sugerir tanto uma evolução química dos compostos orgânicos com a humificação como transporte dessa fração para camadas mais profundas. A fração humificada solúvel mais condensada, isto é, a fração ácidos húmicos (AH) na cobertura com acácia apresentou acréscimo de 26 %, 217 % e 46 % nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, respectivamente, em relação à braquiária. Na fração humina (H), o acréscimo foi de 26 %, 30 % e 18 % nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, respectivamente. Na cava com cobertura de acácia foi observado aumento de matéria orgânica humificada.

Em perfis de solo, naturalmente desenvolvidos é observado acúmulo em superfície da fração AH, e aumento em subsuperfície de AF devido a sua mobilidade, de acordo com as características de formação do perfil do solo (Canellas et al., 2000; Ussiri & Johnson, 2003). Ainda, ao contrário dos solos de regiões temperadas, nas tropicais e subtropicais a humina (H) é a fração humificada dominante nos horizontes ao longo do perfil do solo (Canellas et al., 2000). No presente trabalho foi observado

no substrato drasticamente modificado, o elevado aporte de matéria orgânica pela leguminosa acácia, que por sua vez, proporcionou aumentos das frações humificadas solúveis em superfície com diminuição destas em profundidade. De acordo com Orlov (1998), o aumento no conteúdo de AH pode ser um indicador da melhoria da qualidade do húmus do solo ou do incremento da atividade biológica que promove a síntese de substâncias húmicas mais condensadas. A cobertura com a leguminosa modificou a qualidade da matéria orgânica da cava aumentando o carácter fulvático do húmus do solo (diminuição da relação AH/AF), pois o aumento do conteúdo de AH foi acompanhado pelo aumento das frações de AF. Canellas et al. (2004), utilizando leguminosas herbáceas perenes (*Arachis pintoi*, *Pueraria Phaseoloides* e *Macroptilium atropurpureum*) como adubo verde, verificaram o mesmo comportamento, ou seja, acréscimo da fração AH acompanhado do aumento da fração AF.

Os valores de acidez total, carboxílica, fenólica e da relação E_4/E_6 , dos AF e AH encontram-se na Tabela 3. De maneira geral, tanto os AF como os AH apresentaram valores elevados de acidez total, carboxílica e fenólica. A acidez das substâncias húmicas, de modo geral, foi mais elevada na cobertura com acácia quando comparada com a braquiária, tendendo à diminuição com a profundidade. Em média, os valores de acidez total dos AF foram de $865 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e $920 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ nas coberturas de braquiária e acácia, respectivamente, e dos AH de $810 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e $841 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ nessas coberturas, respectivamente. A fração AF, geralmente apresenta maior acidez total em relação aos AH (Stevenson, 1994). Portanto, no presente trabalho, observaram-se valores elevados de acidez total tanto nos AF como nos AH, podendo ser atribuído às características mais ácidas do material formador da serapilheira. Em média, a acidez carboxílica dos AF apresentou 25 % e 33 % da acidez total, nas coberturas de braquiária e acácia, respectivamente. Por outro lado, a acidez fenólica apresentou 75 % e 67 % da acidez total, nessas mesmas coberturas, respectivamente. Comportamento semelhante foi observado para os AH, ou seja, a acidez fenólica representou 62 % e 63 % da acidez total na braquiária e acácia, respectivamente. Geralmente, como observado por Ussiri & Johnson (2003), os valores de acidez carboxílica e fenólica tendem ao equilíbrio, principalmente na fração AH. No presente trabalho, nos AF e AH, a acidez fenólica

foi acentuada. Os grupamentos OH fenólicos são ácidos bem mais fracos que os COOH, tendo suas cargas ionizadas a pH mais elevado, e com possibilidade de formar complexos solúveis e menos agressivos aos minerais de argila. Os AH quanto à sua capacidade reativa apresentam caráter fulvático.

O uso da espectroscopia de UV-Vis dos AF e AH fornece a relação E_4/E_6 , que de acordo com Chen et al. (1977), é inversamente proporcional ao conteúdo de radicais livres, C, O, COOH, e acidez total, e é influenciada, principalmente, pela relação massa molecular/tamanho da molécula. Os valores da relação E_4/E_6 dos AF e AH encontram-se dentro da faixa observada por Stevenson (1994). Em cada cobertura da cava de extração de argila, os valores da relação E_4/E_6 dos AF aumentaram com profundidade. Por outro lado, para os AH os valores dessa relação diminuíram em profundidade, sugerindo grande estabilidade desta fração humificada. Ainda, nos AH sob cobertura com acácia, em média, a relação E_4/E_6 apresentou acréscimo de 86 %, em relação a braquiária, sugerindo que a maior relação E_4/E_6 na cobertura da acácia não está relacionada ao menor grau de condensação, e sim com o maior tamanho da molécula (Chen et al., 1977).

A composição elementar e as relações atômicas C/N, H/C e O/C dos AF e AH encontram-se na Tabela 4. Em média, os teores de C, H, N e O dos AF sob cobertura da acácia foram maiores 65 %, 60 %, 207 % e 58 %, respectivamente, em relação a braquiária. Tais incrementos não foram verificados para os teores desses elementos dos AH em função da cobertura da cava. Os teores de C tanto dos AF como dos AH, apesar de baixos, encontram-se dentro da faixa observada por Rice & Maccarthy (1991). Independente da cobertura da cava e profundidade de coleta, os maiores teores de N ocorreram nos AH, estando entre a faixa observada para os AH de solos (normalmente entre 0,8 % e 4,3 %, segundo Stevenson, 1994). O aumento do conteúdo de N é um indicador do processo de evolução dos AH, evidenciando a presença de transformações químicas mais intensas, decorrentes da humificação dos mesmos (Kumada, 1987). De acordo com Flaig (1971), a insolubilização de fenol e a condensação da quinona, precursores das substâncias húmicas, são resultantes de reações mediadas por compostos nitrogenados. Dessa maneira, durante o processo de humificação ocorre o acúmulo de N. Os menores valores da relação C/N nos AH em relação aos AF independente da cobertura utilizada na cava indica a

maior estabilidade química desta fração humificada. A relação H/C é uma medida indireta das características estruturais dos AF e AH, uma vez que a magnitude dessa relação pode ser usada para indicar o grau relativo de aromaticidade ou insaturação (valores menores) e alifaticidade (valores maiores) das substâncias húmicas (Rice & Maccarthy, 1991). De maneira geral, as relações H/C e O/C dos AF foram maiores 78 % e 550 %, respectivamente, em relação às dos AH. Nos AF sob cobertura da braquiária verificaram-se incrementos da relação O/C de 74 % em relação à acácia. Independente da cobertura da cava e profundidade de coleta, os AH apresentaram menor relação H/C, indicando caráter aromático mais acentuado do C, em relação aos AF. Ainda, os elevados teores de O e relação O/C nos AF, são reflexo da elevada concentração de grupamentos OH fenólicos, em acordo com os resultados elevados da acidez fenólica apresentados na Tabela 3.

Nas Figuras 1 e 2, são apresentados os espectros na região do IV-TF dos AF e AH, respectivamente. As possíveis atribuições das bandas de absorção foram realizadas de acordo com Bloom & Leenheer (1989) e Stevenson (1994). Os espectros de IV-TF dos AF e AH apresentaram diferenças acentuadas em função da cobertura da cava. No entanto, em função da profundidade, para cada cobertura da cava, os espectros de IV-TF dos AF e AH apresentaram feições semelhantes. Em todos os espectros de IV-TF, observam-se bandas de absorção na região de 3800 a 3000 cm^{-1} , que podem ser atribuídas às vibrações de O-H ou N-H livres (Nakanishi, 1962). Nos espectros dos AF na cobertura com braquiária nas profundidades de 0,00-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m a banda de absorção O-H mostra-se centrada em 3.467, 3.466 e 3.469 cm^{-1} , respectivamente (Figura 1A, 1B e 1C); e na cobertura da acácia a banda de absorção apresenta-se centrada em 3.424, 3.448 e 3.463 cm^{-1} , respectivamente (Figura 1D, 1E e 1F). Já, nos espectros dos AH na cobertura da braquiária nas profundidades de 0,00-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, a banda de absorção O-H mostra-se centrada em 3.441, 3.441 e 3.458 cm^{-1} , respectivamente (Figura 2A, 2B, 2C). Por outro lado, na cobertura com acácia a banda de absorção O-H, mostra-se mais alargada e centrada em 3.449, 3.448 e 3.458 cm^{-1} , nas mesmas profundidades, respectivamente (Figura 2D, 2E, 2F). Tal característica indica uma configuração mais rígida das ligações O-H e N-H, pela formação mais intensa de pontes de hidrogênio inter e intramoleculares, o que,

possivelmente, se deve à maior complexidade estrutural dos AH provenientes do solo sob influência da deposição de serapilheira pela acácia.

Independente da cobertura e profundidade de coleta, em todos os espectros dos AH foram verificadas as presenças de grupamentos alifáticos, onde as bandas de absorção devido à presença dos grupos C-H (CH₃) variaram de 2.935 a 2.946 cm⁻¹, e as dos grupos C-H (CH₂) de 2.862 a 2.867 cm⁻¹. A presença desses grupos é confirmada pela banda de absorção (deformação) em torno de 1.460 cm⁻¹. Em todos os espectros dos AH as absorções ao redor de 1.700 cm⁻¹ correspondem a vibrações de grupos C=O de cetonas, quinonas e grupos COOH (Silverstein et al., 1994). Da mesma forma, a banda de absorção em torno de 1.650 cm⁻¹ nos AF e AH, pode ser atribuída à presença do íon carboxilato (deformação axial assimétrica). Nos espectros dos AH sob cobertura da braquiária observam-se bandas de absorção mais acentuadas em 1.643 cm⁻¹, podendo ser atribuídas à presença de duplas ligações conjugadas. Nos AF sob cobertura da braquiária observam-se bandas de absorção acentuadas variando de 1.400 a 1465 cm⁻¹, podendo ser atribuídas a grupamentos CH₃/CH₂ sugerindo caráter mais alifático desta fração humificada, fato este que pode ser confirmado pela maior relação H/C (Tabela 4). Em ambas coberturas, nas três profundidades foram observadas bandas de absorção nos AH variando de 1.550 a 1.507 cm⁻¹, que de acordo com Colthup et al. (1964), deve-se a presença de amidas. As bandas de absorção em torno de 1.300 e 1.200 cm⁻¹ são indicativas da presença de grupos C-O e OH de COOH (Nakanishi, 1962; Colthup et al., 1964; Silverstein et al., 1994). Em todos os espectros dos AF e AH aparece bandas bem definidas em 1.125 e 1.080 cm⁻¹, devido a estiramentos C-O de éster e O-H alcoólico, geralmente atribuído à presença de polissacarídeos na matéria orgânica do solo. Garcés (1987) atribui este sinal à presença de grupos COO⁻ ligados a cátions metálicos.

A presença de um teor médio de 3,7 % de cinzas nas amostras de AF e AH (Tabela 4) sugere que este sinal corresponda a impurezas na amostra, e que esta absorção pode servir como um índice qualitativo de pureza de substâncias húmicas. Também está presente em todos os espectros um sinal de absorção centrado em 1.025 cm⁻¹, podendo ser atribuído à presença de carboidratos nos AF e AH. Em todos os espectros nota-se um sinal de absorção centrado em 848 cm⁻¹ nos AF e 780

cm^{-1} nos AH, que de acordo com Bloom & Leenheer (1989) podem ser atribuído à presença de impurezas minerais junto às substâncias húmicas. Por outro lado, Nakanishi (1962), afirma que a região espectral de 900 a 650 cm^{-1} pode expressar o grau de substituição de átomos nas ligações de grupamentos aromáticos.

A marcada diferença na absorção da luz infravermelha, os valores mais elevados de acidez e da relação E_4/E_6 , a menor relação C/N das substâncias húmicas isoladas na área com acácia bem como o caráter fulvático da matéria orgânica são indicativos claros da mudança de qualidade da matéria orgânica em função da cobertura vegetal da cava de extração da argila.

Conclusões

1. A substituição da vegetação espontânea pela *Acacia mangium* na cobertura da cava de extração de argila promoveu alterações nas propriedades químicas do solo e na qualidade da matéria orgânica do solo.

2. Com o uso da *A. mangium* foi observado aumento no estoque de carbono, bem como do caráter fulvático da matéria orgânica do solo.

3. Os maiores valores da relação E_4/E_6 e acidez, e menor relação C/N das substâncias húmicas alcalino solúveis na cobertura com *A. mangium*, são indicativos de alteração no processo de transformação da matéria orgânica.

4. Através da espectroscopia de IV-TF verificou-se na cobertura com *A. mangium* a presença de configurações mais rígidas das ligações O-H e N-H e natureza inequívoca de mudanças na qualidade da matéria orgânica humificada solúvel.

Agradecimentos

Ao CNPq (471910/2003), IFS (C3391-1) e a FAPERJ (E26/170.526/2004), pelo apoio financeiro.

Referências

- ANDRADE, A.G.; COSTA, G.S.; FARIA, S.M. Deposição e decomposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em Planossolo. Revista Brasileira de Ciência do solo, v.24, p.777-785, 2000.
- ANDREUX, F. Humus in world soils. In: PICCOLO, A. (ED.). Humic Substances in terrestrial ecosystems. Amsterdam, Elsevier, 1996. p.45-100.
- ASFLUCAN- Associação Fluminense de plantadores de cana. Levantamento das últimas doze safras de cana-de-açúcar no Município de Campos dos Goytacazes – RJ, Dados não publicado. 2003.
- BLOOM, P.R.; LEENHEER, J.A. Vibrational, electronic, and high-energy spectroscopic methods for characterizing humic substances. In: HAYES, M.H.B.; MacCARTHY, P.; MALCOLM, R.L.; SWIFT, R.S. (ED.). Humic substances: II. In search of structure. New York, J. Wiley, 1989. p. 410-446.
- CANELLAS, L.P.; BERNER, P.G.; SILVA, S.G.; SILVA, M.B.; SANTOS, G.A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma toposseqüência no Estado do Rio de Janeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, p.133-143, 2000.
- CANELLAS, L.P.; ESPINDOLA, J.A.A.; REZENDE, C.E.; DE CAMARGO, P.B.; ZANDONADI, D.B.; RUMJANEK, V.M.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G.; BRAZ-FILHO, R. Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. Scientia Agricola, v.61, p.53-61, 2004.
- COLTHUP, N.B.; DALY, L.H.; WIBERLEY, S.E. Introduction to infrared and raman spectroscopy. 1 ed. New York, Academic, 1964. 511p.
- CHEN, Y.; SENESI, N.; SCHNITZER, M. Information provided on humic substances by E4/E6 ratios. Soil Science Society of America Journal, v.41, p.352-358, 1977.
- COSTA JÚNIOR, P.F. Comportamento de leguminosas arbóreas inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio em estéril de extração de argila. 1997. 72p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FLAIG, W. Organic Compounds in soil. *Soil Science*, v.11, p.1-19, 1971.
- FRANCO, A.A.; CAMPEL, E.F.; SILVA, E.M.R. da.; FARIA, S.M. de. Revegetação de solos degradados. Seropédica: EMBRAPA-CNPBS, 1992. 8P. (EMBRAPA-CNPBS. Comunicado Técnico, 9).
- FRANCO, A.A.; FARIA, S. M. de. The contribution of N₂-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. *Soil Biol. Biochem*, v.29, p.897-903, 1997.
- GALIANA, A.; BALLE, P.; GUESSAN KANGA, A.N.; DOMENACH, A.M. Nitrogen fixation estimated by the ¹⁵N natural abundance method in *Acacia mangium* Willd. inoculated with *Bradyrhizobium* sp. and grown in silvicultural conditions. *Soil Biology & Biochemistry*, v.34, p.251-262, 2002.
- GARCÉS, N.P. Características actuales del humus en los principales tipos de suelos de Cuba. 1987. 200p. (Tesis Doctoral) - Universidad de agricultura de Nitra, Cuba.
- GUERRA, J.G.M.; SANTOS G.A. Métodos químicos e físicos. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (ED.). Fundamentos da matéria orgânica do solo. 1 ed. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.267-291.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (2003) Produção Agrícola Municipal; Rio de Janeiro , 29:1-8.
- JOHNSTON, C.T.; AOCHI, Y.O. Fourier transform infrared and raman spectroscopy. In: SPARKS, D.L. (ED.). *Methods of soil analysis. Chemical methods*. 2. ed. Madison, Agronomic Society American Journal, 1996. p. 269-321.
- KONONOVA, M.M. *Soil organic matter*. Oxford: Pergamon Press, 1966. 272p.
- KUMADA, K. *Chemistry of soil organic matter*. 1 ed. Tokyo, Japan Scientific Societies, 1987. 241p.
- MacCALLISTER, D.L.; CHIEN, W.L. Organic carbon quantity and forms as influenced by tillage and cropping sequence. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.31, p.465-479, 2000.
- MARSCHNER, H.; RÖMHELD, V. In vivo measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface. *Z. Pflanzenphysiol. Bd*, v.111, p.241-251, 1983.

- MARTIN-NETO, L.; CRUVINEL, P.E.; MATTOSO, L.H.C.; COLNAGO, L.A. Espectroscopias de infravermelho, ultravioleta-visível e puxe: alguns resultados disponíveis. In: CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; MASCARENHAS, S.; BISCEGLI, C.I. (ED.). Instrumentação agropecuária: contribuições no limiar do novo século. São Carlos, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1996 p.51-90.
- NAKANISHI, K. Infrared absorption spectroscopy. 1 ed. Tokyo, Nankondo, 1962. 233 p.
- ORLOV, D.S. Organic substances of Russian soils. Eurasian Soil Science, 31:946-953, 1998.
- RICE, J.A.; MacCARTHY, P. Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances. Org. Geochem, v.17, p.635-648, 1991.
- SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecosistemas tropicais e subtropicais. Brasil, Porto Alegre, 1999. 508p.
- SCHNITZER, M.; GUPTA, U.C. Determination of Acidity in Soil Organic Matter. Soil Science Society Proceedings, v.1, p.274-277, 1965.
- SILVERSTEIN, R.M.; BASSLER, G.; MORRIL, T.C. Identificação espectrométrica de compostos orgânicos. 1 ed. Rio de Janeiro, Guanabara-Koogan, 1994. 387 p.
- STEVENSON, F.J. Humus chemistry: genesis, composition, reaction. 1 ed. New York, Wiley Interscience, 1994. 443 p.
- USSIRI, D.A.N.; JOHNSON, C.E. Characterization of organic matter in a northern hardwood forest soil by ¹³C NMR spectroscopy and chemical methods. Geoderma, v.111, p.123-149, 2003.
- ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIAN, T.M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. Geoderma, v.79, p.17-161, 1997.

Tabela 1. Características físicas e químicas das amostras de solos coletadas em três profundidades em área de extração de argila com vegetação espontânea [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf], e revegetada com *Acacia mangium* Willd.

Cobertura da cava	Profundidade (m)	pH	Ca	Mg	K	P	Areia	Silte	Argila	Densidade
			—cmol _c dm ⁻³ —	—mg dm ⁻³ —	—g dm ⁻³ —	Mg m ⁻³				
Braquiária	0,00-0,10	5,5	4,4	2,5	64	10	480	230	290	1,3
	0,10-0,20	6,1	4,9	2,6	31	6	500	200	300	1,2
	0,20-0,30	6,1	3,1	1,7	22	7	670	140	190	1,2
Acácia	0,00-0,10	5,0	3,3	2,3	83	14	610	190	200	1,3
	0,10-0,20	4,6	2,8	1,7	19	4	760	100	140	1,3
	0,20-0,30	4,3	2,9	1,9	19	6	860	50	90	1,3

Tabela 2. Fracionamento da matéria orgânica das amostras de solos coletadas em três profundidades em área de extração de argila com vegetação espontânea [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf], e revegetada com *Acacia mangium* Willd.

Cobertura da cava	Profundidade (m)	C _{total}	AFL AF AH			H	AH/AF	GH %
			Mg ha ⁻¹					
Braquiária	0,00-0,10	36,78	1,25	2,67	2,04	19,49	0,52	69
	0,10-0,20	27,81	0,79	1,13	0,52	12,12	0,27	52
	0,20-0,30	11,67	0,62	0,90	0,67	7,85	0,44	86
Acácia	0,00-0,10	48,80	1,99	5,01	2,57	24,58	0,37	70
	0,10-0,20	26,21	1,50	4,34	1,65	15,77	0,28	88
	0,20-0,30	20,97	0,66	1,24	0,98	9,31	0,51	58

Tabela 3. Acidez total, carboxílica e fenólica e razão E₄/E₆ de ácidos fúlvicos e húmicos isolados das amostras de solos coletadas em três profundidades em área de extração de argila com vegetação espontânea [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf], e revegetada com *Acacia mangium* Willd.

Substâncias Húmicas	Cobertura da cava	Profundidade (m)	Acidez total	Acidez carboxílica	Acidez fenólica	Relação E ₄ /E ₆
			—cmol _c kg ⁻¹ —			
Ácidos Fúlvicos	Braquiária	0,00-0,10	941,71	218,77	722,94	8,6
		0,10-0,20	821,24	213,62	607,62	10,0
		0,20-0,30	832,51	212,59	619,92	10,5
	Acácia	0,00-0,10	1072,01	290,87	781,14	8,2
		0,10-0,20	857,82	311,47	546,35	8,8
		0,20-0,30	830,28	332,07	498,21	9,9
Ácidos Húmicos	Braquiária	0,00-0,10	857,19	316,62	540,57	2,0
		0,10-0,20	835,16	314,72	520,44	1,8
		0,20-0,30	740,18	306,32	433,86	1,3
	Acácia	0,00-0,10	941,71	326,92	614,79	3,9
		0,10-0,20	801,54	316,62	484,92	3,7
		0,20-0,30	781,24	313,52	467,72	1,9

Tabela 4. Composição elementar, relações atômicas C/N, H/C e O/C, e teor de cinzas dos ácidos fúlvicos e húmicos isolados das amostras de solos coletadas em três profundidades em área de extração de argila com vegetação espontânea [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf], e revegetada com *Acacia mangium* Willd.

Substâncias Húmicas	Cobertura da cava	Profundidade (m)	C H N O				C/N	H/C	O/C	Cinzas (%)
			g kg ⁻¹							
Ácidos Fúlvicos	Braquiária	0,00-0,10	118,4	21,2	2,7	821,7	51,16	2,15	5,21	3,6
		0,10-0,20	118,3	21,2	2,6	821,9	53,08	2,15	5,21	4,2
		0,20-0,30				833,3	159,2	2,27		3,8
				109,2	20,7	2,6	5		5,72	
	Acácia	0,00-0,10	189,0	31,6	11,0	732,4	20,06	2,01	2,91	3,8
		0,10-0,20	238,4	35,7	10,3	697,6	27,00	1,80	2,19	3,7
0,20-0,30		142,3	33,7	3,0	795,0	55,34	2,84	4,19	3,6	
Ácidos Húmicos	Braquiária	0,00-0,10	461,3	49,3	35,2	418,2	15,29	1,28	0,68	3,7
		0,10-0,20	445,0	46,7	36,3	436,0	14,30	1,26	0,73	3,8
		0,20-0,30	510,1	53,6	29,1	371,2	20,45	1,26	0,55	3,5
	Acácia	0,00-0,10	455,0	48,1	33,3	427,0	15,94	1,27	0,70	3,4
		0,10-0,20	477,6	47,0	35,0	404,0	15,92	1,18	0,63	3,6
		0,20-0,30	478,5	47,2	32,1	406,2	17,39	1,18	0,64	3,7

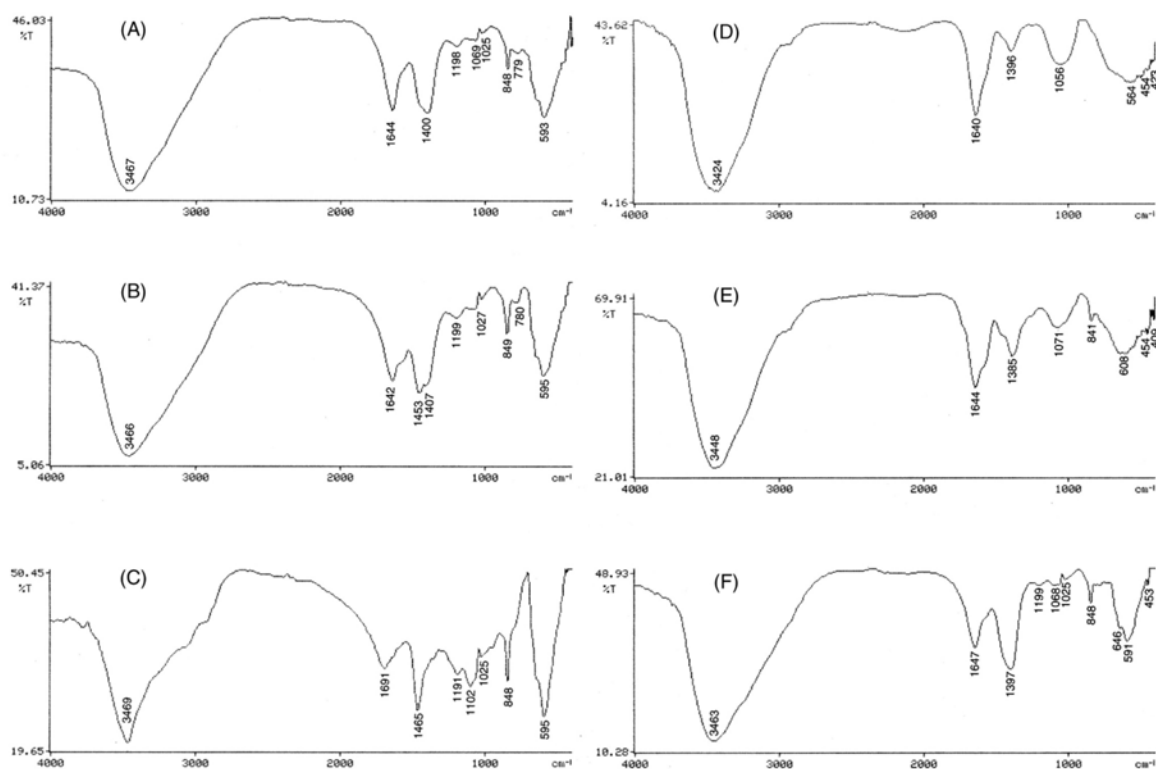


Figura 1. Espectros de infravermelho dos ácidos fúlvicos extraídos das amostras de solos coletadas em área de extração de argila com vegetação espontânea [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf], nas profundidades de 0,00-0,10 m (A), 0,10-0,20 m (B), 0,20-0,30 m (C) e revegetada com *Acacia mangium* Willd, nas profundidades de 0,00-0,10 m (D), 0,10-0,20 m (E), 0,20-0,30 m (F).

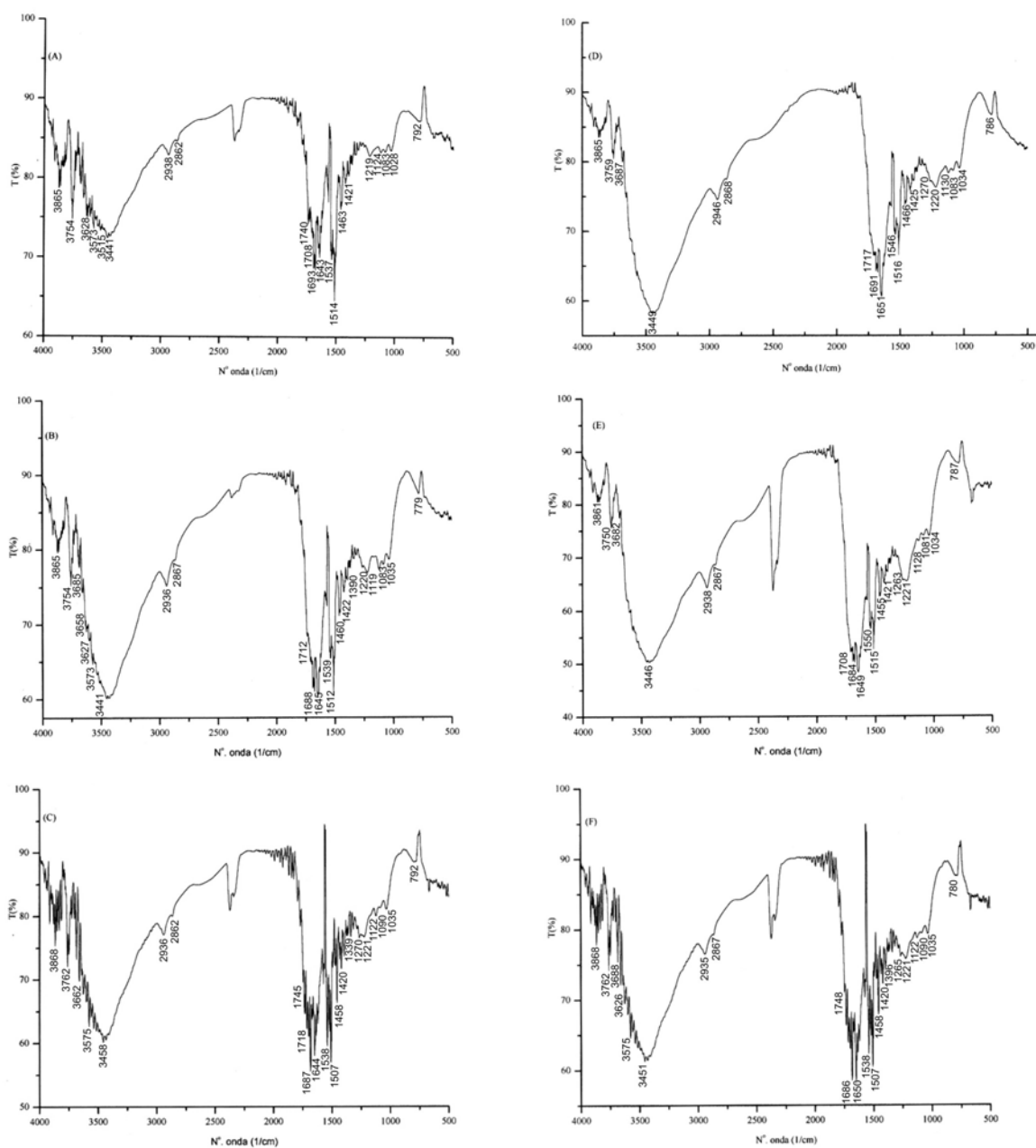


Figura 2. Espectros de infravermelho dos ácidos húmicos extraídos das amostras de solos coletadas em área de extração de argila com vegetação expontânea [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf], nas profundidades de 0,00-0,10 m (A), 0,10-0,20 m (B), 0,20-0,30 m (C) e revegetada com *Acacia mangium* Willd, nas profundidades de 0,00-0,10 m (D), 0,10-0,20 m (E), 0,20-0,30 m (F).

**ESTUDO DA FRAÇÃO RECALCITRANTE DA MATÉRIA ORGÂNICA EM ÁREA
DEGRADADA PELA EXTRAÇÃO DE ARGILA REVEGETADA COM *Acacia
mangium*.⁽¹⁾**

J. A. SCHIAVO ⁽²⁾; L. P. CANELLAS⁽³⁾; M. A. MARTINS ⁽³⁾; C. R. R. MATOS⁽⁴⁾

RESUMO – A humina é a fração humificada da matéria orgânica do solo intimamente ligada à fração mineral do solo e considerada insolúvel em reagentes alcalinos ácidos normalmente utilizados. Este trabalho foi realizado objetivando verificar a influência da leguminosa *Acacia mangium* Willd sobre a fração mais recalcitrante da matéria orgânica do solo (humina), através da identificação dos compostos orgânicos presentes nesta fração. As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0,00-0,10 m na cava de extração de argila revegetada com *A. mangium* Willd. Como controle, foram coletadas amostras dentro da cava sem o plantio da leguminosa, com vegetação espontânea de gramínea [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf]. As amostras de solos foram passadas em peneira de 2 mm, constituindo a terra fina seca ao ar (TFSA), da qual realizou-se o processo de extração e purificação de humina.

Termos de indexação: humina, leguminosa, cromatografia gasosa, espectrometria de massas.

⁽¹⁾Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, a ser apresentada à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF.

⁽²⁾Doutorando do curso de Produção Vegetal da UENF/CCTA. Av. Alberto Lamego 2000, Campos dos Goytacazes (RJ). CEP: 28013-600. E-mail: schiavo@uenf.br

⁽³⁾Professor Associado, UENF/CCTA. Bolsista do CNPq.

⁽⁴⁾Professor Associado, UENF/CCT-LCQUI

Após purificação, a humina foi submetida a transesterificação com metanol trifluorato de boro ($\text{BF}_3\text{-MeOH}$), obtendo-se as subfrações alifáticas e aromáticas. Essas subfrações foram submetidas à cromatografia gasosa (Shimadzu GC-17A) combinada com a espectrometria de massa (Shimadzu GC/MS-qp5050A). Na subfração alifática obtida da cobertura com *A. mangium* os compostos identificados foram hexadecanoato de metila, octadecanoato de metila, heptadecano e 2-hidroxiodecanoato de metila; e na gramínea 14-metilpentadecanoato de metila e nonadecanoato de metila. Na subfração aromática os compostos identificados na cobertura com *A. magium* foram os mesmos obtidos na gramínea, sendo eles: 14-metilpentadecanoato de metila, 1,2 benzenodioato de 2-etilhexila e butila. A leguminosa arbórea *A. mangium* proporcionou mudanças na fração mais recalcitrante das substâncias húmicas (humina), extraída da cava de extração de argila, preservando uma maior diversidade de compostos alifáticos.

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo e dos resíduos, do ponto de vista estritamente teórico, pode ser dividida em dois grandes compartimentos: um menor, composto pela fração não humificada representada pelos restos vegetais e animais poucos decompostos e pelos compostos orgânicos com categoria bioquímica definida (e.g. proteínas, açúcares, ceras, graxas, resinas), compreendendo entre 10 e 15 % da reserva total do carbono orgânico, e, o outro compartimento maior formado pelas substâncias humificadas, constituindo de 85 a 90 % da reserva total de carbono (Andreux, 1996).

As substâncias húmicas são produtos da intensa transformação dos resíduos orgânicos pela biomassa e polimerização dos compostos orgânicos (principalmente através de reações de condensação, desidratação, demetilação e oxidação) até macromoléculas resistentes à degradação biológica (Santos & Camargo, 1999). De modo geral, as substâncias húmicas são divididas em três categorias: os ácidos fúlvicos (AF), solúveis tanto em meio ácido como básico; os ácidos húmicos (AH), insolúveis em meio fortemente ácido e as huminas (H) que representam a matéria orgânica intimamente ligada à fração mineral do solo e considerada insolúvel em

meio aquoso em qualquer valor de pH (Rice, 2001). Por ser considerada insolúvel, intimamente ligada à fração mineral do solo e, portanto inerte, poucos trabalhos utilizando a humina têm sido realizados, em comparação à outras frações humificadas. Numa revisão sobre substâncias húmicas, Rice (2001), verificou que dos 16.808 trabalhos publicados apenas 759 eram referentes à fração humina, ou seja, em torno de 4,5 %. Esse número pode ser ainda menor, uma vez que de acordo com o autor, a revisão foi realizada com base nas palavras chave presente nos resumos dos trabalhos, sendo estas muitas vezes citadas incorretamente.

O termo humina normalmente se refere à fração orgânica insolúvel remanescente após a extração dos ácidos húmicos e fúlvicos. Há quase um consenso em considerar a fração humina como não reativa ou com seus sítios de reação bloqueados pela interação com a fração mineral (Santos & Camargo, 1999). No entanto, assume um papel central no destino de poluentes orgânicos (e.g. pesticidas, herbicidas, hidrocarbonetos poliaromáticos, clorados) e na biodisponibilidade de nutrientes (Alvarez-Puebla et al., 2004). Além disso, sua suposta natureza inerte, não corresponde às rápidas mudanças observadas no seu conteúdo em experimentos de curta (Canellas et al., 2004; Schiavo et al., 2005) ou longa duração (Canellas et al., 2003). Resultados semelhantes foram observados por Doane et al. (2003) que estimaram através da técnica do isótopo $\delta^{13}\text{C}$ a ciclagem de 8 % da fração alcalino insolúvel em apenas um ano de cultivo.

A limitação metodológica para remoção da humina do solo é a principal responsável pelo reduzido número de investigações a respeito da origem e constituição química desses compostos húmicos insolúveis. Com a utilização do metanol trifluorato de boro é possível a remoção gradativa de constituintes presentes na humina, possibilitando o diagnóstico molecular e identificação dos mesmos. Almeandros & Sanz (1991), utilizando esta metodologia, identificaram os possíveis compostos, aromáticos e alifáticos, presentes na fração humina de três classes de solos de clima temperado. Grande parte dos trabalhos sobre a natureza química da humina indica que a sua composição química é similar a das outras frações humificadas do solo permanecendo insolúvel devido à elevada proporção de resíduos de plantas pouco decomposto, presença de material humificado de elevada massa molecular e a forte associação com a fração mineral do solo (Almendros &

Gonzalez-Vila, 1987; Almendros & Sanz, 1991, 1992; Preston & Ripmeester, 1982; Preston & Newman, 1992; Saiz-Jimenez & De Leeuw, 1986; Saiz-Jimenez et al., 1986). No entanto, tem sido observada nas huminas a predominância de natureza química alifática em particular com enriquecimento em material alquílico insolúvel revelado tanto por ressonância magnética nuclear (RMN), como pela análise de pirólise acoplada à cromatografia gasosa (Almendros & Sanz, 1991, 1992; Almendros et al., 1991; Preston & Newman, 1992; Grasset & Ambles, 1998b; Lichtfouse et al., 1998; Rice, 2001).

A origem e os caminhos de formação dos grupos alifáticos na fração mais insolúvel da matéria orgânica humificada permanece ainda não esclarecida (Hedges & Oades, 1997). As fontes de compostos alifáticos incluem componentes macromoleculares altamente resistentes à degradação biológica proveniente de plantas i.e., as chamadas cutinas e suberinas (Tegelaar et al., 1989a; Augris et al., 1998; Nierop, 1998), de microorganismos do solo (Lichtfouse et al., 1995, 1998a; Van Bergen et al., 1998) e ainda, da mistura dessas duas fontes (Almendros et al., 1991; Van Bergen et al., 1997).

Inicialmente a hipótese de formação das huminas, esteve associada a uma dinâmica linear de evolução de matéria orgânica humificada com uma seqüência de formação de ácidos fúlvicos livres que com a intensidade do processo de humificação iriam se condensando paulatinamente até ácidos fúlvicos e estes até ácidos húmicos. O processo final de condensação e polimerização levaria a formação de macromoléculas insolúveis (Santos, 1984). A predominância da natureza alifática nas huminas observadas diretamente por métodos espectroscópicos levou ao abandono nos anos 1970 dessa concepção linear do processo de humificação. Foi postulada então a via da preservação seletiva de biopolímeros recalcitrantes de natureza alifática proveniente de polissacarídeos de plantas ou da atividade microbiológica (Lichtfouse et al., 1995).

Em trabalho anterior, Schiavo et al. (2005), observaram rápidas variações no conteúdo de huminas em substrato de áreas de mineração de argila recuperadas com *Acácia mangium* Willd.

A *Acácia* é uma leguminosa que apresenta elevado potencial de produção de serapilheira, depositando sobre o solo 9 Mg ha⁻¹ por ano (Andrade et al., 2000; Garay

et al., 2003). O processo de decomposição e humificação da serapilheira, levando à formação de estruturas mais condensadas é regulado pela interação de três grupos de variáveis: as condições físico-químicas do ambiente, as quais são controladas pelo clima e pelas características edáficas do sítio; a qualidade (orgânica e nutricional) do substrato, que determina sua degradabilidade, e a natureza da comunidade decompositora (os macro e microrganismos) (Heal et al., 1997; Correia & Andrade, 1999). Quanto à qualidade da serapilheira, esta é dada pelo grau de lignificação, teores de nutrientes, compostos orgânicos solúveis e presença de moléculas orgânicas com efeitos alelopáticos e estimuladores em concentrações biologicamente significativas (Palm & Sanchez, 1991). Garay et al. (2003), observaram que a serapilheira da *A. mangium* apresentou baixa relação C/N (variando de 30,3 a 18,5 entre folhas inteiras e a fração mais fina, respectivamente), ocasionando maior decomposição e incorporação de matéria orgânica ao solo. Dessa maneira, acredita-se que a elevada deposição associada à qualidade da serapilheira desta espécie, possa modificar a fração mais recalcitrante da matéria orgânica do solo (humina).

O presente estudo teve como objetivo a caracterização da natureza química dos compostos na humina extraída do substrato de área degradada pela extração de argila, revegetada com *Acacia mangium* Willd e sob vegetação espontânea [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf].

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado numa cava de extração de argila pertencente à cerâmica Stilbe, localizada no distrito de Poço Gordo, Município dos Campos dos Goytacazes, RJ, revegetada há 3 anos com a leguminosa arbórea *Acacia mangium* Willd. Como controle foi utilizada uma área dentro da cava sem o plantio da leguminosa e com vegetação espontânea de *Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf. Nas duas áreas foram coletadas dez amostras simples de solo na profundidade de 0,00-0,10 m, que constituíram as amostras compostas para a realização das análises.

Após a coleta, as amostras foram secas e peneiradas (2 mm), constituindo a terra fina seca ao ar (TFSA). O fracionamento da matéria orgânica foi realizado a

partir da simplificação do método de Belchikova-Kononova descrito em detalhes em Guerra & Santos (1999). Resumidamente, as amostras de TFSA sofreram pré-tratamento com ácido ortofosfórico 2 mol L^{-1} , que separou por densidade a fração leve e solubilizou a fração ácidos fúlvicos livres (AFL). Em seqüência sobre a amostra de TFSA foi colocada a mistura extratora de $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1} + \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, na proporção 1:10 (v/v), que solubilizou os ácidos fúlvicos (AF) e os ácidos húmicos (AH). O resíduo sólido insolúvel resultante do processo de fracionamento foi denominado de humina (H).

A extração e purificação da humina foram realizadas de acordo com metodologia descrita em detalhes por Almendros & Sanz (1991) e esquematizadas na Figura 1. Resumidamente, o resíduo com humina foi lavado com água destilada e suspenso em líquido de densidade $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ (NaI) e submetido à agitação. A fração herdada da humina foi recuperada por filtração após centrifugação. A purificação foi realizada com uma mistura (1:1) de HCl e HF 1% durante uma noite à temperatura ambiente, para posterior extração com metanol e tricloro metano (CH_3OH , CHCl_3). Após purificação, a humina foi submetida a transesterificação com metanol trifluorato de boro ($\text{BF}_3\text{-MeOH}$). Em balão com rolha rosqueada foram adicionados 200 mg de amostra de humina e 10 ml de $\text{BF}_3\text{-MeOH } 20 \%$. O complexo foi aquecido a 90°C durante 12 horas, livre de N_2 , coletando-se o sobrenadante. Após cinco repetições do processo, o sobrenadante foi centrifugado a 2000 rpm por 3 minutos. O sobrenadante foi coletado e a fase aquosa separada da orgânica através da extração líquido-líquido com CHCl_3 . A fase orgânica foi tratada com $\text{KOH } 1 \text{ mol L}^{-1}$ para obtenção das subfrações alifáticas e aromáticas de acordo com Kolattukudy et al., 1975. A subfração aromática foi acidificada e extraída com éter etílico. Ambas subfrações (alifáticas e aromáticas) foram concentradas, desidratadas com NaSO_4 e evaporadas para posterior análise de cromatografia gasosa (Shimadzu GC-17A) combinada com a espectrometria de massa (Shimadzu GC-MS-qp5050A). A identificação dos picos cromatográficos e dos compostos presentes foi realizada através de comparações com espectros de compostos conhecidos (tempo de retenção) e por similaridade com a biblioteca matriz Nist.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 2 e 3 são apresentados os cromatogramas dos compostos orgânicos obtidos das subfrações alifáticas e aromáticas, respectivamente. Devido à presença de um grande número de picos, somente os mais intensos foram selecionados e apresentados. A atribuição da estrutura dos principais compostos foi realizada com base na análise comparativa com o espectro de massa reportado na biblioteca NIST com similaridade acima de 90 %.

No cromatograma da subfração alifática foram observadas diversidade maior de compostos presentes na humina extraída do solo com cobertura da acácia em relação a braquiaria (Figura 2A, 2B). De maneira semelhante, porém menos acentuada que na subfração alifática, foram observadas diferenças nos cromatogramas da subfração aromática em relação à cobertura da cava de extração de argila (Figura 3A, 3B).

Nas Figuras 4 e 5 são apresentadas as intensidades relativas de cada pico do cromatograma, e nas Tabelas 1 e 2 os prováveis compostos orgânicos, com suas respectivas composições elementares, obtidos das subfrações alifáticas e aromáticas nas duas coberturas da cava de extração de argila.

Na subfração alifática sob a cobertura com acácia os picos 3, 9, 10 e 12 apresentaram a maior intensidade relativa (Figura 4A), sendo identificados como ésteres de ácidos graxos de cadeia relativamente longa com um padrão de distribuição com predominância de compostos de C₁₆ até C₂₄ como hexadecanoato de metila (3), octadecanoato de metila (9) de origem predominantemente vegetal e alcanos como heptadecano (10) e 2-hidroxidodecanoato metila (12) (Tabela 1). Os alcanos com maior número de carbonos na estrutura são tipicamente provenientes de produtos de plantas (Lichtfouse et al., 1997). Na cobertura com braquiaria também os ésteres metílicos de ácidos graxos de origem vegetal foram predominantes, porém com uma intensidade relativa maior de 14-metilpentadecanoato de metila (1) e nonadecanoato de metila (2) (Tabela 1).

Na subfração aromática na cobertura da acácia os picos de maior intensidade foram 2, 3 e 4 (Figura 5A), sendo os compostos identificados em 14-metilpentadecanoato metila (2), 1,2 benzenodioato de 2-etilexila e butila (3) e

nonadecanoato metila (4), respectivamente (Tabela 2). De maneira, semelhante, na cobertura com braquiaria os picos 2, 3 e 4 apresentaram maior intensidade (Figura 5B), obtendo-se os mesmos compostos, exceto para o pico 4 que foi identificado como octadecanoato de metila (4) (Tabela 2).

Almendros & Sanz (1991), trabalhando com humina extraída de três solos diferentes, verificaram que da amostra enriquecida com humina, apenas 6% a 8 % foi solúvel em CH_2Cl_2 , apresentando a mesma proporção das subfrações alifáticas e aromáticas. Esses mesmos autores observaram grande variedade de compostos orgânicos extraídos da humina proveniente dos três solos, onde o ácido benzenocarboxílico dimetoxi foi o mais abundante na subfração aromática, e o ácido graxo mono e dienóico na subfração alifática. No presente trabalho, a porcentagem de material extraído da amostra enriquecida com humina foi de aproximadamente 20 %. Essa maior porcentagem pode ser justificável, uma vez que em condições tropicais o processo de adição de material ao solo é maior, bem como sua decomposição e humificação são mais intensas, onde a fração humina representa 70 % das frações humificadas da matéria orgânica do solo (Audreux, 1996).

Foi constatada a presença abundante de ésteres de ácidos graxos nos compostos obtidos da humina (Tabelas 1 e 2). Nas huminas isoladas da área com cobertura com acácia, além da diversidade maior de compostos na fração subalifática, foi observada a presença de n-alcanos de cadeia curta típico do metabolismo de microrganismos. Na fração alifática da humina obtida da área de gramíneas, observou-se predomínio de composto com cadeias carbônicas mais numerosas típicos de resíduos vegetais alifáticos como produtos da decomposição parcial da cutina e da suberina. De uma forma geral, é possível indicar que o maior aporte de serrapilheira na área de cava com acácia e o maior conteúdo de N nesse material proveniente da fixação biológica de nitrogênio permite uma atividade biológica mais intensa. A incorporação de unidades alifáticas mais variadas nessa humina é um reflexo direto dessa atividade maior.

Independente da cobertura da cava, a presença de compostos de cadeias longas, principalmente na subfração alifática, podem estar relacionados, como observado por Almendros & Sanz (1991), a polímeros típicos encontrados em plantas superiores como cutina e suberina. Por outro lado, com a ação

microbiológica sobre os resíduos mais resistentes das plantas, compostos como ésteres podem ser incorporados promovendo transformação do material da humina. Ainda, devida diferentes tipos de resíduos de plantas, ao complexo processo de origem e diagênese da fração do húmus do solo e às reações de proteção física da humina com as argilas minerais contra o ataque microbiano é compreensivo a preservação na fração recalcitrante da matéria orgânica do solo de compostos como cutina e suberina.

Freqüentemente, os polifenóis presentes na serapilheira são correlacionados negativamente com a velocidade de decomposição, considerando a capacidade de tal grupo de substâncias se complexarem com as formas de N, tornando este elemento menos disponível para a comunidade decompositora (Constantinides & Fownes, 1994). Dentre os fatores relacionados com a qualidade química da serapilheira, a concentração e polifenóis acima de 40g kg^{-1} é considerada capaz de limitar a decomposição (Palm et al., 2001), na qual estão incluídas folhas e estruturas reprodutivas da acácia (Costa et al., 2004). Dessa maneira, mesmo com elevado teor de polifenóis no material formador da serapilheira sob cobertura com acácia, a fração mais recalcitrante da matéria orgânica do solo sofreu alterações, apresentando maior diversidade de compostos alifáticos, que provavelmente são devidos às características químicas dos resíduos da leguminosa.

Nesse trabalho foi verificado que a composição da fração humina é modificada pela alteração da cobertura da cava, mas a sua natureza química é essencialmente preservada, isto é, com acúmulo de ésteres metílicos de ácidos graxos e n-alcans na fração subalifática e ácidos graxos e ácidos benzocarboxílicos na fração subaromática. Essa natureza alifática predominante é semelhante à observada em huminas isoladas de solos e sedimentos de clima temperado (Almendros & Gonzalez-Vila, 1987; Almendros & Sanz, 1991, 1992; Saiz-Jimenez & De Leeuw, 1986; Saiz-Jimenez et al., 1986).

CONCLUSÕES

A presença da leguminosa arbórea *Acacia mangium* proporcionou mudanças na composição química da fração mais recalcitrante (humina) das substâncias

húmicas extraídas da cava de extração de argila com abundância relativa de compostos alifáticos muito maior do que compostos extraídos da sub-fração aromática. De modo geral, os compostos orgânicos obtidos da fração húmica apresentaram elevada quantidade de ésteres metílicos de ácidos graxos.

AGRADECIMENTOS

Ao técnico Wallace, do LCQUI/CCT, pelo auxílio na realização das análises deste trabalho.

LITERATURA CITADA

- ALMENDROS, G.; GONZALEZ-VILA. Degradative studies on a soil humin fraction-sequential degradation of inherited humin. *Soil Biol. Biochem.* 19: 513-520, 1987.
- ALMENDROS, G.; SANZ, J. Structural study on the soil humin fraction – boron trifluoride-methanol transesterification of soil humin preparations. *Soil Biol. Biochem.* 23:1147-1154, 1991.
- ALMENDROS, G.; SANZ, J. A structural study of alkyl polymers in soil after perborate degradation of humin. *Geoderma.* 53: 79-95, 1992.
- ALVAREZ-PUEBLA, R.A.; VALENZUELA –CALAHORRO, C.; GARRIDO, J.J. Modeling the adsorption and precipitation processes of Cu (II) on humin. *Journal of Colloid and Interface Science.* 277: 55-61, 2004.
- ANDRADE, A.G.; COSTA, G.S.; FARIA, S.M. Deposição e decomposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpinifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em Planossolo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:777-785, 2000.
- ANDREUX, F. Humus in world soils. In: PICCOLO, A. (ED.). *Humic Substances in terrestrial ecosystems*. Amsterdam, Elsevier, 1996. p.45-100.
- AUGRIS, N.; BALESSENT, J.; MARIOTTI, A.; DERENNE, S.; LARGEAU, C. Structure and origin of insoluble and non-hydrolyzable, aliphatic organic matter in a forest soil. *28: 119-124*, 1998.

- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARC3IANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, C.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhiço e adição de vinhaça por longo tempo. R. Bras. Ci. Solo, 27: 935-944, 2003.
- CANELLAS, L.P.; ESPINDOLA, J.A.A.; REZENDE, C.E.; DE CAMARGO, P.B.; ZANDONADI, D.B.; RUMJANEK, V.M.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G.; BRAZ-FILHO, R. Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. Sci. Agric., 61:53-61, 2004.
- CONSTANTINIDES, M.; FOWNES, J.H. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin and soluble pçyphenol concentrations. Soil Biochem. 29:49-55, 1994.
- CORREIA, M.E.F.; ANDRADE, A.G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 1999. p.197-226.
- COSTA, G.S.; FRANCO, A.A.; DAMASCENO, R.N.; FARIA, S.M. Aporte de nutrientes pela serapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. R. Bras. Ci. Solo. 28:919-927, 2004.
- DOANE, T.A.; DEVÊVRE, O.C.; HORWÁTH, W.R. Short-term soil carbon dynamics of humic fractions in low-input and organic cropping systems. Geoderma. 114: 319-331, 2003.
- 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*. R. Bras. Ci. Solo. 27:705-712, 2003.
- GUERRA, J.G.M.; SANTOS G.A. Métodos químicos e físicos. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., ed. Fundamentos da matéria orgânica do solo. 1 ed. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.267-291.
- GRASSET, L.; AMBLES, A. Aliphatic lipids released from a soil humin after enzymic degradation of cellulose. Org. Geochem. 29:893-897, 1998b.
- HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M.; SWIFT, M.J. Plant litter quality and decomposition: An historical overview. In: CADISH, G. & GILLER, K.E., eds. Driven by Nature:

- Plant litter quality and decomposition. Walingford, CAB International, 1997. p.3-30.
- HEDGES, J.I.; OADES, J.M. Comparative organic geochemistries of soils and marine sediments. *Organic Geochemistry*. 27: 319-361, 1997.
- KOLATTUKUDY, P.E.; KRONMAN, K.; POULOSE, A.J. Determination of structure and composition of the suberin from the roots of carrot, parsnip, rutabaga, turnip, red beet and sweet potato by combined gas-liquid chromatography and mass spectrometry. *Plant Physiology*. 55:567-573. 1975.
- LICHTFOUSE, E.; BERTHIER, G.; HOUOT, S.; BARRIUSO, E.; BERGHEAUD, V.; VALLA, T. Stable carbon isotope evidence for the microbial origin of C₁₄–C₁₈ n-alkanoic acids in soils. *Organic Geochemistry*. 23: 849-852, 1995.
- LICHTFOUSE, E.; CHENU, C.; BAUDIN, F.; LEBLOND, C.; DA SILVA, M.; BEHAR, F.; DERENNE, S.; LARGEAU, C.; WEHRUNG, P.; ALBRECHT, F. A novel pathway of soil organic matter formation by selective preservation of resistant straight-chain biopolymers: Chemical and isotope evidence. *Org. Geochem.* 28:411-415, 1998a.
- NIEROP, K.G.J. Origin of aliphatic compounds in forest soil. *Organic Geochemistry*. 29:1009-1016, 1998.
- PALM, C.A.; SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.* 23:83-88, 1991.
- PALM, C.A.; GACHENGO, C.N.; DELVE, R.J.; CADISH, G.; GILLER, K.E. Organic inputs for soil management in tropical agroecosystems? Application of an organic resource database. *Agric. Ecosys. Environ.* 83:27-42, 2001.
- PRESTON, C.M.; RIPMEESTER, J.A. Application of solution and solid-state carbon-13 NMR to four organic soils, their humic acids, humin and hydrolysis residues. *Can. J. Spectrosc.* 27: 99-105, 1982.
- PRESTON, C.M.; NEWMAN, R.H. Demonstration of spatial heterogeneity in the organic matter of de-ashed humin samples by solid-state ¹³C CPMAS NMR. *Can. J. Soil Sci.* 72: 13-19, 1992.
- RICE, J.A. Humin. *Soil Science*. 166: 848-857, 2001.

- SAIZ-JIMENEZ, C.; HAWKINS, B.L.; MACIEL, G.E. Cross-polarization, magic-angle spinning carbon-13 nuclear magnetic resonance spectroscopy of soil humic fractions. *Org. Geochem.* 9:277-284, 1986.
- SAIZ-JIMENEZ, C.; DE LEEUW, J.W. *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* 9:99-119, 1986.
- SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Brasil, Porto Alegre, 1999. 508p.*
- SANTOS, G.A. *Contribution a l'étude des interactions matière organique et phosphore dans un soil ferrallitique. Lorraine: Institut National Polytechnique de Lorraine / École Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, 1984. 147p. Tese Doutorado.*
- SCHIAVO, J.A.; CANELLAS, L.P.; MARTINS, M.A. *Caracterização da matéria orgânica em área de extração de argila revegetada com *Acacia mangium* Willd. 2005 (Não publicado).*
- TEGELAAR, E.W.; DE LEEUW, J.W.; DERENNE, S.; LARGEAU, C. A reappraisal of kerogen formation. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 53:3103-3106, 1989a.
- VAN BERGEN, P.F.; PEAKMAN, T.M.; LEIGH-FIRBANK, E.C.; EVERSLED, R.P. Chemical evidence for archaeological frankincense: Boswellic acids and their derivatives in solvent soluble and insoluble fractions of resin-like materials. *Tetrahedron Letters.* 38: 8409-8412, 1997.
- VAN BERGEN, P.F.; NOTT, C.J.; BULL, I.D.; POULTON, P.R.; EERSLED, R.P. Organic geochemical studies of soils from the Rothamsted classical Experiments –IV. Preliminary results from a study of the effect of soil pH on organic matter decay. *Organic Geochemistry.* 29: 1779-1795, 1998.

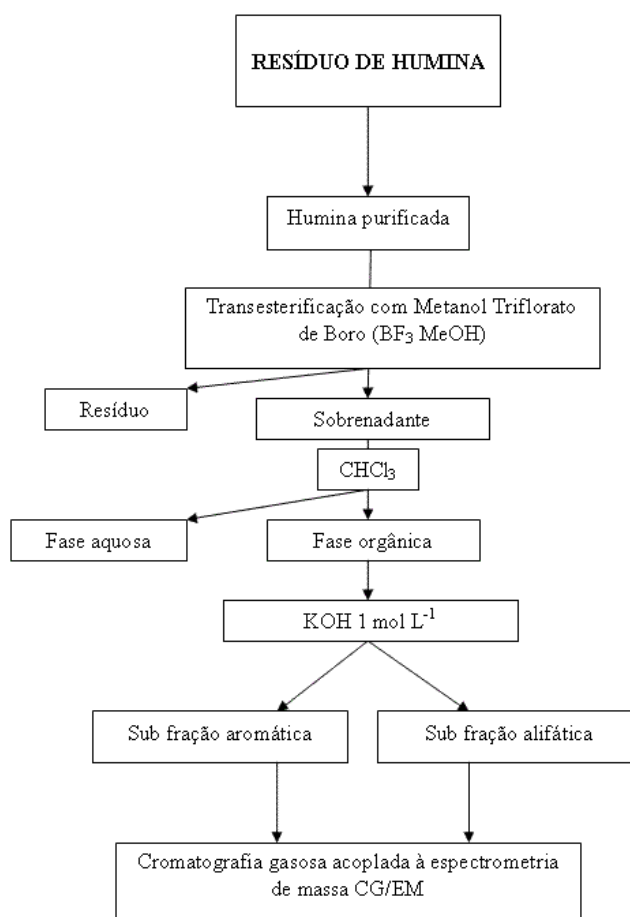


Figura 1. Esquema ilustrando o processo de purificação e extração da humina preconizado por Kolattudy et al. (1975) e Almendros & Sanz (1991).

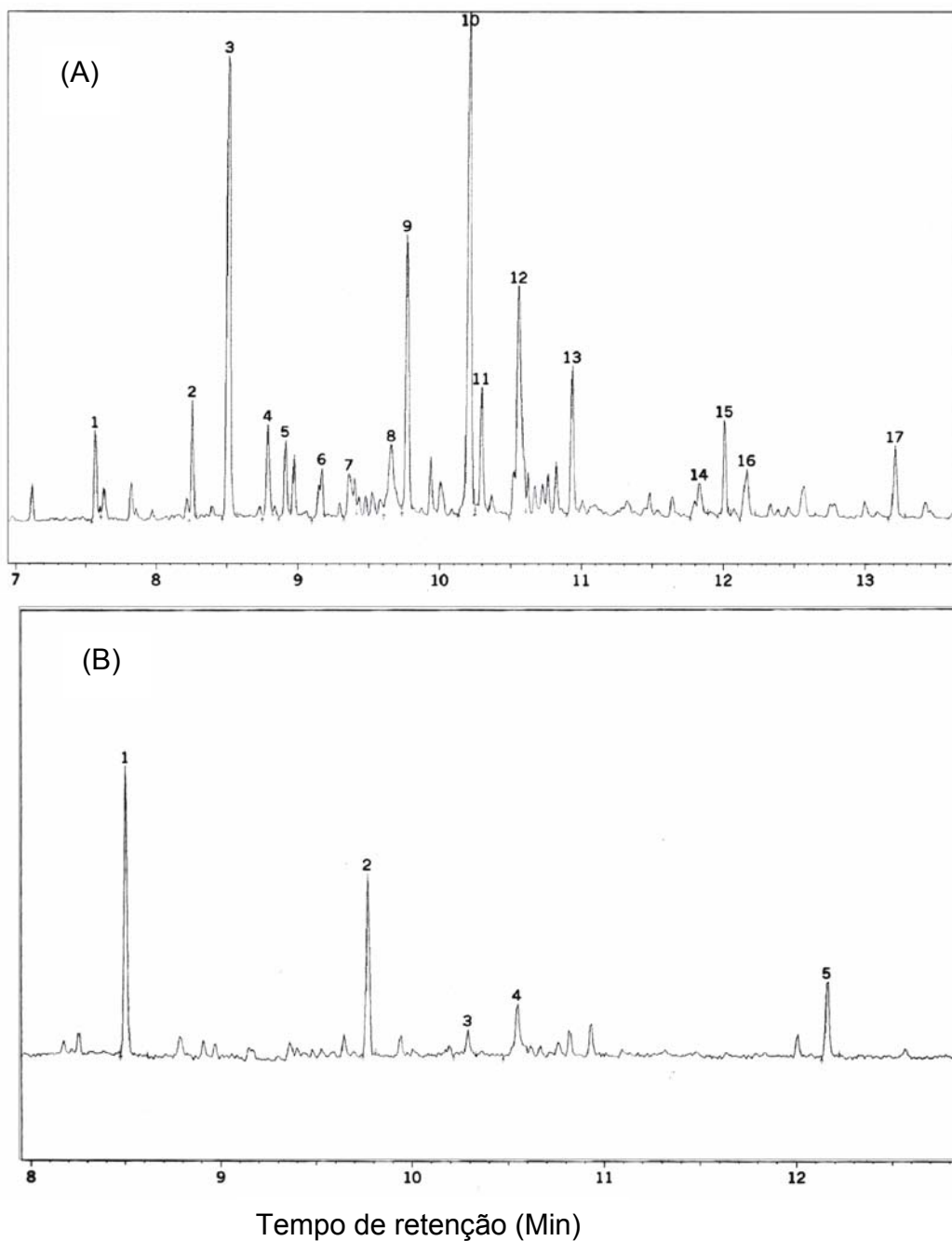


Figura 2. Cromatograma dos compostos orgânicos da sub fração alifática presentes na humina extraída de solo degradado pela extração de argila, revegetado com *Acacia mangium* Willd (A) e com vegetação espontânea [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf] (B).

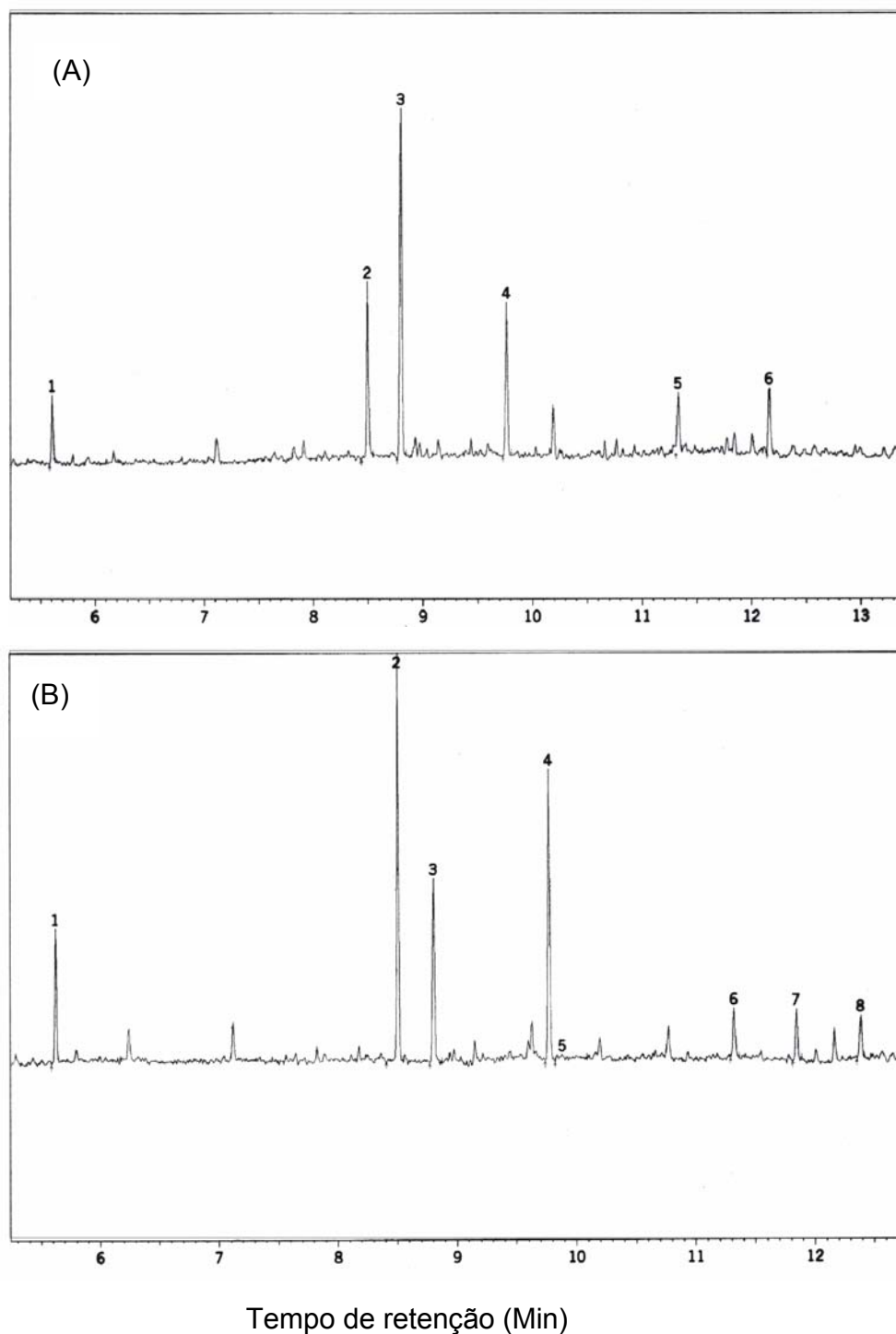


Figura 3. Cromatograma dos compostos orgânicos da sub fração aromática presentes na humina extraída de solo degradado pela extração de argila, revegetado com *Acacia mangium* Willd (A) e com vegetação espontânea [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf] (B).

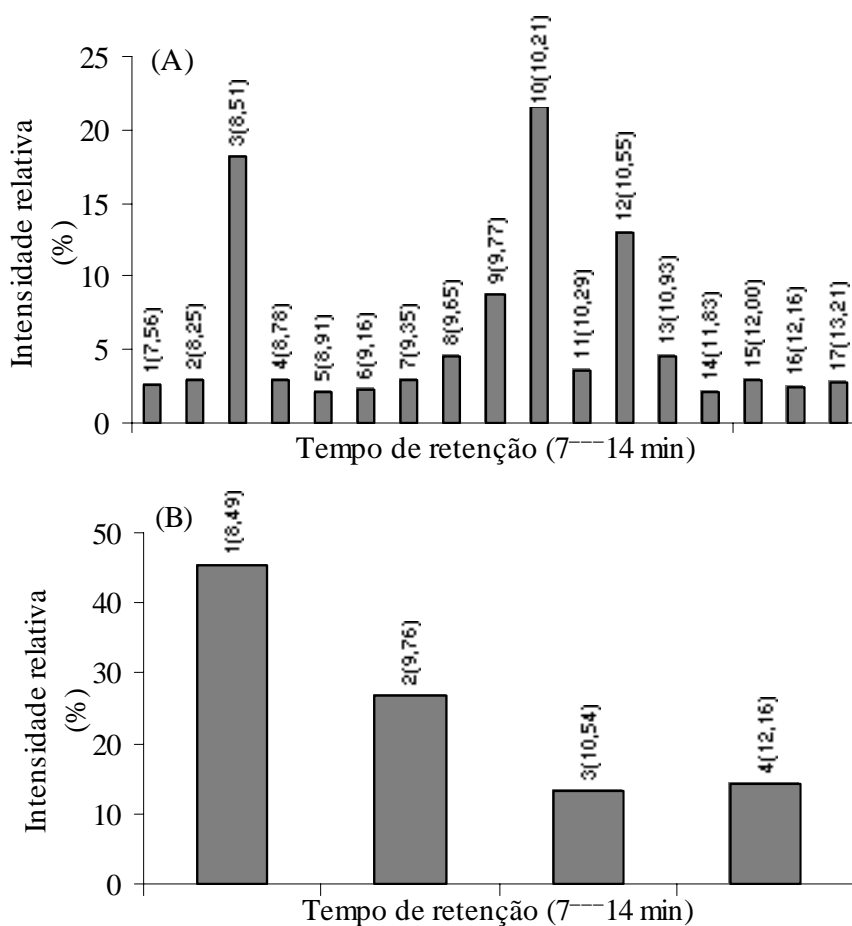


Figura 4. Porcentagem relativa dos compostos orgânicos da sub fração alifática presentes na humina extraída de solo degradado pela extração de argila, revegetado com *Acacia mangium* Willd (A) e com vegetação espontânea [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf] (B). Os números nas barras dos gráficos e entre parêntese referem-se aos picos correspondentes dos cromatogramas e ao tempo de retenção, respectivamente.

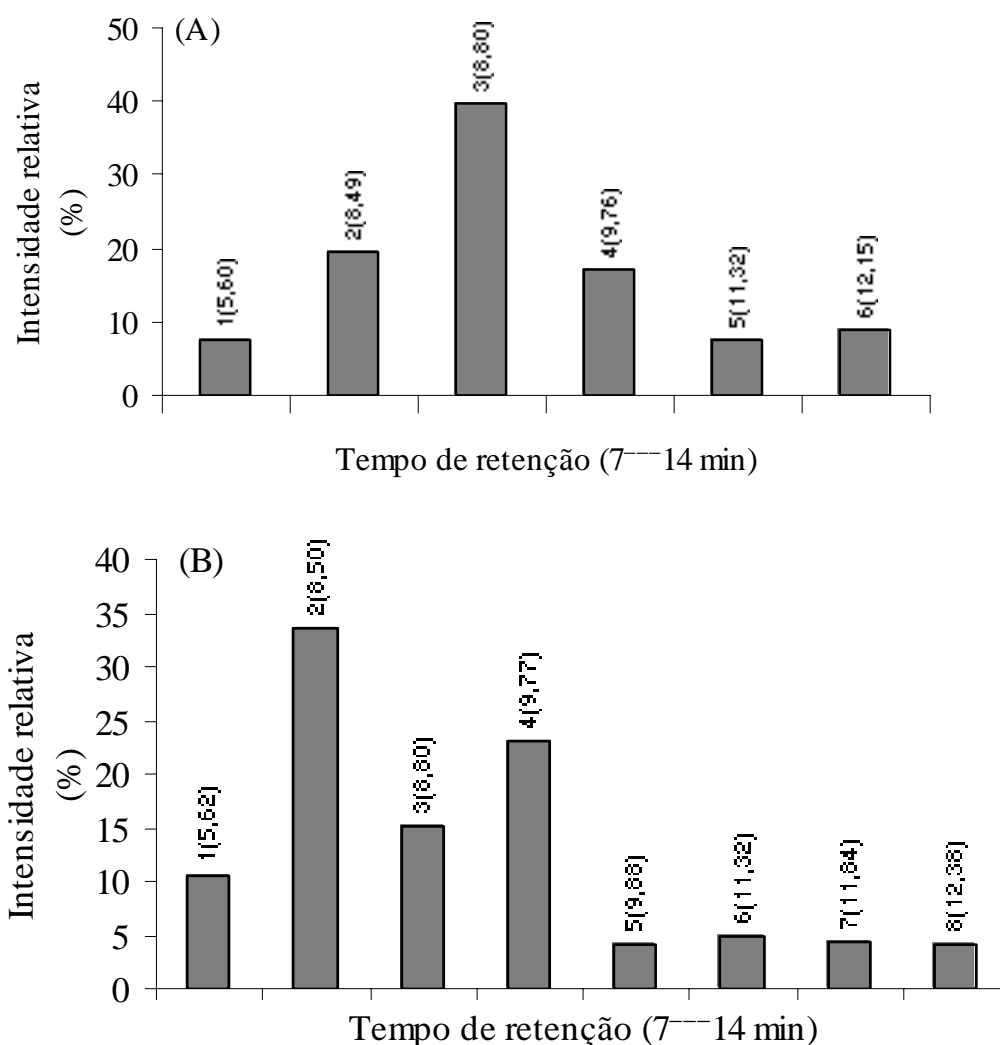


Figura 5. Porcentagem relativa dos compostos orgânicos da sub fração aromática presentes na humina extraída de solo degradado pela extração de argila, revegetado com *Acacia mangium* Willd (A) e com vegetação espontânea [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf] (B). Os números nas barras dos gráficos e entre parêntese referem-se aos picos correspondentes dos cromatogramas e ao tempo de retenção, respectivamente.

Tabela 1. Compostos orgânicos da sub fração alifática presentes na humina extraída de solo degradado pela extração de argila, revegetado com *Acacia mangium* Willd e com vegetação espontânea [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf].

<i>Acacia mangium</i> Willd			
N. pico	Tempo de retenção (Min)	Composto	Composição
1	7,56	Nonadecanoato de metila	C ₂₀ H ₄₀ O ₂
2	8,25	14-metilpentadecanoato de metila	C ₁₇ H ₃₄ O ₂
3	8,51	Hexadecanoato de metila	C ₁₇ H ₃₄ O ₂
4	8,78	12-metiltetradecanoato de metila	C ₁₆ H ₃₂ O
5	8,91	15-metilexadecanoato de metila	C ₁₈ H ₃₆ O ₂
6	9,16	15-metilexadecanoato de metila	C ₁₈ H ₃₆ O ₂
7	9,35	2-hidroxidodecanoato de metila	C ₁₃ H ₂₆ O
8	9,65	Octadecanoato de metila	C ₁₉ H ₃₆ O ₂
9	9,77	Octadecanoato de metila	C ₁₉ H ₃₈ O ₂
10	10,21	Heptadecano	C ₁₇ H ₃₆
11	10,29	11-ciclopentilundecanoato de metila	C ₁₇ H ₃₂ O ₂
12	10,55	2-Hidroxidodecanoato de metila	C ₁₃ H ₂₆ O ₃
13	10,93	Eicosanoato de metila	C ₂₁ H ₄₂ O ₂
14	11,83	Heptaflurobutanoato de pentadecila	C ₁₉ H ₃₁ F ₇ O ₂
15	12,00	Docosanoato de metila	C ₂₃ H ₄₆ O ₂
16	12,16	1,2 Benzenodioato de ditridecila	C ₃₄ H ₃₈ O ₄
17	13,21	Tetracosanoato de metila	C ₂₅ H ₅₀ O ₂
<i>Brachiaria mutica</i> (Forsk.) Stapf			
1	8,49	14-metilpentadecanoato de metila	C ₁₇ H ₃₄ O ₂
2	9,76	Nonadecanoato de metila	C ₂₀ H ₄₀ O ₂
3	10,54	7-cicloexiltridecano	C ₃₉ H ₇₈
4	12,16	Ftalato de dinocila	C ₂₄ H ₃₈ O ₄

Tabela 2. Compostos orgânicos da sub fração aromática presentes na humina extraída de solo degradado pela extração de argila, revegetado com *Acacia mangium* Willd e com vegetação espontânea [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf].

<i>Acacia mangium</i> Willd			
N. pico	Tempo de retenção (Min)	Composto	Composição
1	5,6	Benzenodioato de dimetila	C ₁₀ H ₁₀ O ₄
2	8,49	14-metilpentadecanoato de metila	C ₁₇ H ₃₄ O ₂
3	8,80	1,2-benzenodioato de 2-etilexila e butila	C ₂₀ H ₃₀ O ₄
4	9,76	Nonadecanoato de metila	C ₂₀ H ₄₀ O ₂
5	11,32	Cicloexanol	C ₆ H ₁₂ O
6	12,15	1,2-benzenodioato de diisooctila	C ₃₈ H ₇₄ O ₃
<i>Brachiaria mutica</i> (Forsk.) Stapf			
1	5,62	2,6-di-tert-butil-4-metilfenil metilcarbamato	C ₁₉ H ₂₈ O ₃
2	8,50	14-metilpentadecanoato de metila	C ₁₇ H ₃₄ O ₂
3	8,80	1,2-benzenodioato de 2-etilexila e butila	C ₂₀ H ₃₀ O ₄
4	9,77	Octadecanoato de metila	C ₁₉ H ₃₈ O ₂
5	9,88	Octadecanoato de metila	C ₁₉ H ₃₈ O ₂
6	11,32	Cicloexanol	C ₆ H ₁₂ O
7	11,84	Cicloexanol	C ₆ H ₁₂ O
8	12,38	Octadecanoato de 2-hexadecanoiloxi-1-tetradecanoiloximetiletil	C ₅₀ H ₁₀₂

4.0. Resumo e conclusões

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) no crescimento e nutrição das mudas de *Acacia mangium* Willd, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis* em casa de vegetação. O comportamento dessas espécies em monocultivo e/ou consórcio em uma área degradada no campo pela extração de argila, também foi avaliado. Na área de extração de argila o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 6x2, sendo os fatores: 6 (*A. mangium*; *S. virgata*; *E. camaldulensis*; *A. Mangium* x *S. virgata*; *A. Mangium* x *E. camaldulensis* e *S. virgata* x *E. camaldulensis*) e 2 (inoculadas e não inoculadas com FMAs) com 4 repetições. Um estudo, objetivando caracterizar a qualidade da matéria orgânica em cava de extração de argila, com vegetação espontânea de gramínea [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf] ou revegetada com *Acacia mangium* Willd, sendo coletadas amostras de solo nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, também foi realizado. Em casa de vegetação, as mudas de acácia e sesbânia inoculadas com os FMAs apresentaram maior altura, diâmetro do colo e matéria seca da parte aérea em relação às não inoculadas, enquanto as mudas de eucalipto inoculadas apresentaram maior altura e diâmetro do colo em relação as não inoculadas. Nas mudas de acácia, os FMAs proporcionaram aumentos nos conteúdos de N, P e Zn de 22, 71, e 67 %, respectivamente; e, nas de sesbânia 39, 48, 56, 24, 105 e 54, respectivamente para N, P, Ca, Mg, Mn e Zn. Por outro lado, mudas de eucalipto

inoculadas com os FMAs apresentaram menor matéria seca da parte aérea e conteúdos de nutrientes. As espécies em plantio na cava de extração de argila apresentaram elevada sobrevivência (> 80%) e rápido crescimento, com altura de 7m (acácia e eucalipto) e 3,5m (sesbânia) aos 600 dias após o plantio no campo (DAPC), não sendo verificada influência do tipo de cultivo. Na cava de extração de argila, acácia e sesbânia apresentaram comportamento semelhante quanto aos teores de nutrientes, sendo verificado o efeito do cultivo e dos FMAs apenas para Ca e Mg. Enquanto, para eucalipto, o cultivo e os FMAs influenciaram nos teores de N, P e Mg. Quanto à matéria orgânica do solo, na cobertura com *A. mangium*, observaram-se acréscimos no estoque de carbono de 33 % e 80 % nas profundidades de 0,00-0,10 m e 0,20-0,30 m, respectivamente, em relação à *B. mutica*. O menor estoque de carbono ocorreu na fração ácidos fúlvicos livres (AFL). Na cobertura com *A. mangium* foi observado um aumento no grau de humificação da matéria orgânica com aumentos que variaram de 38 % a 280 % na fração ácidos fúlvicos (AF) e de 26 % a 217 % nos ácidos húmicos (AH), dependendo da profundidade do solo. A acidez total, tanto da fração AF como a dos AH foi elevada, variando na faixa de 810 a 920 $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$. No entanto, em torno de 67 % da capacidade de troca de H^+ foi devido a grupos OH fenólicos caracterizados como grupamentos ácidos mais fracos. Os valores observados para a relação E_4/E_6 foram dentro da faixa normalmente encontrada para AF (entre 8,2 e 10,5) e AH (entre 1,3 e 3,9). Os AH, isolados da cava com cobertura da *A. mangium*, apresentaram valores mais elevados da relação E_4/E_6 , sugerindo a presença de fração humificada menos condensadas e de menor massa molecular. A humina, isolada da cobertura com *A. mangium*, apresentou abundância de compostos alifáticos com predomínio de ésteres metílicos e ácidos graxos. A utilização de leguminosas arbóreas pode ser uma boa estratégia para revegetação de áreas degradadas, melhorando as características químicas, físicas e microbiológicas do solo, via fixação biológica de N_2 atmosférico. Em consórcio, pode contribuir com o crescimento de espécies não fixadoras de N, como eucalipto.

5.0. Referências bibliográficas

- Abbott, L.K., Robson, A.D. (1981) Infectivity and effectiveness of five endomycorrhizal fungi: Competition with indigenous fungi in field soils. *Aust. J. Agric. Res.* 32: 621-630.
- Abbott, L.K.; Robson, A.D. e de Boer, G. (1984) The effect of phosphorus on the formation of hyphae in soil by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus fasciculatum*. *New Phytol.*, Oxford, 97:437-446.
- Akilan, K.; Farreli, R.G.G.; Dell, D.T.; Marshall, J.K. (1997). Responses of clonal river red gum (*Eucalyptus camaldulensis*) to waterlogging by fresh and salt water. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 37: (2) 243-348.
- Allen, E.B., Allen, M.F. (1986) Water relations of xeric grasses in the field: interactions of mycorrhizas and competition. *New Phytol.* 104:559-571.
- Allen, M.F. (ed) (1991) The ecology of mycorrhizae. Cambridge, Cambridge University Press, 184p.
- Andreux, F. Humus in world soils. In: Piccolo, A. (ED.). *Humic Substances in terrestrial ecosystems*. Amsterdam, Elsevier, 1996. p.45-100.
- Azcón, R., Rubio, R., Barea, J.M. (1991) Selective interactions between different species of mycorrhizal fungi and *Rhizobium melliloti* strains, and their effects on growth, N₂-fixation (¹⁵N) and nutrition of *Medicago sativa* L. *New Phytol.* 117: 399-404.

- Barros, N.F.; Braga, J.M.; Brandi, R.M.; Defelipo, B.V. (1981). Produção de eucalipto em solos de cerrado em resposta à aplicação de NPK e de B Zn. *Rev. Árvore* 5, 90-103.
- Barros, N.F.; Novais, R.F.; Neves, J.C.L. (1990). Fertilidade e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: Barros, N.F.; Novais, R.F. (Eds), *Relação solo-Eucalipto*. Viçosa, Folha de Viçosa, p.127-186.
- Boontawee, B., Kuwalairat, P. (1986) Introduction of *Acacia mangium* to Thailand. In: Turnbull., J.W. (ed) *Australian acacias in developing countries*. Canberra: ACIAR. P.149-50.
- Brown, M.S., Bethlenfalvay, G.J. (1988) The glycine-glomus-rhizobium symbiosis. VII. Photosynthetic nutrient-use efficiency in nodulated, mycorrhizal soybeans. *Plant Physiology*, 86:1292-1297.
- Budowski, G. (1970) The distribution between old secondary and climax species in tropical Central American lowland forests. *Tropical Ecology*, 11: 44-48.
- Carpanezi, A.A.; Costa, L.G.S.; Kageyaama, P.Y. e Castro, C.F.A. (1990) Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: observação de laboratórios naturais. In: *Congreso Florestal Brasileiro, 6., Campos do Jordão. Anais. Campos do Jordão, SP, Sociedade Brasileira de Silvicultura*, p.216-221.
- Colfari, L.; Caser, R.L.; Moura, V.P.G. (1978). Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil,. 2ª aproximação. Belo Horizonte – MG. Centro de Pesquisa Florestal da Região Cerrado. 66p. (PRODEPEF – série técnica, 11).
- Colonna, J. P.; Thoen, D.; Ducouso, M. e Braddji, S. (1991) Comparative effects of *Glomus etunicatum* and P fertilizer on foliar mineral composition of *Acacia senegal* seedlings inoculate with *Rhizobium*. *Mycorrhiza*, Berlim, 1:35-38.
- Costa Júnior, P.F., Cruz, A.F., Martins, M.A. (1995) Resposta do maracujá doce (*P. alata*) à inoculação micorrízica arbuscular e doses de fósforo. *Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 25, Viçosa. Viçosa: SBCS. V.1, p. 424-425.
- Costa Júnior, P.F. (1997) Comportamento de leguminosas arbóreas inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio em estéril de extração de argila. Tese (Mestrado em Produção Vegetal)- Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – 72p.

- Cooper, K. M. (1984) Physiology of VA mycorrhizal association. In: Powell, C. L., Bagyaraji, D.J. (eds) VA mycorrhiza. Boca Raton, Florida, USA, CRC Press, p. 155-186.
- Correia, M.E.F.; Andrade, A.G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: Santos, G.A. & Camargo, F.A.O., eds. Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 1999. p.197-226.
- Cruz, A.F. (1996) Influência de fungos micorrízicos arbusculares na transferência de N das plantas de feijão e caupi para o milho cultivadas sob sistemas de consórcio. Tese (Mestrado em Produção Vegetal)- Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 59p.
- Cruz, A.F., Martins, M.A. (1997) Transferência de nitrogênio entre plantas interconectadas por fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). R. Bras. Ci. Solo, 21:559-565.
- Daniel, O., Vitorino, A.C.T., Alovise, A.A.A., Mazzochin, L., Tokura, A.M., Pinheiro, E.R., Souza, E.F. (1997) Aplicação de fósforo em mudas de *Acacia mangium* Willd. Ver. Árv., Viçosa – MG, v.21, n.2, p.163-168.
- Dehne, H.W. (1982) Interactions between VA mycorrhizas and plant pathogens. Phytopathology, 72: 1115-1119.
- Dias, L.E., Alvarez V., V.H., Brienza Jr., S. (1990) Formação de mudas de *Acacia mangium* I. Resposta a calcário e fósforo. In: Congresso Florestal Brasileiro, 6. 1990. Campos do Jordão, Anais... Campos de Jordão: Sociedade Brasileira de Silvicultura e Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais.
- Dias, L.E., Alvarez V., V.H. Brienzar Jr., S. (1991) Formação de mudas de *Acacia mangium* II. Resposta a nitrogênio e potássio. Rev.Árv., v.15 p.11-22.
- Dias, L.E., Franco, A.A., Campello, E.F.C. (1994) Dinâmica de matéria orgânica e de nutrientes em solo degradado pela extração de bauxita e cultivado com *Eucalyptus pellita* e *Acacia mangium*. In: Simpósio Sul-Americano I e Simpósio Nacional II Sobre Recuperação de Áreas Degradadas. Foz do Iguaçu. Anais... Curitiba: UFPR-FUPEF. p. 515-25.

- Dias, L.E. Griffith, J.J. (1998) Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: Dias, L. E.; Mello, J.W.V. Editores. Recuperação de áreas degradadas. UFV, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, Viçosa, 1998. P.1-9.
- Fanning, D.S. e Fanning, M.C.B. (1989) Soil: morphology, genesis and classification. New York, ed. John Wiley e Sons., 495p.
- Faria, S.M., Carvalho, C.W.L., Ramos, A.L.M., Freire, M. de F.I., Guimarães, A de. (1991) Obtenção e seleção de *Rhizobium spp*, para leguminosas arbóreas. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 23. Porto Alegre. Resumos... Porto Alegre: SBCS. p.196.
- Faria, S.M. (1998) Nodulação e FBN em espécies florestais. Resumos da XXIII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Resumos da VII Reunião Brasileira Sobre Micorrizas. Resumos do V Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo. Resumos da II Reunião Brasileira de Biologia do Solo. Lavras: UFLA/SBCS/SBM. p. 31-31.
- Ferreira, C. A., Silva, F. P., Silva, M. D. D., Yared, J. A.G., Capitani, L.R. (1990) *Acacia mangium* – Uma nova opção para reflorestamento? In: Congresso Florestal Brasileiro, 6. Campos do Jordão. Anais... Campos do Jordão: SBS. P.564-568.
- Francis, R., Read, D. J. (1994) The contributions of mycorrhizal fungi to the determination of plant community structure. Plant and Soil. 159. 11-25.
- Franco, A.A. (1984) Fertilização de nitrogênio em árvores e fertilidade do solo. Pesq. Agropec. Bras. 19(s/n): 253-261.
- Franco, A.A.; Dobereiner, J. (1988) Fixação biológica de nitrogênio. Curso de Agricultura tropical. Os solos tropicais. Módulo 2. Brasília, ABEAS.
- Franco, A.A. (1991) Revegetação de solos degradados. In: Workshop sobre recuperação de áreas degradadas, Anais, I, UFRRJ – Itaguaí – RJ. p. 133-157.
- Franco, A.A., Dias, L.E.; Faria, S. M.; Campello, E.F.C. e Silva, E.M.R. (1992) Uso de leguminosas florestais noduladas e micorrizadas como agentes de recuperação e manutenção da vida do solo: Um modelo tecnológico. In: Simpósio sobre Estrutura, Funcionamento e Manejo de Ecossistemas, UFRRJ, Resumo. Itaguaí, CNPAB/EMBRAPA. 13p.
- Franco, A.A., Campello, E.F.C., Dias, L.E.; Faria, S. M. (1994) Revegetação de áreas mineradas de bauxita em Porto Trombetas – PA com leguminosas arbóreas

- noduladas e micorrizadas. In: Simpósio Sul –Americano. 1 e Simpósio Nacional, 2 Sobre Recuperação de Áreas Degradadas. Foz do Iguaçu. Anais.. Curitiba: UFPR-FUPEF. p.145-153.
- Franco, A.A., Dias, L.E.; Faria, S. M. de; Campello, E.F.C. e Silva, E.M.R. da. (1995a) Uso de leguminosas florestais noduladas e micorrizadas como agentes de recuperação e manutenção da vida do solo: um modelo tecnológico. In: Estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas Brasileiros. ESTEVES, F.A. ed., p.459-467.
- Franco, A.A., Faria, S.M. (1997) The contribution of N₂-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. *Soil Biol. Biochem.* 29(516). 897-903.
- Freire, J.R.J. (1992). Fixação do nitrogênio pela simbiose rizóbio/leguminosa. In: Cardoso, E.F.B., Tsai, S.M., Neves, M. *Microbiologia do solo*, Campinas, p 121-140.
- 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*. *R. Bras. Ci. Solo.* 27:705-712, 2003.
- Gianninazzi, S., Dexheimer, J., Gianninazzi-Pearson, V., Marx, C. (1983) Role of the host-arbuscule interface in the VA mycorrhizal symbiosis: Ultracytological studies of processes involved in phosphate and carbohydrate exchange. *Plant and soil*, 71:211-215.
- Gianinazi-Pearson, V., Gianinazzi, S. (1983) The physiology of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots. *Plant and Soil.* 71.197-209.
- Giller, K.E. e Wilson, K.L. (1991) Nitrogen fixation in tropical cropping systems.
- Giovannetti, M.; Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytology*, v.84, p.489-500.
- Graham, J.H.; Leonard, R.T.; Menge, J.A. (1981) Membrane-mediated decrease in root exudation responsible for phosphorous inhibition of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. *Journal of Plant Physiology*, 68:548-552.
- Grove, T.S.; Thomson, B.D.; alajzuk, N. (1996). Nutritional physiology of eucalypts: uptake, distribution and utilization. In: Attiwill, P.M.; Adams, M.A. (eds.) *Nutrition of Eucalypts*. Australia, pag, 77-108. Ilustrado.

- Habte, M. (1982) Usefulness of the pinnule technique in mycorrhizal research. In: Norris, J.R., Read, D.J. e Varma, A.K., (ed). Techniques for the study of mycorrhiza. London, Academic Press. Methods in Microbiology, London, 25:323-338.
- Hamel, C. (1996) Prospects and problems pertaining of the management of arbuscular mycorrhizae in agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment. 60: 197-210.
- Hamel, C., Furlan, V., Smith, D.L. (1991) N₂-fixation and transfer in a field grown mycorrhizal corn and soybean intercrop. Plant and Soil. 133: 177-185.
- Harley, J.L., Harley, E.L. (1987) A check-list of mycorrhiza in the British flora. New Phytologist, 105: 1-112.
- Harley, J.L., Smith, S.E. (eds) (1983) Mycorrhizal Symbiosis. London, Academic Press, 483p.
- Heal, O.W.; Anderson, J.M.; Swift, M.J. Plant litter quality and decomposition: An historical overview. In: CADISH, G. & GILLER, K.E., eds. Driven by Nature: Plant litter quality and decomposition. Walingford, CAB International, 1997. p.3-30.
- Hetrick, B.A.D., Wilson, G.W.T., Leslie, J.F. (1991) Root architecture of warm-and cool-season grasses: relationship to mycorrhizal dependence. Can. J. Bot. 69: 112-118.
- Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM Comissão Técnica do Meio Ambiente. (1987) Mineração e meio ambiente: Impactos previsíveis e formas de controle. 2. Ed. Belo Horizonte. 73p.
- Invam – International Culture Collection of Arbuscular & Vesicular – Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Classification on glomales. Morgantown, [2000-]. Disponível em : http://invam.caf.wvwy.edu/Myc_Info/Taxonomy/classification.htm. Acesso em: 3 setembro 2002.
- Jackson, M.L. (1965). Soil Chemical Analysis. New Jersey: Prentice Hall, 489p.
- Janos, D.P. (1980) Mycorrhizae influence tropical succession. Biotropica. 12: 56-64.
- Jasper, D.A. (1994) Management of mycorrhizas in revegetation. In: Robson, A.D.; Abbott, L.K.; Malajczuk, N., (eds), Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry, Amsterdam: Kluwer Academic Publishing. p. 211-219.

- Jesus, R.M. (1994) Revegetação: da teoria a prática. Técnicas de implantação. In: Simpósio Sul-Americano, 1 e Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas, 2., Foz do Iguaçu. Anais. Curitiba, FUPEF. 679p.
- Kay Hardie, Leyton, L. (1981) The influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on growth and water relations of red clover. *New Phytol.* 89:599-608.
- Keong, T.C. (1983) *Acacia mangium* Willd – Uma espécie para plantação em campos de *Imperata cylindrica* (L.) Beauv. Em Sabah. *Silvicultura*, v. 30 n. 2, p.321-6.
- Koide, R.T. (1985) The nature of growth depressions in sunflower caused by VA mycorrhizal infection. *New Phytologist*, 99:449-462.
- Kononova, M.M. *Soil organic matter*. Oxford: Pergamon Press, 1966. 272p.
- Le Tacon, F., Garbaye, J., Carr, G. (1987) The use of mycorrhizas in the temperate and tropical forest. *Symbiosis*, 3: 1079-2006.
- Levy, Y., Krikun, J. (1980) Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizas in the temperate and tropical forest. *Symbiosis*, 3: 1979-2006.
- Maccallister, D.L.; Chien, W.L. Organic carbon quantity and forms as influenced by tillage and cropping sequence. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.31, p.465-479, 2000.
- Malajczuk, N.; Jones, N. e Neely, C. (1993) The importance of mycorrhiza to forest trees. *Land Res. Series, The World Bank/Asia Technical Department*, 2. 17p.
- Malavolta, E., Vitti, G.C.,Oliveira, S.A. (1989). *Avaliação do estado nutricional das plantas*. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato, 201p.
- Marschner, H. (ed) (1995) *Mineral Nutrition of Higher plants*. London, Academic Press Limited, 889p.
- Marschner, H., Dell, B. (1994) Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 159:89-102.
- Martins, M.A. (1992a) The role of external mycelial network of VA mycorrhizal fungi. A study of carbon transfer between plants interconnected by a common mycelium. *Mycorrhiza*, 2:69-73.
- Martins, M.A. (1992b) Interactions between plants with especial reference to the role of external mycelium of VA mycorrhizal fungi. The University of Sheffield, England. 171p. (Tese de PhD).

- Martins, M.A. (1993) The role of the external mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi in the carbon transfer process between plants. *Mycol. Res.* 97 (7): 807-810.
- Martins, M.A., Read, D.J. (1996) The role of the external mycelial network of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi. II. Study of phosphorus transfer between plants interconnected by a common mycelium. *Revista de Microbiologia*, 27: 100-105.
- Martins, M.A., Cruz, A.F. (1998) The role of the external mycelial network of mycorrhizal fungi. III. A study of nitrogen transfer between plants interconnected by a common mycelium. *Revista de Microbiologia*, 29: 228-233.
- Mora, A.L.; Garcia, C.H. (2000). A cultura do eucalipto no Brasil. Sociedade Brasileira de Silvicultura, São Paulo – SP, 112p.
- Mosse, B. (1975). Specificity in VA mycorrhizas. In: Sanders, F.E.; Mosse, B. & Tinker, P.B. (eds). *Endomycorrhizas*. London. Academic Press. p. 469-484.
- Motta, M.N.J. (1996) Apontamentos jurídico-ambientais sobre a recuperação de áreas degradadas por mineração. In: Balensiefer, M. (org.), *Recuperação de Áreas Degradadas*, curso de atualização, 3, Curitiba. Curitiba: FUPEF. p. 107-111.
- National Research Council. (1983) *Mangium and other fast-growing acacias for the humid tropics*. Washington: National Academy of Sciences – National Research Council. 62p.
- Nahas, E; Centurion, J.F; Assis, L.C.(1994a). Microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases de vários solos. *R.Bras. Ci. Solo. Campinas*. 18:43-48.
- Newman, E. I. (1988). Mycorrhizal links between plants: Their functioning and ecological significance. *Advances in Ecological Research*. 18:243-270.
- Nitrogen Fixing Tree Association. (1987) *Acacia mangium* a fast growing tree for the humid tropics. Hawaii: Waimonolo,. 2p. (NFTA, 87-04).
- Oliveira, A.C. de.; Bertolucci, F. de L.G.; Andrade, H.B. (1990). Avaliação do *Eucalyptus camaldulensis* nas condições edafoclimáticas do nordeste de Minas Gerais. *Anais... 6º Congresso Florestal Brasileiro, Campos do Jordão – SP. V.3.* p.474-486.
- Orlov, D.S. Organic substances of Russian soils. *Eurasian Soil Science*, 31:946-953, 1998.

- Osonubi, O., Mulongoy, K., Awotoye, O.O., Atayese, M.O., Okali, D.U.U. (1991) Effects of ectomycorrhizal and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on drought tolerance of four leguminous woody seedlings. *Plant and Soil*. 136: 131-143.
- Palm, C.A.; Sanchez, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.* 23:83-88, 1991.
- Parrota, J.A. (1992) The role of plantation forest in rehabilitating degraded tropical ecosystems. *Agric. Ecosys. Environ.*, Amsterdam, 41: 115-133.
- Pouyú-Rojas, E.; Siqueira, J.O. (2000). Micorriza arbuscular e fertilização do solo no desenvolvimento pós-transplante de mudas de sete espécies florestais. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.35, n.1, p.103-114.
- Pralon, A.Z. (1999) Produção de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia*, inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio, em estéril de extração de argila misturado com resíduo ferkal. Campos dos Goytacazes: UENF, 70p. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense.
- Pralon, A.Z.; Martins, M.A.; Rodrigues, L.A.; Schiavo, J.A.; Freitas, M.S.M. (2000) Produção de mudas de *Acacia auriculiformis*, em estéril de extração de argila, inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio. Resumos da XXIV Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Resumos da VIII Reunião Brasileira Sobre Micorrizas. Resumos do VI Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo. Resumos da III Reunião Brasileira de Biologia do Solo. Santa Maria, RS: UFSM/SBCS/SBM. p. 6-6.
- Rawat, J.S.; Banerjee, S.P. (1998). The influence of salinity on growth, biomass production and photosynthesis of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. And *Dalbergia sissoo* Roxb. Seedlings. *Plant and soil*, 205: (2) 163-169.
- Reddel, P.; Prin, Y. e Theodorou, C. (1992) Growth responses in *Acacia mangium* to inoculation with ectomycorrhizal fungi. In: The International Symposium of Management of Mycorrhizal in Agriculture, Horticulture and Forestry, Perth. Anais. Nedlands, Western Australia University. P.166.
- Reis, G.G. (1989). Crescimento de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis*, e *Eucalyptus cloeziana* sob diferentes níveis de restrição radicular. *Revista árvore*, Viçosa, v-13, n-1, p.1-18.

- Rodrigues, L.A. (2001) Crescimento e absorção de nutrientes por plantas de *Eucalyptus grandis* e leguminosas em resposta à inoculação com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio. Campos dos Goytacazes: UENF, 101p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense.
- Ruiz-Lozano, J. M., Azcón, R. (1995) Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. *Physiologia Plantarum*. 95. 47-478.
- Samôr, O.J.M. (1999). Estudo do comportamento de mudas de espécies arbóreas, produzidas em diferentes recipientes e substratos, destinadas à recuperação de áreas degradadas pela extração de argila. Universidade estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes – RJ, 82 p. (Tese de Mestrado em Produção Vegetal).
- Sandhu, J.; Sinha, M.; Ambasht, R.S. (1990) Nitrogen release from decomposition litter of *Leucaena leucocephala* in the dry tropics. *Soil Biol. Biochem.*, 22(6):859-863.
- Saninga, N.; Mulongoy, K.; Ayanaba, A. (1984) Inoculation of *Leucaena leucocephala* (Lam de Wit) with *Rhizobium* and its contribution to a subsequent maize crop. In: Int. Conf. Biol. Agri. The role of Microorganisms in Sustained Agriculture. Wye College, Ashford, KEN, UK. p.3-7.
- Santos, G.A.; Camargo, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecosistemas tropicais e subtropicais. Brasil, Porto Alegre, 1999. 508p.
- Schwab, S.M.; Menge, J.A.; Leonard, R.T. (1983) Quantitative and qualitative effects of phosphorous on extracts and exudates of sudangrass roots in relation to Vesicular-Arbuscular mycorrhiza formation. *Journal of Plant Physiology*, 3:761-765.
- Scolforo, J.R.S.; Mello, J.M. (1997). Inventário florestal. Lavras: UFLA/FAEPE. 341p.
- Sieverding, E. (1991). Vesicular-arbuscular mycorrhizal management in tropical agrosystems. Deutsche Gesellschaft Fur Technische Zusammenarbeit, Federal Republic of Germany, 371 p.
- Silva, F.P., Borges, R.C.G., Pires, I.E. (1996) Avaliação de procedências de *Acacia mangium* Willd, aos 63 meses de idade, no vale do Rio Doce - MG. *Rev. Árv.*, Viçosa, MG, v.20, n.3, p.299-308.
- Smith, S.S.E. (1980) Mycorrhizas of autotrophic higher plants. *Biol. Rev.* 55: 475-510.

- 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, p.255-290.
- Szott, L.T.; Fernandes, E.C.M.; Sanches, P.A. (1991) Soil plant interactions in agroforestry systems. *For. Ecol., Manage.* 45: 127-152.
- Tavares, S.R.L.; Franco, A.A.; Silva, E.M.R. (2000) Parâmetros de crescimento vegetal de *Acacia mangium* e *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth em solo de restinga degradado, submetidos a inoculação com rizóbios e fungos micorrízicos arbusculares em diferentes níveis de fósforo. Resumos da XXIV Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Resumos da VIII Reunião Brasileira Sobre Micorrizas. Resumos do VI Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo. Resumos da III Reunião Brasileira de Biologia do Solo. Santa Maria, RS: UFSM/SBCS/SBM. p. 131-131.
- Thapar, H.S., Vijyan, A.K., Unial, K. (1992) Vesicular-arbuscular mycorrhizal associations and root colonization in some important tree species. *Indian Forester*, 92: 207-212.
- Tomé Jr, J.B. (1997). Manual para interpretação de análise de solo. Livraria e editora Agropecuária. 246p.
- Trappe, J.M. (1987). Phylogenetic and Ecologic aspects of in the Angiosperms from na evolutionary standpoint. In: Safir, G.R. (ed). Ecophysiology of VA Mycorrhizal plants. Boca Raton. p. 5-25
- Turnbull, J. W.; Martnez, P. N.; Hall, N. (1986) Notes on lesser-known Australian trees and shrubs with potential for fuelwood and agroforestry. In: Multipurpose Australian trees and shrubs: lesser-known species for fuelwood and agroforestry. Cambera: ACIAR. p.81-313.
- Watkinson, A.R., Freckleton, R. P. (1997) Quantifying the impact of arbuscular mycorrhizae on plant competition. *Journal of Ecology.* 85: 541-545.
- Wilcox, E.H. Mycorrhizae. (1991) In: Weisel et al., (eds.) Plant roots. Marcel Dekker, Inc. New York. p. 731-766.
- Xie, Z., Staehelin, C., Vierhelig, H., Wiemken, A., Jabbouri, S., Broughton, W.J., Vogeli-Lange, R., Boller, T. (1995) Rhizobial nodulation factor stimulate

- mycorrhizal colonization of nodulating and nonnodulating soybeans,. *Plant Physiology*, 108: 1519-1525.
- Zambolim, L.; Barros, N.F.; Costa, L.M. (1982). Influência de micorriza do tipo vesicular-arbuscular no crescimento e absorção de nutrientes por mudas de *Eucalyptus* spp. *Rev. Árvore*. 6. p. 64-73.
- Zambolim, L. (1990). Fungos micorrízicos de eucalipto. In: Barros, N.F.; Novais, R.F. *Relação solo-eucalipto*. Viçosa. MG. p. 303-322.
- Zech, W.; Senesi, N.; Guggenberger, G.; Kaiser, K.; Lehmann, J.; Mian, T.M.; Miltner, A.; Schroth, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, v.79, p.17-161, 1997.