

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

Influência do Manejo Agrícola e do Clima Sobre
Alguns Atributos Biológicos do Solo

Ney Freitas Marinho

2003



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**INFLUÊNCIA DO MANEJO AGRÍCOLA E DO CLIMA SOBRE
ALGUNS ATRIBUTOS BIÓLOGICOS DO SOLO**

NEY FREITAS MARINHO

Sob a orientação do Pesquisador
Helvécio De-Polli

e Co-orientação do Professor
Ricardo Luís Louro Berbara

Dissertação submetida como
requisito parcial para obtenção do
grau de **Mestre em Ciências** em
Agronomia, Área de Concentração
em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Maio de 2003

631.46

M338i

T

Marinho, Ney Freitas, 1976-

Influência do manejo agrícola e do
clima sobre alguns atributos biológicos do
solo / Ney Freitas Marinho. - 2003.

76f. : il., tab.

Orientador: Helvécio De-Polli.

Dissertação(mestrado)- Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto
de Agronomia.

Inclui bibliografia.

1. Biologia do solo - Teses. 2. Solos -
Nutrientes - Teses. 3. Fungos micorrízicos
- Teses. 4. Solos - Manejo - Teses. 5.
Biomassa microbiana do solo - Teses. I.
De-Polli, Helvécio, 1947-. II.
Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Instituto de Agronomia. III.
Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

NEY FREITAS MARINHO

Dissertação submetida ao curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, em Agronomia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 06/05/2003

Ricardo Luís Louro Berbara. Ph.D. UFRRJ

Rosilaine Carrenho. Dr. UEM

Bruno José Rodrigues Alves. Dr. Embrapa Agrobiologia

"Dedico este trabalho a minha família e em especial, a Jesuslene e nosso amado filho Arthur".

AGRADECIMENTOS

A todos os companheiros de jornada da UFRRJ e Embrapa Agrobiologia, pelo apoio nas horas certas e pela convivência harmoniosa do dia a dia.

A UFRRJ pelo ensino e pela oportunidade de conhecer outras culturas e costumes do Brasil.

A Embrapa Agrobiologia pelo suporte técnico e financeiro na elaboração e execução do projeto de dissertação.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo para o desenvolvimento da dissertação.

A FAPERJ pelo apoio financeiro ao desenvolvimento da dissertação.

Aos professores da UFRRJ, em especial, aos do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo, pelos valiosos ensinamentos.

Ao professor Ricardo Luís Louro Berbara da UFRRJ e ao Dr. Helvécio De-Polli, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, pelo incentivo e orientação desde a graduação, pela confiança e por demonstrarem sempre o interesse pelo meu trabalho.

Ao pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Dr. José Guilherme Marinho Guerra por gentilmente disponibilizar um de seus experimentos para a realização da dissertação.

A todos os funcionários da Embrapa Agrobiologia pelo bom relacionamento e pela execução dos trabalhos de campo e laboratório.

A Dr. Rosilaine Carrenho, professora da Universidade Estadual de Maringá, pelas contribuições na identificação dos FMA e construção desta dissertação.

Ao Dr. Bruno José Rodrigues Alves, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, por também contribuir de forma valiosa para o enriquecimento deste trabalho.

BIOGRAFIA

Ney Freitas Marinho, natural de São Félix do Araguaia, Estado de Mato Grosso ingressou em 1992 na Escola Agrotécnica Federal de Cuiabá, onde obteve o título de Técnico em Agropecuária em 1994. No ano de 1995, exerceu atividade de docência na Escola Estadual Osvaldo Roberto Sobrinho, em Porto Alegre do Norte-MT. Entrou para a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em 1996 e graduou-se em Licenciatura em Ciências Agrícolas em dezembro de 2000. Foi bolsista do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação Científica/Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PIBIC/CNPq) de setembro de 1998 a julho de 2000, desenvolvendo projeto de pesquisa no Departamento de Solos da UFRRJ, na área de Biologia e Ecologia do Solo. Em março de 2001 iniciou o Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo pela UFRRJ, desenvolvendo a dissertação junto ao Grupo de Pesquisa em Agricultura Orgânica, apoiado pelo Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela Embrapa Agrobiologia. Em 06 de maio de 2003, a dissertação foi defendida e aprovada.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	14
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL.....	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
CAPÍTULO I.....	21
EFEITO DO CULTIVO ORGÂNICO DE HORTALIÇAS E FRUTEIRAS E DO CLIMA NA DIVERSIDADE E NA SIMBIOSE MICORRÍZICA	21
RESUMO	22
ABSTRACT	23
1. INTRODUÇÃO	24
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1. Ocorrência e Contribuições dos Fungos Micorrízicos Arbusculares.....	25
2.2. Micorrizas Arbusculares e a Matéria Orgânica do Solo	25
2.3. Micorrizas Arbusculares e a Produção de Hortaliças e Fruteiras.....	26
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1. Localização e Caracterização da Área de Pesquisa.....	27
3.2. Informações Climáticas	27
3.3. Seleção das Áreas de Pesquisa e Amostragens	28
3.4. Número de Esporos e Colonização Micorrízica.....	29
3.5. Porção Ativa da População de FMA.....	30
3.6. Análise dos Dados	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Propriedades dos Solos.....	32
4.2. Colonização Micorrízica	32
4.3. Abundância de Esporos e Espécies de FMA.....	35
4.4. Porção Ativa da População de FMA.....	38
4.5. Agrupamento das Áreas de Cultivo em Função da Distribuição dos FMA	41
5. CONCLUSÕES	42
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
CAPÍTULO II.....	48
EFEITO DO MANEJO DA MASSA VERDE DE LEGUMINOSAS HERBÁCEAS PERENES E DO CLIMA SOBRE A MICROBIOMASSA E EVOLUÇÃO DE CO₂ EM SOLO COBERTO	48
RESUMO	49
ABSTRACT	50
1. INTRODUÇÃO	51
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	53
2.1. Biomassa Microbiana do Solo	53
2.2. Evolução de CO ₂	53
2.3. Eficiência Microbiana	54
2.4. Relação Carbono Microbiano/Carbono Orgânico.....	54
3. MATERIAL E MÉTODOS	56

3.1. Área de Pesquisa	56
3.2. Organização do Experimento	56
3.3. Biomassa Microbiana do Solo	57
3.4. Evolução de CO ₂	58
3.5. Eficiência Microbiana	59
3.6. Carbono Orgânico do Solo	59
3.7. Análise dos Dados	59
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1. Propriedades do Solo	60
4.2. Biomassa Microbiana do Solo	62
4.3. Relação C _{mic} /CO	63
4.4. Evolução de CO ₂ e Eficiência Microbiana	64
5. CONCLUSÕES	66
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
7. CONCLUSÕES FINAIS	71
8. ANEXOS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Valores médios de temperatura e precipitação pluviométrica, registrados nas áreas experimentais entre 1999 e 2002. Fonte: Estação meteorológica da PESAGRO-Rio, Seropédica, RJ. 28
- Figura 2.** Vista parcial do experimento montado para determinação da porção ativa de FMA, avaliada através da intensidade de infecção das plantas de sorgo, utilizadas como isca. 30
- Figura 3.** Porcentagem de colonização micorrízica de plantas hortaliças e fruteiras, avaliada em duas estações do ano. BD1 e BD2: batata-doce; BN1 e BN2: banana; MC1 e MC2: maracujá; CS: consórcio; CE: cenoura; CA: capoeira; PS: pasto. Médias seguidas de mesmas letras nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5%. Letras maiúsculas são utilizadas para comparar as médias dos dois períodos do ano em cada sistema de cultivo. Letras minúsculas são utilizadas para comparar as médias dos diferentes sistemas de cultivo. Foram utilizadas médias de 3 repetições. 34
- Figura 4.** Número de esporos de solo rizosférico cultivado com plantas hortaliças e fruteiras, avaliada em duas estações do ano. BD1 e BD2: batata-doce; BN1 e BN2: banana; MC1 e MC2: maracujá; CS: consórcio; CE: cenoura; CA: capoeira; PS: pasto. Médias seguidas de mesma letra nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de Student-Newman-Keuls a 0,05%. Letras maiúsculas são utilizadas para comparar as médias dos dois períodos do ano em cada sistema de cultivo. Letras minúsculas são utilizadas para comparar as médias dos diferentes sistemas de cultivo. Foram utilizadas médias de 3 repetições. 36
- Figura 5.** Espécies micorrízicas nativas de maior ocorrência na rizosfera de hortaliças e fruteiras sob cultivo orgânico no SIPA. 37
- Figura 6.** Dendrograma das áreas de cultivo construído em função da distribuição das espécies de FMA utilizando-se o coeficiente de similaridade de coincidência simples. PS: Pasto; CA: capoeira; CE: cenoura; CS: consórcio cenoura/alface; MC1 e MC2: maracujá; BN1 e BN2: Banana; BD1 e BD2: batata-doce. 41
- Figura 7.** Vista parcial das parcelas cobertas com leguminosas herbáceas perenes em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, Distrófico. 56
- Figura 8.** Carbono microbiano (Cmic), em função da manutenção e retirada da massa verde das leguminosas após a roçada. AF: amendoim forrageiro; ST: siratro; KT: kudzu tropical; CL: controle. Valores médios seguidos de mesma letra nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. 62
- Figura 9.** Relações entre o carbono microbiano e o carbono orgânico (Cmic/CO), em função da manutenção e retirada da massa verde das leguminosas após a roçada. AF: amendoim forrageiro; ST: siratro; KT: kudzu tropical; CL: controle. Valores médios seguidos de mesma letra nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. 63

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Características dos solos PL, AVA e PL/AVA, sob diferentes sistemas de cultivo de hortaliças e fruteiras no SIPA.	33
Tabela 2. Diversidade de espécies de FMA recuperados em solo rizoférico de hortaliças e fruteiras no SIPA.	39
Tabela 3. Capacidade infectiva, frequência de ocorrência e riqueza de espécies de FMA após diferentes tempos de exposição em dias aos solos inóculos, oriundos de áreas cultivadas com hortaliças e fruteiras.	40
Tabela 4. Características de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, Distrófico, sob manejo de cobertura com leguminosas herbáceas perenes.	61
Tabela 5. Respiração microbiana (RM) e quociente metabólico (qCO_2), em ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, Distrófico, com coberturas de leguminosas herbáceas perenes.	64

ANEXOS

Tabela 1. Valor F e coeficiente de variação da análise de variância de número de esporos e colonização micorrízica.	72
Tabela 2. Valor F e coeficiente de variação da análise de variância de carbono microbiano (Cmic) e respiração microbiana (RM).	72
Tabela 3. Valor F e coeficiente de variação da análise de variância de quociente metabólico (qCO_2).	72
Tabela 4. Valor F e coeficiente de variação da análise de variância da relação carbono microbiano/carbono orgânico (Cmic/CO).	72

RESUMO GERAL

MARINHO, Ney Freitas. **Influência do manejo agrícola e do clima sobre alguns atributos biológicos do solo**. Seropédica: UFRRJ, 2003. 73f. (Dissertação, Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo).

A absorção de nutrientes pelas plantas pode ser favorecida por grupos de fungos simbiotes do solo. Estes são conhecidos como fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e encontram-se distribuídos na maioria dos agroecossistemas em associação mutualística com as raízes das plantas. Esta simbiose aliada a mineralização da matéria orgânica do solo influenciam sobremaneira, e de forma sinérgica a nutrição de plantas. O conhecimento das alterações ocorridas no carbono da biomassa microbiana do solo (C_{mic}) e na atividade desta biomassa, por ocasião da utilização de diferentes coberturas vegetais, pode oferecer condições para a escolha de melhores estratégias de manejo que favoreça a manutenção da matéria orgânica no solo. Este trabalho teve os seguintes objetivos: determinar a porção ativa e a dinâmica dos FMA, em relação ao efeito sazonal e de práticas de manejo em solos sob cultivo orgânico de hortaliças e fruteiras (Capítulo I); determinar alterações no carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) e sua perda para a atmosfera na forma de CO_2 , em função da sazonalidade e do manejo da massa verde de leguminosas herbáceas perenes, em ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (Capítulo II). No capítulo I, os dados mostraram que todas as hortaliças e fruteiras encontravam-se colonizadas pelos FMA, tanto no período seco, como no chuvoso. Vinte e sete espécies de FMA foram identificadas em levantamento de campo. As espécies *Glomus macrocarpum*, *Glomus etunicatum*, *Acaulospora mellea* e *Entrophosphora colombiana* predominaram na rizosfera das hortaliças e fruteiras e apresentaram serem mais adaptadas ao cultivo orgânico. *G. macrocarpum* apresentou maior frequência de ocorrência (FO) e foi encontrada na rizosfera de todas as culturas. A maior riqueza de espécies foi verificada na rizosfera da bananeira (BN2). Dezoito espécies de FMA foram recuperadas em vasos, em experimento de casa de vegetação. Utilizou-se o sorgo como cultura armadilha. *Acaulospora mellea*, *Glomus claroideum*, *Glomus etunicatum* e *Glomus macrocarpum* multiplicaram-se em maior intensidade nos vasos e apresentaram rápida infecção das raízes de sorgo. Portanto, podem ser consideradas em programas de inoculação. O cultivo de batata doce (BD2), apresentou maior esporulação de FMA, durante o período seco. A sazonalidade e o manejo exerceram efeitos diferenciados na colonização micorrízica e na população de esporos de FMA. Estes foram mais evidentes no cultivo BD2. No capítulo II, os resultados mostraram que a cobertura de amendoim forrageiro (AF) induziu maior valor de C_{mic} no solo, em relação ao kudzu tropical (KT) e siratro (ST), especialmente na estação seca. Esta leguminosa contribuiu para o aumento do carbono orgânico (CO) durante o período das chuvas, principalmente quando os resíduos foram mantidos sobre o solo. As perdas de carbono através da respiração microbiana (RM), assim como a atividade da biomassa microbiana, avaliada pelo qCO_2 , ocorreram em maior intensidade na estação das chuvas, mesmo quando foram mantidas as coberturas de solo. Provavelmente, devido ao maior estímulo do metabolismo microbiano por ocasião de elevada oferta energética.

Palavras-chave: Fungos micorrízicos, biomassa microbiana, respiração do solo, cobertura do solo, sazonalidade.

GENERAL ABSTRACT

MARINHO, Ney Freitas. **Influence of the agricultural management and climate on some soil biological attributes**. Seropédica: UFRRJ, 2003. 73f. (Dissertation, Master Science in Agronomy, Soil Science).

Soil fungi groups may favor increasing in the plant absorption of nutrients. These are known as arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and are distributed in most of the agricultural and natural systems, in mutualistic association with plant roots. The symbiosis associated to the mineralization of soil organic matter, overly influences the plant nutrition. The understanding of alterations occurring in the carbon of the soil microbial biomass (Cmic) and in the activity of this biomass, when different vegetable coverings are used, may offer conditions for choosing the best management strategies to favor the maintenance of organic matter in the soil. This study had two objectives, the first to determine the active portion and the dynamics of AMF, related to the effect seasonal changes and soil management practices on these fungi. The studied soils were under organic cultivation of vegetables and fruit trees (Capítulo I). The second objective was to determine alterations in the carbon of the microbial biomass (Cmic), and loss to atmosphere in the form of CO₂, as a function of seasonality and management of green mass of perennial herbaceous legumes, in a Red-Yellow Argissolo (Ultisol) (Chapter II). In the chapter I, the data showed that all vegetables and fruit trees were colonized by FMA, in the dry and rainy seasons. Twenty-seven AMF species were identified in the field. *Glomus macrocarpum*, *Glomus etunicatum*, *Acaulospora mellea* and *Entrophosphora colombiana* prevailed in the rizosfera of vegetables and fruit trees and showed to be more adapted on organic cultivation system. *G. macrocarpum* showed larger occurrence frequency (FO), and it was found in all crops roots. The highest richness of species occurred on banana's rizosfera. In the greenhouse experiment eighteen species of AMF were recovered in the vases. The sorghum was used as a trap crop. *Acaulospora mellea*, *Glomus claroideum*, *Glomus etunicatum* and *Glomus macrocarpum* multiplied in higher intensity in the vases and presented a fast infection of the sorghum roots. Therefore, these species should be considered in inoculation programs. The sweet potato cultivation (BD2) showed higher AMF esporulation during the dry period. The seasonality and soil management resulted in differentiated effects in the mycorrhizal colonization and population of AMF spores. These were more evident on cultivation BD2. In the chapter II, the results showed that *Arachis pintoii* coverage induced higher Cmic in the soil, in relation to the *Pueraria phaseoloides* and *Macroptilium atropurpureum*, especially in the dry season. This legume contributed to increase of organic carbon (CO) during the rainy season, mainly when the residues were maintained as soil coverage. Losses of carbon through microbial respiration (RM), as the microbial biomass activity, evaluated from the *q*CO₂, occurred in higher intensity in the rainy season, even when the soil covering were maintained. Probably, due to the stimuli of microbial metabolism, when there was a high energetic offer.

Key words: Mycorrhizal fungi, microbial biomass, soil respiration, soil coverage, seasonality.

INTRODUÇÃO GERAL

A qualidade de um solo é dependente do seu potencial de utilização. Estudos acerca da qualidade do solo são fundamentais para decisões no uso agrícola, no nível de informações e tecnologias geradas que venham a tornar prático e sustentável sua exploração. Vários fatores contribuem para a qualidade do solo. Dentre eles, os organismos do solo podem ser vistos como principais responsáveis pela sua manutenção, devido sua atuação em alguns processos como: decomposição de resíduos vegetais, ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, mobilização de fósforo e estruturação do solo, além de poderem ser utilizados como indicadores biológicos que pode auxiliar em um melhor entendimento das funções do solo ou do ambiente.

A maioria das plantas possui a capacidade de estabelecer relações de troca com determinados grupos de fungos do solo. O entendimento desta relação gerou o conceito de micorrizas. A ocorrência destes fungos assim como sua associação abrangente desde plantas invasoras, forrageiras, culturas anuais, fruteiras, hortaliças, cafeeiro, florestas de eucaliptos e pinus, indica que estes organismos podem influenciar fortemente a produção e o desenvolvimento de plantas via fornecimento de minerais e água a partir do solo. A contribuição destes fungos para a agricultura e ecossistemas naturais tem despertado o interesse em atividades de pesquisa, devido a uma busca para o melhor entendimento dos processos naturais ligados a produção agrícola e reabilitação de ambientes perturbados ou destruídos pela ação antrópica.

As populações microbianas no solo devem ser consideradas como um fator importante no funcionamento de um ecossistema, uma vez que são altamente sensíveis a perturbação e degradação. Assim, a determinação da biomassa microbiana e de sua atividade (evolução de CO_2 pela respiração microbiana) pode ser uma forte ferramenta na avaliação da qualidade do solo. A utilização de coberturas vivas no solo pode trazer benefícios como a redução da perda de matéria orgânica e evapotranspiração, o aumento da infiltração e estímulo às comunidades de microrganismos no solo, além de fornecer nutrientes pelo processo de decomposição de resíduos deixados na superfície do solo.

É importante ressaltar que estudos que envolvem interações de comunidades biológicas do solo com plantas e a matéria orgânica são dotados de complexidade. Desta maneira, buscamos de forma mais simples a uma compreensão destes acontecimentos em dois sistemas de cultivo e manejo do solo.

A hipótese do trabalho é que a diversidade de fungos micorrízicos arbusculares, o carbono da biomassa microbiana e a atividade dessa biomassa são indicadores potenciais da qualidade de manejo agrícola e ferramentas para determinar as melhores práticas de uso do solo, garantindo sua função e influenciando a produção das culturas.

A estratégia de ação deste trabalho foi verificar a dinâmica de fungos micorrízicos arbusculares na rizosfera de hortaliças e fruteiras; quantificar o carbono da biomassa microbiana, as perdas de deste carbono pela respiração microbiana e determinar a eficiência microbiana através do quociente metabólico em solo com diferentes coberturas vivas.

Objetivou-se neste trabalho, identificar a diversidade ativa e o comportamento das espécies de fungos micorrízicos arbusculares que pode estar mais adaptada ao manejo orgânico, empregado em hortaliças e fruteiras. Avaliar alterações no carbono da biomassa microbiana, a evolução de CO_2 e o quociente metabólico em solo coberto com leguminosas herbáceas perenes, assim como verificar a influência da sazonalidade e do manejo destas coberturas sobre estes atributos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL

O entendimento dos processos biológicos do solo facilita a racionalização do manejo agrícola e a conservação do solo. As práticas agrícolas interferem de alguma forma no ecossistema, e a longevidade deste sistema depende do nível de agressão que tais práticas promovem. Pedobiólogos há muito tempo, buscam um parâmetro que espelhe a robustez da vida do solo e que reflita o grau de perturbação ocasionado pelo manejo agrícola. Pretendem também que tal parâmetro tenha significado agrônômico, mas especificamente fornecendo diagnóstico que indique possibilidades de produtividades de culturas econômicas (De-Polli & Guerra, 1996, 1999).

O conhecimento de indicadores eficazes para o diagnóstico da qualidade dos sistemas agrícolas e florestais, cria condições favoráveis para a escolha de práticas de manejo do solo adequadas aos princípios de conservação e utilização racional, garantido produção de alimentos de boa qualidade por um período de tempo superior aos sistemas onde é comum práticas não conservacionistas do solo ou ambiente. Um bom indicador deve ser capaz de refletir o funcionamento do ecossistema, identificar as formas de perturbações, ser economicamente viável, ter facilidade de monitoramento, apresentar especificidade individual aos padrões de espaço e tempo e, finalmente mostrar distribuição universal (Holloway & Stork, 1991).

Indicadores biológicos representam diferentes aspectos da qualidade do solo nos diferentes ecossistemas (Elliott, 1997) e podem ser utilizados para monitorar três funções ou parâmetros básicos: estrutura ou desenvolvimento do solo, estoque de nutrientes e atividade biológica (Gregorich et al., 1994).

Dentro deste contexto, os organismos têm papel importante na identificação da qualidade do solo, por atuarem nos processos de transformação da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e interações de troca com a maioria das espécies de plantas, especialmente as de importância agrícola. Rogers & Tate III (2001) consideram a microbiota do solo como um dos indicadores biológicos mais úteis e de extrema sensibilidade para indicar um ambiente ou agroecossistema que está perturbado ou estressado pela ação antrópica, entretanto verificaram que impactos antrópicos ou práticas diferenciadas de manejo, que reflitam em diferentes condições de perturbação para a produção de plantas, tem efeito direto na composição da microbiota do solo, que passa a ser um indicador sensível de perdas ou redução na qualidade de um ambiente.

Atualmente têm-se utilizado cada vez mais métodos eficientes para avaliação da diversidade microbiana no solo, que são dotados de complexidade, além de serem influenciados pelas condições climáticas e pela heterogeneidade dos solos. Os métodos mais recentes de avaliação se baseiam em ácidos graxos e ácidos nucleicos, de modo que não dependem do cultivo de microrganismos (Kodrój & Van Elsas, 2001). Podemos citar como exemplo umas das técnicas de eletroforese com gel desnaturante, conhecida como DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis), uma das mais utilizadas.

Vários estudos têm reportado as enzimas como indicadoras da atividade microbiana do solo comparadas com diferentes classes de solo, clima e manejo (Dick et al., 1997). A atividade da desidrogenase tem sido utilizada desde 1956 (Lenhard, 1956), para avaliar a atividade microbiana. A amonificação da arginina também tem sido reportada como um indicador geral da atividade microbiana. Turco et al. (1999) têm estudado fortemente a β -galactosidase como um indicador chave da atividade microbiana no solo. Vários estudos têm revelado que aumentos nos níveis de matéria orgânica no solo podem promover aumentos na atividade da enzima β -glucosidase

(Martens et al., 1992), assim como da celobiohidrolase e endocelulase (Debosz et al., 1999; Rasmussen et al., 2002).

A atividade celulolítica pode ser considerada como um dos parâmetros confiáveis para descrever a qualidade de um solo, de modo que a decomposição da celulose no solo tem efeito no fluxo de matéria e energia, formação do húmus e transformação da matéria orgânica em mineral (Remon & Alvera, 1987). Entretanto, a atividade celulolítica pode ser usada como um indicador enzimático para avaliar as modificações da matéria orgânica no solo (Rasmussen et al., 2002). A atividade dos organismos celulolíticos é aumentada em sistemas de rotação de culturas com leguminosas como a soja, por exemplo, que através do fornecimento do nitrogênio, acelera a decomposição de resíduos vegetais no solo (Nascimento et al., 1995).

Dentre os organismos da fauna do solo, existem aqueles que influenciam direta ou indiretamente a disponibilidade de recursos para outros organismos, através da modificação do ambiente físico e químico. Jones et al. (1994) definiram estes organismos como "engenheiros do ecossistema". Minhocas, formigas e cupins, principais componentes da macrofauna, são considerados engenheiros do ecossistema, dada a influência que têm no ambiente (Lavelle et al., 1997). Para Mäder et al. (1996), o manejo orgânico proporciona maior biomassa, abundância e número de espécies quando comparado ao sistema convencional de produção agrícola.

Dentre os grupos de microrganismos do solo, tem sido dada especial atenção nos últimos anos, as rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCPs), que representam um subgrupo diverso de bactérias que colonizam as raízes vegetais. Em adição ao aumento da produção das culturas, estirpes diferentes de RPCPs podem exercer vários efeitos nas plantas, incluindo controle biológico de fitopatógenos oriundos do solo, promoção de nodulação de leguminosas por rizóbios fixadores de nitrogênio e melhoramento nas taxas de emergências de plântulas. O gênero *Pseudomonas*, por se estabelecer melhor na rizosfera do que outros gêneros, o que lhes confere certa vantagem (Rouatt & Katznelson, 1961) têm sido um dos mais estudados. Fora do Brasil, muitos trabalhos vêm sendo conduzidos e relatam benefícios das RPCPs em diversas culturas como arroz (Sakthiel et al., 1986), olerícolas (Elad et al., 1987), amendoim (Turner & Backman, 1989), cevada (Iswandí et al., 1987), etc. No Brasil, porém ainda há poucos trabalhos na área, mas já se observou promoção de crescimento em café, feijão, soja e milho (Freitas, 1994).

A matéria orgânica do solo é toda fração orgânica, localizada abaixo da superfície do solo, e consiste de matéria morta (98% do total de C orgânico do solo) e viva (raramente ultrapassa 4% do total de C orgânico do solo), que provenha de plantas, microrganismos, da meso e macro fauna, e de resíduos de animais e microrganismos do solo. Ela representa a principal fonte (1600×10^{15} g C) do total da reserva terrestre de carbono (em torno de 2200×10^{15} g C). Nela excede drasticamente a quantidade de carbono estocada pela vegetação viva (em torno de 600×10^{15} g C) (Zech et al., 1997). A entrada anual de carbono no solo é em torno de 110×10^{15} g C/ano, ou em torno de 15% do CO₂ atmosférico, entretanto, uma quantidade equivalente de C retorna para a atmosfera.

Independente da utilização apenas da matéria orgânica como indicadora da qualidade de um solo, Doran & Parkin (1994) propõem a inclusão de outros indicadores potenciais como cobertura do solo e densidade de raízes, densidade do solo, capacidade de campo, temperatura, carbono total, nitrogênio total, condutividade elétrica, pH, CTC, nitrogênio e fósforo extraíveis, biomassa microbiana, respiração do solo, mineralização potencial de nitrogênio e fauna do solo.

A utilização da matéria orgânica como indicador da qualidade do solo é justificada por duas vertentes. Uma delas é que o teor de matéria orgânica no solo tem alta sensibilidade às diferentes práticas de manejo, evidenciada pela perda de mais de 50 % pelo processo de decomposição promovido pelos organismos do solo e pela erosão (Andreux, 1996; Piccolo, 1996). A outra vertente é evidenciada pela forte relação entre a matéria orgânica e a maior parte dos atributos do solo e ambientais (Doran, 1997). Dentre estes atributos, podemos citar a CTC, que é aumentada pela qualidade e quantidade de matéria orgânica no solo, conforme foi demonstrado por Bayer & Mielniczuk (1997), em que a utilização de plantio direto e de sistemas de culturas com alta deposição de resíduos sob o solo promoveram aumentos na CTC de um Podzólico Vermelho-escuro. A estabilidade de agregados é a principal característica física do solo afetada pela matéria orgânica, de modo que as demais características do solo, indiretamente, também são influenciadas como, por exemplo, a porosidade, a infiltração e retenção de água no solo, a densidade dentre outras (Bayer & Mielniczuk, 1999). As características biológicas do solo sofrem influência direta da matéria orgânica, pois esta atua como fonte de carbono, energia e nutrientes para os microrganismos heterotróficos e, através da mineralização do N e S orgânico atua como fonte de energia aos microrganismos autotróficos, de modo que a relação entre a matéria orgânica e os microrganismos pode ser avaliada a partir da biomassa e atividade microbiana, atributos representativos da integração dos efeitos da matéria orgânica sobre as condições biológicas do solo (Bayer & Mielniczuk, 1999). Em sistemas de culturas sob plantio direto que caracteristicamente apresentam maior retorno de resíduos vegetais, os incrementos no conteúdo de matéria orgânica resultam em maiores valores de biomassa e atividade microbiana, estimada pela evolução de CO₂ (Cattelan & Vidor, 1990). Em geral, os sistemas agrícolas e naturais, devem ser caracterizados como dinâmicos, onde todos os fatores agrônômicos e ecológicos necessitam serem aplicados em conjunto, para a manutenção e exploração racional dos recursos neles existentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREUX, F. Humus in world soils. In: PICCOLO, A. (Ed.) **Humic Substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 1996. p. 45-100.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 105-112, 1997.
- CATTELAN, A.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função das variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 125-132, 1990.
- DEBOSZ, K.; RASMUSSEN, P. H. & PEDERSEN, A. Temporal variations of microbial biomass and cellulolytic enzyme activity in arable soils: effects of organic matter input. **Applied Soil Ecology**, v. 13, p. 209-218, 1999.
- DE-POLLI, H & GUERRA, J. G. M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: Santos, G. A. & Camargo, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 389-411.
- DE-POLLI, H. & GUERRA, J. G. M. Biomassa microbiana: perspectiva para o uso e manejo do solo. In: Alvarez, V. H.; Fontes, L. E. F. & Fontes, M. P. F. (Ed.) **O Solo nos Grandes Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado**. Viçosa: SBCS, 1996. p. 551-564.
- DICK, R. P.; BREAKWELL, D. P. & TURCO, R. F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: Doran, J. et al. (Ed.). **Handbook of methods for assessing soil quality**. Madison: WI, ASA Special publication, 1997. Chapter 15.
- DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Ed.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: ASA/SSSA, 1994. p. 3-21.
- ELAD, Y.; CHET, I. & BAKER, R. Increased growth response of plants induced by rhizobacteria antagonistic to soil borne pathogenic fungi. **Plant and Soil**, v. 98, p. 325-330, 1987.
- ELLIOTT, E. T. Rationale for developing bioindicators of soil health. In: PANKHURST, C; DOUBE, B. M. & GUPTA, V. V. S. R. (Ed.). **Biological indicators of soil health**. New York: CAB International, 1997. p. 49-78.

FREITAS, S. S. Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCPs). In: HUNGRIA, M. & ARAÚJO, R. S (Ed.) **Manual de Métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa, 1994. p. 369-376.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal Soil Science**, v. 74, p. 367-385, 1994.

HOLLOWAY, J. D. & STORK, N. D. The dimensions of biodiversity: the use of invertebrates as indicator of human impact. In: HAWKSWORTH, D. L. (Ed.). **The biodiversity of microorganisms and invertebrates: Its role in sustainable agriculture**. Wallingford Oxon: OX10 8DE, 1991. p. 37-63.

ISWANDI, A.; BOSSIER, P.; VANDENABIELE, J. & VERSTRAETE, W. Effect of seed inoculation with the rhizopseudomonad strain 7NSK2 on the root microbiota of maize (*Zea mays*) and barley (*Hordeum vulgares*). **Biology and Fertility of Soils**, v. 3, p. 153-158, 1987.

JONES ET AL. **Organisms as ecosystem engineers**. *Oikos*, v. 69, p. 373-386, 1994.

LAVELLE ET AL. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal Soil Biology**, v. 33, n. 4, p. 159-193, 1997.

LENHARD, G. Die dehydrogenase - activita: des Bodens als mass für mikrooganismanta: tigkei im Bodens. **Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd**, v. 73, p. 1-11, 1956.

MÄDER ET AL. Soil Ecology-Impact of organic and conventional agriculture on soil biota and its significance for soil fertility. In: Ostergaard, T. V. (Ed.) **Fundamental of Organic Agriculture, Proceedings 1**. Copenhagen: 11Th IFOAM International Scientific Conference, 1996. p. 24-40.

MARTENS, D. A.; JOHANSON, J. B. & FRANKENBERGER, W. T. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues. **Soil Science**, v. 153, p. 53-61, 1992.

NASCIMENTO, J. S. do; CASTILHOS, D. D.; VAHL, L. C. & PAULETTO, E. A. Decomposição da celulose num Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 481-484, 1995.

PICCOLO, A. Humus and soil conservation. In: PICCOLO, A. (Ed.) **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 1996. p. 225-264.

KOSDROJ, J. & VAN ELSAS, J. D. Structural diversity of microorganisms in chemically perturbed soil asessed by molecular and cytochemical approaches. **Journal of Microbiology Methods**, v. 43, n. 3, p. 197-212, 2001.

RASMUSSEN, P. H.; KNUDSEN, I. M. B.; ELMHOLT, S. & JENSEN, D. F. Relationship between soil cellulolytic activity and suppression of seedling blight of barley in arable soils. **Applied Soil Ecology**, v. 19, p. 91-96, 2002.

REMÓN, J. L. & ALVERA, B. Decomposition of organic matter in high mountain: cellulose experiments in central Pyrenees. **Resvista de Ecologia de Montaña**. Pirineos, v. 130, p. 75-83, 1987.

ROUATT, J. W. & KATZNELSON, H. A study of the bacteria on the root surface and in the rhizosphere of crop plants. **Journal Applied of Bacteria**, v. 24, p. 164-171, 1961.

ROGERS, B. F. & TATE III. Temporal analysis of the soil microbial community along a toposequence in Pineland soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, n. 10, p. 1389-1401, 2001.

SAKTHIEL, N.; SIVAMANI, E.; UNNAMALAI, N. & GNANAMANICKAM, S. S. Plant growth-promoting rhizobacteria in enhancing plant growth and suppressing plant pathogens. **Current Science**, v. 55, p. 22-25, 1986.

TURCO, R. F. & BLUME, E. Indicator of soil quality. In: Siqueira, J. O. et. al. (Ed.) **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 529-550.

TURNER, J. T. & BACKMAN, P. A. Factors relating to peanut yield increases following *Bacillus subtilis* seed treatment. **Plant Disease**, v. 73, 1989.

ZECH, Z.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T. M.; MILTNER, A. & SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 69-116, 1997.

CAPÍTULO I

EFEITO DO CULTIVO ORGÂNICO DE HORTALIÇAS E FRUTEIRAS E DO CLIMA NA DIVERSIDADE E NA SIMBIOSE MICORRÍZICA

RESUMO

A maioria das plantas possui a capacidade de estabelecer relações de troca com determinados grupos de fungos do solo, comportamento que gerou o conceito de micorrizas. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) encontram-se distribuídos na maioria dos agroecossistemas e apresenta como principal benefício, o aumento na absorção de nutrientes pelas plantas. Neste trabalho, avaliou-se a diversidade ativa e a dinâmica populacional de FMA, assim com o efeito sazonal (período seco e chuvoso de 2001) e práticas de manejo sobre estes fungos, no cultivo orgânico de batata-doce, banana, maracujá e consórcio de cenoura e alface, em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, um PLANOSSOLO de textura arenosa e um solo de transição. O trabalho foi desenvolvido no sistema integrado de produção agroecológica (SIPA) da Embrapa Agrobiologia, UFRRJ e Pesagro-RJ, em Seropédica, RJ. Foram identificadas vinte e sete espécies de FMA em levantamento realizado em campo. As espécies *Glomus Macrocarpum*, *Glomus etunicatum* e *Acaulospora mellea* e *Entrophosphora colombiana*, predominaram na rizosfera das hortaliças e fruteiras e apresentaram serem mais adaptadas ao cultivo orgânico. *G. macrocarpum* foi a que apresentou a maior frequência de ocorrência (FO) e foi encontrada na rizosfera de todas as culturas. A maior riqueza de espécies, foi verificada na rizosfera da bananeira (BN2). Dezoito espécies de FMA foram recuperadas em vasos, em experimento de casa de vegetação. Utilizou-se o sorgo como cultura armadilha. O experimento foi organizado em delineamento inteiramente casualizado, com 3 repetições. *Acaulospora mellea*, *Glomus claroideum*, *Glomus etunicatum* e *Glomus macrocarpum* multiplicaram-se em maior intensidade nos vasos e apresentaram rápida infecção das raízes de sorgo, verificada a partir de 7 dias após a emergência das plântulas. Portanto, sugere-se a utilização destas espécies em programas de inoculação. Na batata doce (BD2), a esporulação foi cerca de 5 vezes maior que as outras culturas, durante o período seco. Todas as culturas encontravam-se colonizadas pelos FMA nas duas épocas do ano. A sazonalidade e o manejo exerceram efeitos diferenciados na colonização micorrízica e na população de esporos de FMA, dependendo do nível de perturbação. Estes efeitos foram mais evidentes no cultivo de batata-doce, onde ocorreu maior revolvimento solo.

Palavras-chave: Fungos micorrízicos, diversidade, sazonalidade, manejo orgânico.

ABSTRACT

Most of the plants possess the capacity to establish mutual change relationships with certain groups of soil fungi, a behavior that generated the mycorrhiza concept. The arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are distributed in most of the agroecosystems and represent as main benefit of this relationship the increasing in the nutrient uptake by plants. In this study, it was evaluated the active diversity, and the population dynamics of FMA, the seasonal effect (dry and rainy period of 2001) and influence of management practices on these fungi, on organic cultivation system of sweet potato, banana, passion fruit and carrot/lettuce consortium. The soils were classified as Red-Yellow Argissolo (Ultisol) a sandy textured Planossolo (Fragiudult), and a transitional soil. The work was developed in the agroecological production integrated system (SIPA) of Embrapa Agrobiologia, UFRRJ and Pesagro-RJ, in Seropédica, RJ. Twenty-seven species of AMF were identified in field samples. *Glomus Macrocarpum*, *Glomus etunicatum*, *Acaulospora mellea* and *Entrophosphora colombiana* prevailed in the rizosfera of all crops, with higher occurrence, richness of species, on banana's rizosfera and showed to be adapted to the organic cultivation system. *G. macrocarpum* presented the highest occurrence frequency (FO) and was found in the rizosfera of all crops. Eighteen species of AMF were recovered in vases, in the greenhouse experiment. The sorghum was used as trap crop. The experiment was organized in a completely randomized design, with 3 replicates. *Acaulospora mellea*, *Glomus claroideum*, *Glomus etunicatum* and *Glomus macrocarpum* multiplied in larger intensity in the vases and presented fast infection of the sorghum roots verified 7 days after the emergency of the seedlings. Therefore, it is suggested the use of these species in inoculation programs. In the sweet potato (BD2), the esporulation was superior to other cultures, during the dry season. All cultures were colonized by AMF in the two seasons of the year. The seasonality and the management applied resulted in effects differentiated in the mycorrhizal colonization and in the AMF spore population, depending on the disturbance level. These effects were more evident in the sweet potato cultivation, where the soil was more disturbed.

Key words : Mycorrhizal fungi, diversity, seasonality, organic management.

1. INTRODUÇÃO

A contribuição dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) para a agricultura e ecossistemas naturais tem despertado forte interesse em atividades de pesquisa, devido a uma busca do melhor entendimento dos processos biológicos ligados à produção agrícola, ao passo que a ocorrência diferenciada de espécies destes fungos nos agroecossistemas, vem sendo utilizada como ferramenta indicadora de qualidade de manejo dos solos.

A adsorção de fósforo, baixa disponibilidade de nutrientes, acidez elevada, assim como alto teor de alumínio, ocorrentes na maioria dos solos brasileiros, leva os agricultores a dispor de adubações pesadas, geralmente com fertilizantes fosfatados, aumentando os custos de produção e contaminação dos solos e da água. Neste contexto, o ganho na absorção de nutrientes pelas plantas, em especial o fósforo é considerado um dos principais benefícios gerados pelos FMA, uma vez que estes aumentam a superfície de solo explorada quando em contato com as raízes, criando a possibilidade de redução nas aplicações destes fertilizantes na agricultura.

Na busca de sistemas agrícolas apropriados para as condições ambientais, sociais e econômicas dos países tropicais, a agricultura orgânica oferece elementos valiosos que contribuirão ao melhor aproveitamento dos recursos do solo. Neste empenho, a agricultura convencional terá que atenuar sua filosofia produtivista e assimilar critérios de sustentabilidade. A tendência é que no futuro, ocorrerá um uso mais racional de fertilizantes químicos, um manejo mais conservador do solo e uma diversificação dos cultivos, sobre bases ecológicas. Nesta perspectiva, pode-se prever que o manejo da micorriza será uma prática cada vez mais utilizada, à medida que se amplia o conhecimento sobre a biologia do fungo simbiote e seu comportamento com diferentes hospedeiros, substrato de crescimento e condições ambientais, para que se possam oferecer tecnologias eficientes, utilizadas em larga escala e comercialmente rentável.

Os FMA são considerados insumos biológicos de enorme potencial na agricultura graças aos seus efeitos positivos sobre a adaptabilidade, crescimento das plantas e tolerância destas frente ao ataque de alguns patógenos do solo. Na atualidade, a micorriza é vista como uma associação multifuncional cujos benefícios vão mais além dos aspectos nutricionais. Os FMA são importantes recursos biológicos cujo manejo, além de causar efeito sobre a produtividade vegetal produz benefícios ambientais como a melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo, conseqüentemente reduzindo a erosão.

Na década de 80, a atenção estava centrada sobre os efeitos da inoculação de FMA com o objetivo de se alcançar uma melhor absorção e assimilação de nutrientes pelas plantas (em especial o fósforo), o que levou um conhecimento de que estes fungos eram apenas biofertilizantes, termo inapropriado, pois na atualidade os FMA são conhecidos como um dos promotores em potencial do ciclo de nutrientes no solo. Nas condições tropicais, onde os solos são caracteristicamente pobres em nutrientes (especialmente fósforo e nitrogênio) a micorriza tem um papel fundamental na manutenção de um ciclo constante destes nutrientes, assegurando o uso de uma limitada reserva de minerais.

O objetivo deste trabalho foi determinar a diversidade ativa e a dinâmica populacional de fungos micorrízicos arbusculares, assim com o efeito sazonal e práticas de manejo sobre estes simbiotes, no cultivo orgânico de hortaliças e fruteiras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ocorrência e Contribuições dos Fungos Micorrízicos Arbusculares

Os benefícios das associações micorrízicas sobre o crescimento de plantas, ciclagem de nutrientes e estruturação do solo estão amplamente demonstrados (Varma & Hock 1995; Smith & Read 1997). Em ambientes tropicais, a maioria das plantas apresenta-se colonizadas por FMA, que potencializam a absorção de fósforo do solo, cujas características predominantes são os baixos teores de nutrientes disponíveis, e alta capacidade de fixação de fosfatos (Siqueira 1994).

A importância dos FMA como indicadores de sustentabilidade de sistemas agrícolas e naturais, pode ser compreendida pela sua ampla ocorrência e pela capacidade de formar associação com pelo menos 2/3 das plantas fanerógamas terrestres (Trappe 1987). Indicadores biológicos de qualidade do solo que têm como função a sustentação do crescimento vegetal, incluem parâmetros tais como associações micorrízicas e biomassa microbiana (Karlen et al. 1997). Da mesma forma, FMA podem ser utilizados para monitoramento ambiental. De acordo com He et al. (2002), as alterações nos solos de ecossistemas desérticos podem ser detectadas por variações na densidade de esporos e colonização radicular.

Uma avaliação da infectividade de cada espécie de FMA pode ser realizada através de um bioensaio que avalia a capacidade infectiva destes fungos (Thonson et al., 1994). Esta avaliação consiste em expor as raízes de uma planta hospedeira (planta isca), em vasos de cultivo, contendo solo infestado de propágulos de FMA. Sequencialmente, fazem-se coletas de solo e de raízes nos vasos, em diferentes épocas, para extrair os esporos multiplicados e identificá-los ao nível de espécie, e avaliar o tempo que estes fungos levam para colonizar as raízes da planta isca. Pode-se inferir que esta avaliação fornece informações sobre a densidade de propágulos de cada espécie e a agilidade em colonizar (capacidade infectiva) as raízes. De acordo com Gravina (1998) e Santos (1998), o emprego de plantas isca capazes de selecionar os fungos mais infectivos dentro de uma comunidade de Glomales pode ser uma das ferramentas viáveis para o isolamento e seleção de FMA nos agroecossistemas. No entanto, é uma metodologia que consome muito tempo e tem limitações, pois reflete apenas uma estimativa da infectividade dos FMA existentes no solo. Plenchette et al. (1989), define que as condições de um bioensaio devem permitir que a infecção radicular da planta isca ocorra na mesma proporção que ocorre no campo.

2.2. Micorrizas Arbusculares e a Matéria Orgânica do Solo

Podemos afirmar que as raízes finas das plantas e as hifas dos FMA em associação com a matéria orgânica estão em posição vantajosa para absorver nutrientes liberados pela mineralização da matéria orgânica. Johnson (1998) verificou que a simbiose micorrízica era favorecida por aumentos no conteúdo de matéria orgânica do solo. Em pastagens, Martin et al. (1999) observaram que ao acrescentar matéria orgânica, os efeitos benéficos dos fungos micorrízicos nativos de áreas do cerrado sobre o crescimento das plantas foram mais expressivos. Na composição de substratos para obtenção de mudas, Sainz et al. (1998) observaram que combinando vermicomposto e solo (entre 10 e 50% do vermicomposto) com inoculação de *Acaulospora* sp aumentos consideráveis na produção de massa seca no pepino poderiam ser obtidos. O uso de

matéria orgânica combinada com a inoculação de FMA permite obter substratos eficientes para mudas de café que apresentam indicadores morfológicos e fisiológicos semelhantes às mudas de café obtidas com adubação mineral completa (Izquierdo, 2000).

Benefícios da adubação orgânica sobre a população de FMA foram registrados por Baby & Manibhushanrao (1996), na cultura do arroz, que se encontrava inoculada com estes fungos no campo, de modo que, os diferentes adubos utilizados durante o cultivo desta cultura, favoreceram o aumento significativo do número de esporos introduzidos no solo. A matéria orgânica avaliada isoladamente não exerce efeito sobre a colonização micorrízica de raízes de sorgo, milho e amendoim e, quando aplicada com o fósforo deprime a micorrização em solos sem calagem (Carrenho et al., 2000). Os gêneros *Glomus* e *Acaulospora* apresentam maior capacidade de adaptação a solos submetidos a diferentes variações nos teores de matéria orgânica, calagem, textura, entre outros fatores, demonstrando serem espécies resistentes a perturbações ambientais (Carrenho, 1998).

2.3. Micorrizas Arbusculares e a Produção de Hortaliças e Fruteiras

É difícil prever os efeitos de alterações na população de FMA na produção agrícola, devido a grande diversidade de espécies, ao pouco conhecimento da relação fungo-solo e a respostas diferenciadas das plantas (Moreira & Siqueira, 2002). A efetividade de infecção de FMA selecionados em solos sob manejo orgânico apresentou maiores benefícios ao crescimento de *Allium ameloprasum* L. e *Trifolium repens* L. do que fungos selecionados em solos submetidos ao cultivo intensivo sob manejo convencional, o qual se caracterizava pelo uso em larga escala de fertilizantes químicos e agrotóxicos (Scullion et al., 1999).

Mudas de maracujazeiro amarelo que apresenta maior vigor quando inoculadas com FMA, reduzindo o tempo de transplante para o campo (Cavalcante et al., 2002). Avaliando respostas fisiológicas em mudas de maracujazeiro amarelo, Cavalcante et al. (2001) verificaram benefícios da micorrização promovendo o crescimento destas mudas, mesmo quando submetidas ao estresse hídrico. Aumentos no crescimento vegetativo de porta-enxertos de abacateiro durante o desenvolvimento de mudas e após o transplante para o pomar foram reportados por Silveira et al. (2002). A colonização micorrízica na cultura da bananeira cultivada no submédio do São Francisco variou em torno de 55%, e um número significativo de espécies (15 no total), ocorreram na rizosfera (Melo et al., 1997). Verificando a dependência micorrízica de cultivares de bananeira, Declerck et al. (1995) detectaram resposta positiva a inoculação com fungos micorrízicos, sendo que alguns cultivares mostram-se altamente dependentes.

A batata-doce é beneficiada com aumentos na porcentagem de colonização radicular em função do pré-cultivo de crotalária e mucuna-preta, que também gera maior número de propágulos infectivos de FMA indígenas no solo (Espindola et al., 1998). Elevada dependência da batata-doce aos FMA com influência direta na produção de tubérculos e matéria seca, foi relatada por Alves et al. (1989). A produção da batata-doce foi aumentada em até 912 % na existência de fósforo disponível (Breda Filho et al., 1951), evidenciando a importância dos FMA durante o ciclo produtivo da cultura. A ocorrência natural dos FMA na cultura da batata-doce sob diferentes condições de solo também foi registrada por Paula et al. (1993).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e Caracterização da Área de Pesquisa

Este trabalho foi desenvolvido em um Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), que foi idealizado e é mantido como parte de uma iniciativa interinstitucional desenvolvida há 10 anos por quatro instituições de pesquisa e ensino: a Embrapa Agrobiologia, Embrapa Solos, PESAGRO-Rio, e Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Localiza-se no município de Seropédica, Estado do Rio de Janeiro, no campo experimental da Embrapa Agrobiologia. Está situado a 33 m de altitude, no paralelo 22° 45' 30" de latitude sul e entre os meridianos 43° 40' 00" e 43° 41' 10" de longitude oeste de Greenwich.

O SIPA abrange 5 ha de um total de 69,98 ha da Embrapa Agrobiologia e tem como atividade predominante a horticultura e a fruticultura. O sistema de cultivo adotado no SIPA é direcionado para os princípios da agricultura orgânica caracterizada pela diversidade das culturas implantadas, cultivo em consórcio e em rotação com leguminosas, isenção total de pesticidas e adubação nitrogenada, utilização de coberturas vivas dos solos, plantio em curva de nível e uso de barreiras quebra-vento.

Este sistema foi dividido em glebas, através do mapeamento dos solos, considerando os parâmetros topográficos de aptidão e de fertilidade. A parte mais baixa do relevo é composta por PLANOSSOLO de textura arenosa (PL). Nos morros é encontrado ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, Distrófico (PVA). Já a saia ou sopé dos morros é formado por solo de transição (PL/PVA).

As culturas do SIPA selecionadas para o desenvolvimento deste trabalho foram as seguintes: banana (*Musa* sp., Musaceae) cv. prata manteiga; maracujá-azedo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener, Passifloraceae), batata-doce (*Ipomoea batatas* L., Convolvulaceae) cv. rosinha e cenoura (*Daucus carota* L., Umbelliferae). A cultura da cenoura foi consorciada com a cultura da alface sendo sucedidas pela cultura do milho no verão. Para efeito de comparação foi incluída uma área do entorno do SIPA com pastagem e outra com floresta secundária da Mata Atlântica (capoeira).

3.2. Informações Climáticas

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima das áreas experimentais pode ser caracterizado como tropical chuvoso com inverno seco, tipo climático AW. As temperaturas mais elevadas se distribuem entre os meses de janeiro e fevereiro, enquanto a média mensal mais baixa ocorre no mês de julho.

O período seco estende-se de junho a agosto e as chuvas mais abundantes ocorrem no período chuvoso. A diferença entre a temperatura do mês mais quente e o mais frio é inferior a 12°C e a precipitação média anual situa-se entre 1.000 e 1.500 mm, com o mês mais seco apresentando menos de 40 mm (Mattos et al., 1989). Os valores dos excedentes hídricos concentram-se de janeiro a março sendo que as máximas precipitações ocorrem entre os meses de dezembro e março com excedente no solo de aproximadamente 110 mm, podendo ser registrados nestes meses, o acúmulo de chuvas de grande intensidade e curta duração, ocasionando uma deficiência hídrica no solo de aproximadamente 40 mm (Mattos et al., 1989).

No período seco as chuvas são de pouca intensidade e causadas por entrada de frentes frias vindas do sul; o período chuvoso é quente com temperaturas em torno de 35°C e o inverno ameno com temperatura em torno de 25°C; a umidade do ar é alta com média anual de 75%, confirmando a quase inexistência de uma estação seca predominante (Mattos et al., 1989). As médias de temperatura e precipitação pluviométrica referentes aos últimos quatro anos, encontram-se na Figura 1.

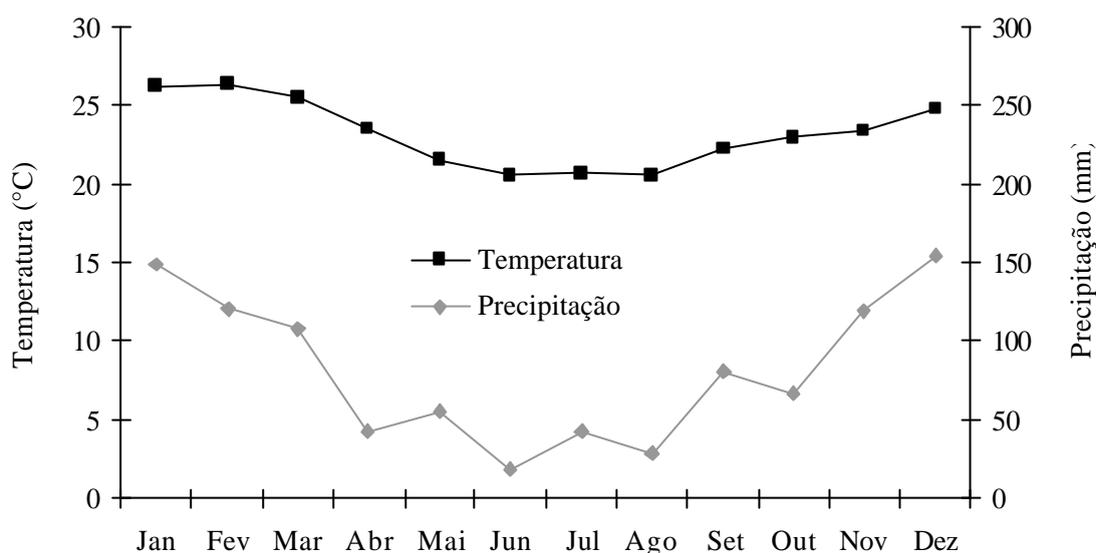


Figura 1. Valores médios de temperatura e precipitação pluviométrica registrados entre 1999 e 2002 na Estação Meteorológica da PESAGRO-Rio, Seropédica, RJ.

3.3. Seleção das Áreas de Pesquisa e Amostragens

No período seco e chuvoso de 2001, caracterizados como inverno e verão, foram retiradas amostras de terra e raízes em 4 áreas de cultivo dentro do SIPA, na pastagem e na copeira, para análises químicas, físicas, extração de esporos de fungos micorrízicos arbusculares e avaliação da colonização radicular por estes fungos. Dentro de cada área, foram escolhidas 2 parcelas com 3 m² cada para representá-la e, dentro de cada parcela, foram feitas divisões de 1 m². No cultivo das fruteiras (maracujá e banana) a parcela de amostragem situou-se em volta do caule ou touceira, respectivamente. Nas áreas de horta, a locação das parcelas foi feita em diferentes pontos dos canteiros enleirados, cultivados com batata-doce, e dos canteiros levantados, cultivados com o consórcio alface/cenoura.

A coleta das amostras de terra, nas parcelas, foi realizada até a profundidade de 15 cm. Fizeram-se coletas em 4 pontos diferentes dentro de cada parcela, o que resultou em quatro amostras simples. Estas foram homogeneizadas para formar uma amostra composta e/ou uma repetição. Então, foram obtidas, desta maneira, 3 repetições para cada parcela amostrada, totalizando no final, 24 amostras compostas por época de amostragem. Para a manutenção da qualidade das amostras, estas foram armazenadas em câmara fria até o momento das avaliações.

Na amostragem de inverno ou período seco, a área cultivada com batata-doce em um PL, encontrava-se com 5 meses de idade e foi representada como área BD1. O cultivo de batata-doce localizada em um AVA, estava com 2 meses e foi definida como BD2. A distância entre as duas áreas foi de 100 m, aproximadamente. A área cultivada com banana prata-manteiga de 3 anos situada em um AVA, foi denominada como BN1 e BN2, com 7 m de distância uma da outra. O cultivo de maracujá de 4 anos de idade, no final do ciclo, localizou-se em um AVA, sendo representado como MC1 e MC2, distante 5 m um do outro. O consórcio cenoura/alface, cultivado em um AVA, foi representado como local CS. Neste consórcio, a cultura da cenoura (CE) encontrava-se com 80 dias. Entretanto, a alface já tinha sido colhida 20 dias antes da amostragem.

Durante a amostragem de verão, ou período chuvoso, a área de cultivo de BD1 tinha 3 meses e estava localizada a 10 m ao leste do local da primeira coleta em um PL. Sete metros acima em uma toposequência, sob um solo de transição (PL/AVA), situou-se o plantio BD2, que se encontrava em um novo ciclo de produção. A banana e o maracujá mantiveram a mesma localização e descrição das áreas, e classes de solo apresentadas na primeira amostragem. Entretanto, o parreiral foi renovado e tinha 3 meses de idade na ocasião desta coleta. A área de consórcio cenoura/alface encontrava-se sucedida com o cultivo de milho nos canteiros, já em fase de enchimento de grãos, em um sistema consórcio/rotação, sendo que esta área recebeu a mesma denominação da primeira amostragem (CS). Na pastagem (PS), foi registrada a ocorrência de algumas plantas invasoras (*Brachiaria* sp, *Emilia sanchifolia* (L.), *Eleusine indica* (L.), *Cynodon dactylon*, *Spermacoce* sp e *Cyperus* sp), o que nos levou a caracterizá-la como "pastagem suja". A floresta secundária remanescente da Mata Atlântica possui aproximadamente 40 anos de idade e, neste trabalho, a denominamos de "capoeira" (CA). Tanto a pastagem como a capoeira, foram localizadas no entorno das áreas de cultivo, já descritas anteriormente.

3.4. Número de Esporos e Colonização Micorrízica

De cada amostra de terra, foram retirados 50 g para extração dos esporos presentes na rizosfera de hortaliças e fruteiras pelo método de peneiramento por via úmida de acordo com Gerdemann & Nicolson (1963). Eles foram separados dos fragmentos por centrifugação em água a 3000 rpm durante 3 minutos e em sacarose (45%) a 2000 rpm por 2 minutos como preconizado por Jenkins (1964). Logo após a extração, os esporos foram transferidos para placas de Petri e contados com auxílio de microscópio estereoscópico (40x). Uma outra parte das amostras foi separada para análise dos atributos químicos e mineralógicos, utilizando-se a metodologia descrita pela Embrapa (1979).

As raízes coletadas na rizosfera das hortaliças e fruteiras foram separadas do solo, lavadas e armazenadas em álcool 50% até o momento da avaliação da colonização micorrízica. Para determinar-se a porcentagem de colonização, as raízes foram coradas, seguindo o protocolo descrito por Grace & Sribley (1991) e Koske & Gemma (1989). A avaliação da porcentagem de colonização foi feita pelo método de interseção de quadrantes conforme preconizado por Giovannetti & Mosse (1980).

A identificação da população indígena dos FMA foi realizada com auxílio de microscópio óptico de luz através da morfologia de esporos observados em lâminas com PVLG (álcool-polivinílico-lactoglicerol), comparados com a descrição das espécies em Schenk & Pérez (1988), e com auxílio da página da International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM, 2001).

3.5. Porção Ativa da População de FMA

Para se caracterizar a diversidade de FMA ativos, isto é, que estão colonizando raízes, foi realizado um bioensaio. Neste procedimento, utilizam-se plantas isca que germinam em solo inóculo, isto é, em amostras de terra oriundas de solo o qual espera-se determinar a diversidade ativa (Gravina, 1998). Ao longo do tempo, amostras de raízes são retiradas, sua colonização determinada e a planta-isca, replantada. Quando a planta isca atinge a maturidade fisiológica, amostras de terra são coletadas para identificação da população de FMA, que representa a diversidade ativa.



Figura 2. Vista parcial do experimento montado com solo inóculo e sorgo para determinação da porção ativa de FMA.

Os inóculos de FMA contidos nas amostras de terra coletadas nos sistemas de cultivo foram multiplicados em plantas de sorgo (*Shorgum bicolor* (L.) Moench) cv. BR 005, utilizadas neste experimento como planta isca, em casa de vegetação, em delineamento experimental inteiramente casualizado, utilizando-se 3 repetições. O monitoramento foi desenvolvido em duas fases. Na primeira, o sorgo foi germinado e crescido em copos plásticos de 200 ml contendo apenas solo inóculo. Na segunda, as plântulas de sorgo crescidas durante a primeira fase, já com as raízes colonizadas, foram transplantadas para copos plásticos de 750 ml, contendo substrato estéril dos mesmos locais de amostragem. Este substrato foi previamente seco à sombra, peneirado e depois misturado com areia lavada na proporção de 1:1, sendo adicionados 0,65 g de fosfato de rocha em cada 3 kg de substrato. A mistura foi autoclavada por duas vezes a 120°C e pressão de 1,5 kg/cm³ por 1 hora, em dias alternados.

Foram feitos 3 transplantes com as plântulas de sorgo já pré-estabelecidas. O primeiro foi feito 7 dias após a emergência, o segundo aos 21 dias e o terceiro aos 28 dias. As plântulas foram cuidadosamente retiradas dos copos de 200 ml, lavadas para retirar as partículas de solo aderidas, transplantando-se duas plântulas para cada pote de 750 ml e desenvolvidas por 90 dias. Logo após, o substrato contido nos potes de 750 ml, utilizado para a multiplicação dos fungos, foi colhido e armazenado em câmara fria até o momento da identificação das espécies da população ativa de FMA nas áreas de cultivo.

A capacidade de infecção das raízes do sorgo pelos FMA foi avaliada quanto à presença ou ausência de esporos no substrato de crescimento. A identificação das espécies foi feita de acordo com a metodologia descrita anteriormente. As espécies foram classificadas de acordo com o tempo gasto para promover a infecção radicular do sorgo, sendo consideradas rápidas aquelas que infectaram até 7 dias após a emergência do sorgo, moderada, as que infectaram até 21 dias e lenta até 28 dias.

A riqueza de espécies foi determinada pelo número de espécies recuperadas em 50 g de solo seco de cada área amostrada. A frequência relativa de ocorrência de cada espécie foi avaliada pela equação:

$$FR = (X_A \times Y_A^{-1}) \times 100$$

Onde: X_A corresponde ao número de amostras em que cada espécie de FMA foi encontrada e, Y_A , o número total de amostras coletadas para identificação das espécies micorrízicas.

3.6. Análise dos Dados

Os resultados encontrados foram normais pelo teste W de Shapiro Wilk. Procederam-se análises de variâncias e, quanto F foi significativo, aplicou-se o teste de Student-Newman-Keuls a 1% e 5% de probabilidade para comparações múltiplas das médias. Correlações de Pearson (r) também foram aplicadas. Os dados foram analisados com auxílio do programa SISVAR, versão 4.3 (Ferreira, 2003). Construiu-se um dendrograma a partir da análise de agrupamento (Cluster Analysis), pelo programa "Statistica for Windows, versão 5.5" (StatSoft, Inc.,2000), para avaliar a similaridade entre os sistemas de cultivo em função da distribuição das espécies de FMA.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Propriedades dos Solos

Algumas propriedades referentes à fertilidade dos solos variaram com o manejo e com a época de amostragem (Tabela 1). Os solos apresentaram valores de Al^{3+} igual a zero, tanto na estação seca quanto na chuvosa, valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} acima da média de solos submetidos a sistema de cultivo convencional. Os valores de pH não variaram entre as áreas, situando-se numa faixa próxima a neutralidade. Portanto, pode-se deduzir que, a acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), que foi baixa, não interferiu na colonização micorrízica, pois esta ocorreu naturalmente na rizosfera das culturas. Para Habte (1995), a acidificação do solo é um importante fator de regulação da germinação dos esporos e pode, em parte, explicar o nível de distribuição dos FMA em diferentes solos.

Pode-se discutir que a produtividade em alguns solos é incrementada como resultado da disponibilidade de nutrientes, no mínimo para o fósforo. No solo, os cátions advindos da matéria orgânica em transformação, tendem a substituir os íons hidrogênio, após a ocorrência de precipitações, variações de temperatura no solo, improvisando a saturação de bases e aumentando o pH.

Aumentos significativos dos valores de P foram verificados no período chuvoso em relação aos encontrados no período seco, mostrando que a maior umidade, associada a uma maior mineralização da matéria orgânica pode ter sido o fator de elevação dos valores de P em ambos os solos avaliados. De modo geral, os solos sob diferentes cultivos, apresentaram boa distribuição dos nutrientes, tanto na estação seca quanto na chuvosa. Sugerindo que esta condição foi influenciada pelo grande aporte de resíduos orgânicos de origem vegetal e animal, por ocasião do cultivo das culturas anuais e quando ocorreu a necessidade de adubação de manutenção das culturas perenes.

4.2. Colonização Micorrízica

A colonização micorrízica (CM) variou entre os cultivos, sendo maior nas áreas cultivadas com batata-doce (BD1 e BD2, respectivamente). Essa tendência foi verificada para o desdobramento dos sistemas de cultivo dentro das estações do ano (Figura 3). Provavelmente, isto se deve ao melhor aproveitamento da adubação orgânica, que melhoraram as condições químicas para o desenvolvimento de tubérculos e raízes, consecutivamente, associação com os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), uma vez que esta cultura apresenta forte dependência a estes fungos, que influenciam na sua produção (Espindola et al., 1998). A estação chuvosa pareceu induzir maior CM no cultivo de BD1 e BD2, e banana (BN1 e BN2). Mesmo assim, diferenças significativas só não foram verificadas na interação das épocas no cultivo de BD1. Em condições controladas, mudas de bananeira inoculadas com uma mistura de espécies de FMA obtiveram ganhos significativos em altura e diâmetro em comparação ao controle (Matos, 1995), indicando também ser uma cultura sensível à presença dos FMA.

Tabela 1 Características dos solos PL, AVA e PL/AVA, sob diferentes sistemas de cultivo de hortaliças e fruteiras no SIPA.

Propriedades	Áreas de cultivo								
	BD1	BD2	BN1	BN2	MC1	MC2	CS	CE	
Período seco									
CTC (cmol/dm ³)	4,8 d	6,9 bcd	9,6 a	7,7 abc	9,0 ab	7,6 abc	7,6 abc	6,6 cd	
Ca+Mg (cmol/dm ³)	3,6 b	5,1 ab	6,7 a	6,2 a	6,8 a	5,9 a	6,9 a	5,7 a	
Ca (cmol/dm ³)	2,5 d	3,6 cd	4,8 ab	4,4 abc	5,1 a	4,3 abc	4,6 abc	3,8 abc	
Mg (cmol/dm ³)	1,0 b	1,5 ab	1,8 ab	1,8 ab	1,8 ab	1,6 ab	2,2 a	1,9 a	
Al (cmol/dm ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	
H+Al (cmol/dm ³)	0,9 c	1,5 b	2,4 a	0,9 c	1,5 b	1,2 bc	0,2 d	0,2 d	
Na (cmol/dm ³)	0,01 d	0,01 cd	0,01 cd	0,02 bc	0,01 d	0,01 d	0,03 a	0,02 ab	
P (mg/dm ³)	0,6 b	0,3 b	0,6 b	0,6 b	3,5 a	2,5 ab	1,5 ab	1,3 ab	
K (mg/dm ³)	0,4 ab	0,3 b	0,5 ab	0,6 ab	0,6 ab	0,5 ab	0,6 ab	0,7 a	
Areia (%)	84,3 a	68,7 bc	59,0 e	69,3 bc	67 cd	71,3 b	65,0 c	60,0 e	
Silte (%)	3,7 b	6,3 ab	9,3 a	7,7 a	7,0 ab	7,3 ab	9,0 a	8,3 a	
Argila (%)	12,0 d	25,0 b	31,7 a	23 bc	26 b	21,3 c	26,0 b	31,7 a	
V (%)	80,7 cd	77,3 de	73,7 e	88,3 b	83 bcd	83,7 bc	97,3 a	96,7 a	
CO (%)	0,6 c	0,9 b	1,1 a	1,1 ab	1,1 a	1,0 ab	1,1 ab	0,9 ab	
pH (H ₂ O)	5,6 cd	5,6 cd	5,3 d	6,2 b	5,9 bc	5,8 bc	7,0 a	7,0 a	
Período chuvoso									
CTC (cmol/dm ³)	8,1 abc	7,8 abc	7,4 abc	7,3 bc	9,8 a	9,5 ab	5,8 c	6,5 c	
Ca+Mg (cmol/dm ³)	6,8 abc	6,0 abc	4,9 c	6,3 abc	7,4 ab	7,7 a	5,2 bc	5,9 abc	
Ca (cmol/dm ³)	5,1 ab	4,2 abc	3,4 c	4,7 abc	5,1 ab	5,5 a	3,6 bc	3,9 bc	
Mg (cmol/dm ³)	1,7 a	1,8 a	1,5 a	1,6 a	2,3 a	2,2 a	1,6 a	2,0 a	
Al (cmol/dm ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	
H+Al (cmol/dm ³)	0,9 de	1,5 bc	2,4 a	0,7 e	1,6 b	1,2 cd	0,2 f	0,1 f	
Na (cmol/dm ³)	0,01 bc	0,01 bc	0,01 bc	0,02 ab	0,01 c	0,01 c	0,03 a	0,03 a	
P (mg/dm ³)	5,4 a	2,5 a	1,4 A	3,5 a	3,5 a	4,8 a	2,0 a	2,7 a	
K (mg/dm ³)	0,4 bc	0,3 bc	0,2 C	0,3 c	0,8 a	0,6 ab	0,4 bc	0,5 bc	
Areia (%)	80,7 a	67,3 bc	60 D	67,3 bc	64,7 bcd	70 b	64,7 bc	62,3 bc	
Silte (%)	13,7 d	26,7 abc	31,3 A	24,7 bc	27,7 ab	22 c	25,3 bc	27,7 ab	
Argila (%)	5,7 b	6,0 b	8,7 Ab	7,7 ab	7,7 ab	8,0 ab	10,0 a	10,0 a	
V (%)	88,3 cd	81 e	67 F	90 bc	82 de	87 cde	96,7 ab	97 a	
CO (%)	0,89 b	0,95 ab	0,96 Ab	0,91 b	1,2 a	1,1 ab	0,92 b	0,94 b	
pH (H ₂ O)	7,0 a	6,5 ab	5,0 C	5,9 b	6,1 b	6,0 b	6,0 b	6,5 ab	

BD1 e BD2: batata-doce; BN1 e BN2: banana; MC1 e MC2: maracujá; CS: consórcio; CE: cenoura; V: saturação por bases; CO: carbono orgânico. P extraído em Mehlich-1. Médias seguidas de mesmas letras nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de Student-Newman-Keuls a 0,01%.

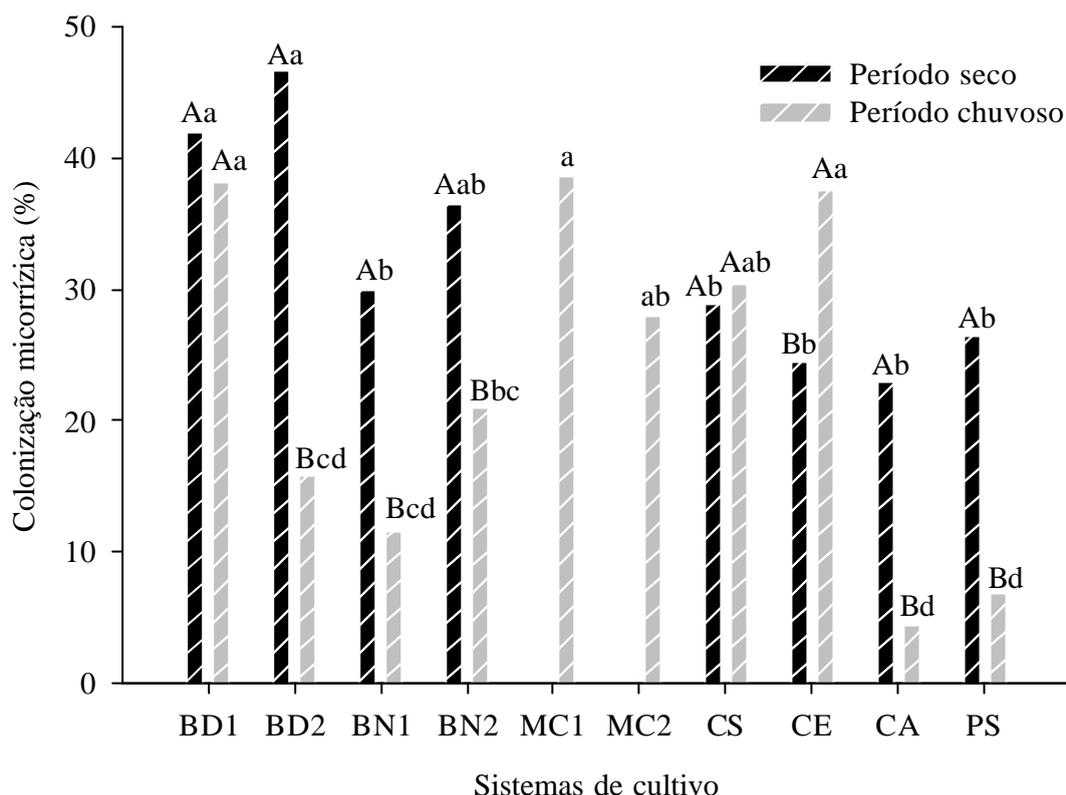


Figura 3. Porcentagem de colonização micorrízica de plantas hortaliças e fruteiras, avaliada em duas estações do ano. BD1 e BD2: batata-doce; BN1 e BN2: banana; MC1 e MC2: maracujá; CS: consórcio; CE: cenoura; CA: capoeira; PS: pasto. Médias seguidas de mesmas letras nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5%. Letras maiúsculas são utilizadas para comparar as médias dos dois períodos do ano em cada sistema de cultivo. Letras minúsculas são utilizadas para comparar as médias dos diferentes sistemas de cultivo. Foram utilizadas médias de 3 repetições.

Com relação às áreas cultivadas com maracujá (MC1 e MC2), não foi possível registrar a CM no período das chuvas, porque na época de amostragem o parreiral estava sendo renovado para a continuação do cultivo desta fruteira, sendo possível a avaliação apenas no período seco. Mesmo assim, não foi verificada diferença significativa entre os valores de CM. Os valores de CM não diferiram no cultivo consorciado de cenoura e alface (CS), entre as épocas, e nem mesmo quando comparados com os valores de CM no cultivo de cenoura solteira (CE). Esta cultura por sua vez, apresentou significativa CM na época seca em relação à época de maior precipitação. Esta condição pode ter ocorrido em função de uma maior associação com os FMA, quando da menor ocorrência de precipitação. Assim, esta cultura pode ter desenvolvido alguma habilidade como a emissão de maior volume de raízes finas para o aproveitamento da água e nutrientes. Em consequência disto, os fungos podem ter aumentado a CM destas raízes.

Os sistemas capoeira (CA) e pasto (PS), apresentaram os menores valores de CM em relação a todas as áreas de cultivo orgânico, durante a estação seca. Mesmo assim, os valores não passaram de 25% em média, na ocasião de maior precipitação. Considerando-se que as áreas de cultivo receberam adubações fosfatadas e aumentaram significativamente a CM em relação a CA e PS, pode-se inferir que a presença do

fósforo, em baixas concentrações (Tabela 1), foi um dos fatores determinantes para tais resultados. Uma vez que esse elemento é reportado como um redutor da CM quando em altas concentrações no solo (Ortas et al., 1996; Balota & Lopes, 1996; Graham et al., 1997).

A interação entre o manejo do solo e a cobertura vegetal associada a variações climáticas durante as diferentes épocas do ano, principalmente em regiões subtropicais, onde as estações são bem definidas, faz com que ocorra uma flutuação sazonal no desenvolvimento microbiano, sendo mais evidente na camada superficial do solo, onde existem maiores oscilações de umidade e temperatura (Alvarenga et al., 1999). Esses efeitos são mais acentuados em solos cultivados com espécies anuais, provavelmente devido ao maior aporte de nutrientes e maior variação na cobertura vegetal dos solos (Cattelan & Vidor, 1990a). O que confirma os resultados observados nas áreas de cultivo BD1 e BD2, que constantemente foram submetidas a rotações com outras culturas. Em geral, todas as hortaliças e fruteiras encontraram-se colonizadas pelos FMA indígenas durante as duas épocas de amostragens, sinalizando para a existência de uma população micorrízica mais adaptada ao manejo orgânico.

4.3. Abundância de Esporos e Espécies de FMA

Nos ambientes rizosféricos, em geral, não ocorreram variações significativas no número de esporos, exceto a área cultivada com BD2, onde a esporulação foi cerca de cinco vezes maior (1403 esporos/50 g de solo), que as demais durante o período seco (Figura 4). Entretanto, quando as condições do solo são favoráveis para a germinação de esporos, a colonização micorrízica aumenta, conseqüentemente, a abundância destes esporos sofre redução nos solos agrícolas (Ragupathy & Mahadevan, 1993). A condição observada em BD2 indica que o preparo da área para um novo ciclo de produção desta cultura, com revolvimento mecanizado, pode ter elevado o número de esporos no solo ao expô-lo a distúrbios. Sabe-se que algum nível de perturbação é necessário para que a diversidade seja expressa em sua máxima plenitude (Odum, 1998). Tal fenômeno pode, portanto explicar os resultados obtidos, ficando evidente o efeito do manejo na esporulação dos FMA. Por outro lado, o fato de não ter ocorrido efeito das condições climáticas sobre a população de esporos, pode estar relacionado, principalmente, ao tempo de duração do ciclo das hortaliças e fruteiras, distribuição do sistema radicular e práticas de manejo adotado. A forma de distribuição do sistema radicular das culturas, associada à disponibilidade de nutrientes no solo, pode afetar a abundância e colonização dos FMA em diferentes condições climáticas (Allen et al., 1998). Com base nos resultados, pode-se sugerir que uma maior frequência de amostragens em pequenos intervalos de estiagem e precipitação, pode tornar mais evidente o efeito sazonal sobre esporulação de FMA no solo.

Flutuações sazonais influenciaram a dinâmica da micorriza nos sistemas cultivados. Foram identificadas 27 espécies de FMA na rizosfera das hortaliças e fruteiras (Tabela 2). A maior ocorrência foi dos gêneros *Acaulospora* e *Glomus* (Figura 5), em faixas de pH variando entre 5,3 a 7,3 (Tabela 1).

As espécies diferiram quanto à frequência de ocorrência (FO), nos áreas cultivadas e não foram comuns a todas elas, exceto *Acaulospora mellea*, *Entrophospora colombiana*, *Glomus etunicatum* e *Glomus macrocarpum*, que dominaram em praticamente todas as áreas de cultivo e nas áreas referências, Ca e PS, tanto no período seco quanto no chuvoso. Estas espécies foram recuperadas independentemente das classes solos. Portanto, além de formarem um grupo abundante, apresentam potencial adaptativo ao cultivo orgânico de hortaliças e fruteiras.

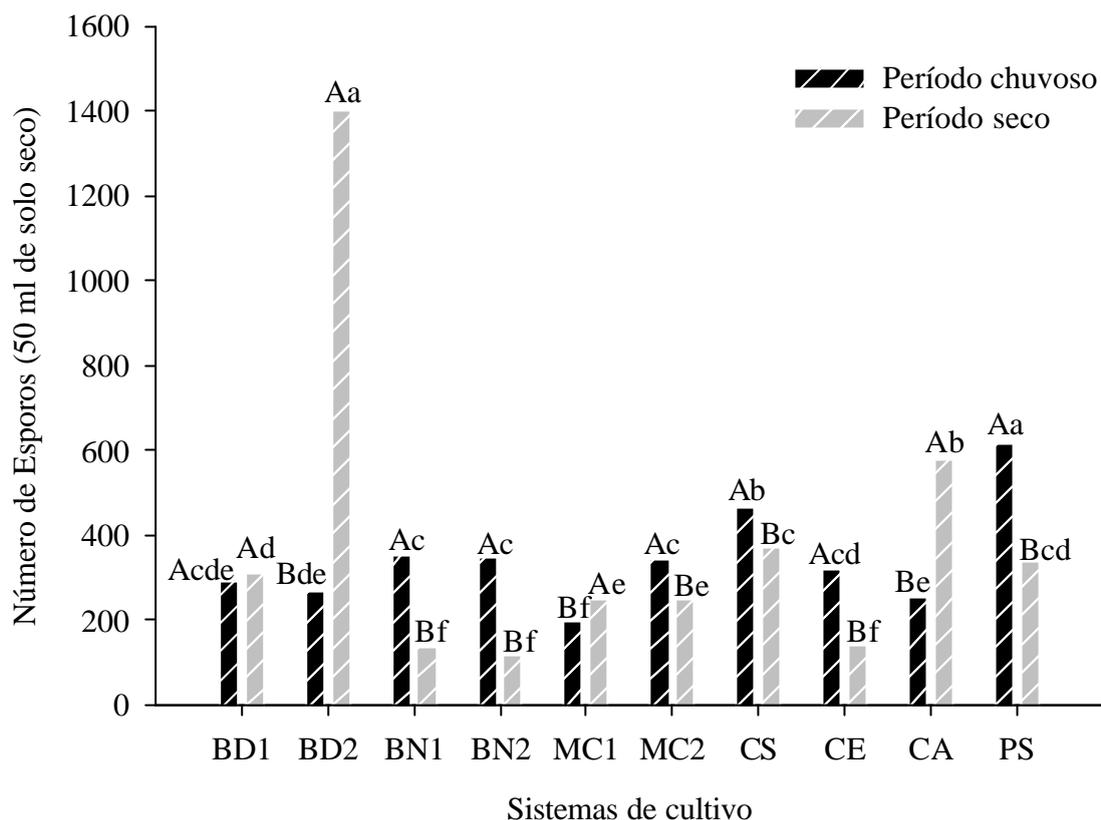


Figura 4. Número de esporos de solo rizosférico cultivado com plantas hortaliças e fruteiras, avaliada em duas estações do ano. BD1 e BD2: batata-doce; BN1 e BN2: banana; MC1 e MC2: maracujá; CS: consórcio; CE: cenoura; CA: capoeira; PS: pasto. Médias seguidas de mesma letra nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de Student-Newman-Keuls a 0,05%. Letras maiúsculas são utilizadas para comparar as médias dos dois períodos do ano em cada sistema de cultivo. Letras minúsculas são utilizadas para comparar as médias dos diferentes sistemas de cultivo. Foram utilizadas médias de 3 repetições.

Dentre as espécies predominantes, *G. macrocarpum* apresentou a maior FO (100%). Esta espécie por sua vez, foi comum a todas áreas cultivadas, parecendo não ser afetada pela sazonalidade. Diferenças na ontogenia e morfologia (cor, tamanho, estrutura e espessura das paredes) podem ter contribuído para a multiplicação de espécies como *G. macrocarpum*. Esporos pequenos podem ser carregados pela a água das chuvas, para as camadas mais profundas do solo, ficando assim protegidos do ataque de parasitas e predadores que ocupam as camadas mais superficiais do solo, onde ocorre maior deposição de matéria orgânica. Esporos formados apicalmente em uma hifa esporígena (*Glomus*, *Gigaspora* e *Scutellospora*) apresentam, desde o início de sua formação, parede mais espessada e resistente que aqueles formados a partir de vesículas (*Acaulospora* e *Entrophospora*). Além disso, o tempo de germinação, formação de hifas e infecção são características importantes no processo de competição. Assim, *G. macrocarpum* pode apresentar maior resistência ao ataque de microrganismos e predadores, e também aos estresses edáficos, e persistir no solo. Com estas características, pode re-infectar raízes com o passar de tempo, se outras espécies não se estabelecerem, *G. macrocarpum* pode tornar-se dominante nos sistemas (Carrenho et al., 2001).

Apenas a espécies *Acaulospora longula* e *Acaulospora tuberculata* apresentaram FO intermediária (45%), especificamente na estação seca. A maioria das espécies ocorreu de forma esporádica, apontando para a formação de um grupo raro, que pôde ser confirmado pela baixa frequência de ocorrência nas áreas (entre 5 e 10%). Espécies raras ou de baixa FO podem estar presentes no ambiente na forma de células auxiliares, hifas, raízes colonizadas, ou aparecerem como vestígio de uma comunidade pré-estabelecida em planta de ciclo-de-vida curto, ou ainda terem sido produzidas nas proximidades e dispersadas sem obterem êxito na ocupação do novo ambiente (Carrenho et al., 2001).

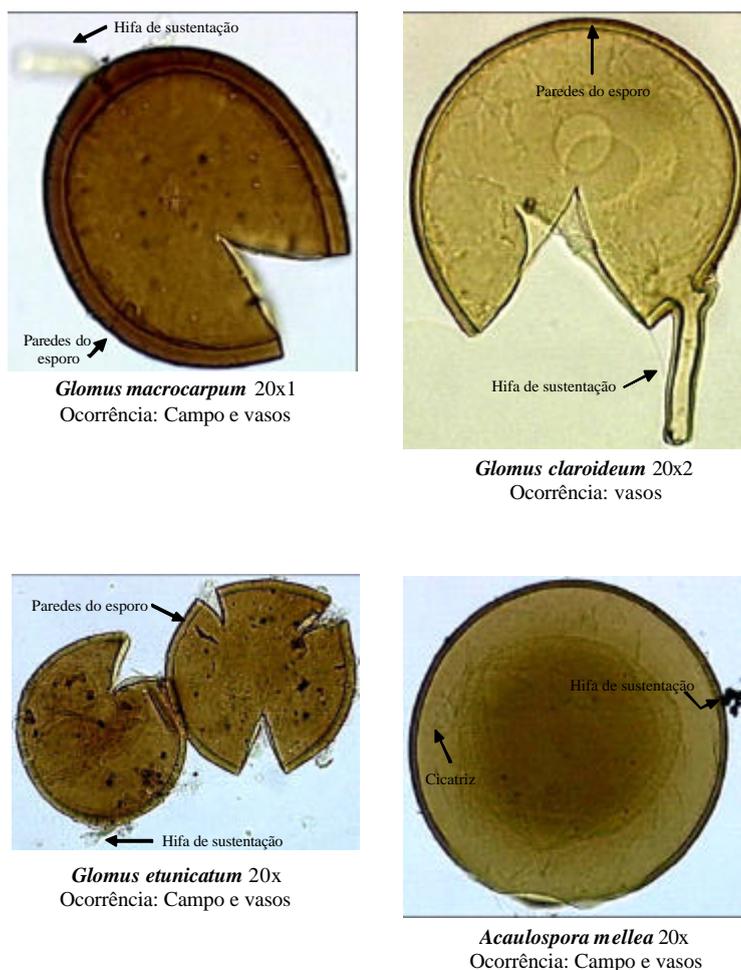


Figura 5. Espécies micorrízicas nativas de maior ocorrência na rizosfera de hortaliças e fruteiras sob cultivo orgânico no SIPA.

Nos dois períodos de amostragem verificou-se uma maior riqueza de espécies no cultivo BN1, apontando para uma maior estabilidade desta área, que pode ter sido ocasionada pelo pousio a qual é submetida. Esta condição pode ter sido favorável a maior presença de espécies micorrízicas em relação às outras áreas de maior movimentação do solo, como as de BD1, BD2, CS e CE. Ao passo que a aplicação do manejo orgânico, associado a práticas conservacionistas do solo, afeta positivamente a abundância e frequência de FMA (Vejsadova, 1992).

O fato das áreas referência, CA e PS terem apresentado, em geral, o mesmo número de espécies que as áreas de cultivo orgânico, indica que muitas espécies não

foram recuperadas durante as épocas de amostragens, já que nestas áreas deveria ocorrer menor número de espécies de FMA que na CA e no PS, que têm maior estabilidade, presença constante de hospedeiros e ausência de variações bruscas na fertilidade do solo.

4.4. Porção Ativa da População de FMA

Foram recuperadas 18 espécies de FMA da população total existente nos áreas de cultivo, em plantas de sorgo, em casa de vegetação. Verificou-se que algumas espécies apresentaram rápida infecção desta planta (Tabela 3). *A. mellea*, *G. claroideum*, *G. etunicatum*, *G. macrocarpum* foram as espécies que multiplicaram em maior frequência nos vasos de cultivo e apresentaram rápido grau de colonização das raízes de sorgo, a partir de sete dias após a emergência das plântulas.

A. mellea, *G. claroideum*, *G. etunicatum* e *G. macrocarpum* infectaram as raízes do sorgo, a partir dos sete dias de exposição ao solo inóculo proveniente da área de BD2. Entretanto, apenas *G. etunicatum* infectou as raízes de sorgo nos diferentes períodos de avaliação e tempo de exposição.

No solo inóculo de BD1, apenas *A. mellea* e *G. etunicatum* ocorreram. Esta última espécie apresentou FO de 100%, nos vasos, mostrando ser indiferente às condições climáticas e ao tempo de exposição das raízes de sorgo. Já a primeira espécie, apresentou FO intermediária (50%).

Com exceção de *G. macrocarpum* e *A. mellea*, as demais espécies de *Glomus* apresentaram tendência de redução da FO nos tratamentos com inóculos originários das áreas de cultivo BN1 e BN2, tanto no período seco, quanto no chuvoso. Nos solos inóculos oriundos de MC1 e MC2, *A. mellea* e *G. macrocarpum* apresentaram rápida infecção de raízes de sorgo e máxima FO (100%).

G. claroideum, *G. etunicatum* e *G. macrocarpum* apresentaram alta FO, nos vasos com inóculos do CS e CE. Entretanto, *G. macrocarpum* infectou apenas as raízes de sorgo com inóculos provindos da CE. Nota-se, o surgimento da espécie *G. aggregatum*, com significativa FO nos tratamentos CS e CE. Porém, não ocorreu mais em nenhuma das outras áreas. Indicando ser uma espécie rara e/ou que apresenta esporos velhos (fisiologicamente), não sendo boa competidora.

Nos inóculos provenientes das áreas de CA e PS, encontrou-se maior diversidade de FMA (15 espécies), infectando as raízes de sorgo. Notadamente, apenas *G. macrocarpum*, *G. etunicatum* e *Scutellospora calospora* guardaram maior FO. As demais espécies apresentaram FO de média a baixa. A espécie *S. calospora* só foi encontrada nos inóculos oriundos do PS, não sendo encontrada nas demais áreas avaliadas. Fato semelhante ao ocorrido com *G. aggregatum*, discutido anteriormente. Pode-se sugerir que *G. aggregatum* e *S. calospora*, assim como as outras espécies que infectaram ocasionalmente as raízes do sorgo, apresentam baixo número de propágulos infectivos no solo. Em consequência disto, podem apresentar baixa probabilidade de colonizar novo ambiente, ou quando ele sofre perturbação.

A maior riqueza de espécie de FMA ocorreu no tratamento com solo inóculo proveniente do PS (12 espécies), mesmo sob pastejo contínuo. Pode-se deduzir que a grande densidade do sistema radicular do PS, associado a uma intensa liberação de exsudados (Rovira, 1978), favoreceram maior diversidade destas espécies. Já nas áreas de cultivo orgânico, os valores de riqueza de espécie foram similares, com exceção do tratamento com solo inóculo de BD1, onde foram encontradas apenas 2 espécies.

As espécies que não foram recuperadas nos vasos, como por exemplo, *Entrophospora colombiana*, comum nas amostras de campo, poderiam estar

apresentando esporos dormentes ou terem sido injuriados por ocasião do preparo do solo-substrato, utilizado nos vasos de multiplicação.

Tabela 2. Diversidade de espécies de FMA recuperados em solo rizoférico de hortaliças e fruteiras no SIPA.

Espécies de FMA	FO	Sistemas de cultivo																							
		BD1		BD2		BN1		BN2		MC1		MC2		CS		CE		CA		PS					
		s	c	s	c	s	c	s	c	s	c	s	c	s	c	s	c	s	c	s	c	s	c		
<i>Acaulospora foveata</i> Trappe & Gerd.	20	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>A. longula</i> Spain & Schenck	45	-	-	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+		
<i>A. mellea</i> Spain & Schenck	85	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-		
<i>A. scrobiculata</i> Trappe	15	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-		
<i>A. tuberculata</i> Janos & Trappe	45	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-		
<i>A. laevis</i> Gerdemann & Trappe	25	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-		
<i>A. lacunosa</i> Morton	15	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>A. spinosa</i> Walker & Trappe	5	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>A. apendicula</i> Spain, Sieverding & Schenk	5	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>A. denticulata</i> Sieverding & Toro	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-		
<i>A. rehmsii</i> Sieverding & Toro	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Archaeospora gerdemannii</i> Morton	30	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Archaeospora leptoticha</i> Morton	20	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+		
<i>Entrophosphora colombiana</i> Spain & Schenk	80	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	+		
<i>Entrophosphora infrequens</i> (Hall) Ames & Schneider	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-		
<i>Glomus etunicatum</i> Becker & Gerd.	95	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+		
<i>G. macrocarpum</i> Tul. & Tul.	100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
<i>G. geosporum</i> (Nicol. & Gerd.) Walker	10	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>G. glomerulatum</i> Sieverding	5	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>G. caledonium</i> Nicolson & Gerdemann	15	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-		
<i>G. formosanum</i> Wu & Chen	5	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>G. magnicaule</i> Hall	5	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Glomus</i> sp1	30	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-		
<i>Glomus</i> sp2	30	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-		
<i>Gigaspora margarita</i> Becker & Hall	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-		
<i>Paraglomus occultum</i> Walker	20	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-		
<i>Scutellospora heterogama</i> (Nicol. & Gerd.) Walker & Sanders	10	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-		
RQ		8	10	14	9	10	9	8	13	10	8														

FO: Frequência de ocorrência de espécies (%); RQ: riqueza de espécies; BD1 e BD2: batata-doce; BN1 e BN2: banana; MC1 e MC2: maracujá; CS: consórcio; CE: cenoura; CA: capoeira; PS: pasto; (s): período seco; (c): período chuvoso; (+): presença de esporos; (-): ausência de esporos. Utilizaram-se 3 repetições por amostragem.

Com base nos dados encontrados, pode-se sugerir que as espécies de FMA que infectaram em um curto espaço de tempo as raízes do sorgo e foram indiferentes a sazonalidade e ao tempo de exposição destas raízes aos solos inóculos, representam a porção ativa da população de FMA nos solos rizoféricos das hortaliças e fruteiras.

Tabela 3. Capacidade infectiva, frequência de ocorrência e riqueza de espécies de FMA após diferentes tempos de exposição em dias aos solos inóculos, oriundos de áreas cultivadas com hortaliças e fruteiras.

Espécies de FMA	Capacidade Infectiva													
	FR	R ₁	R ₂	M ₁	M ₂	L ₁	L ₂	FR	R ₁	R ₂	M ₁	M ₂	L ₁	L ₂
	BD1							BD2						
<i>A. mellea</i>	50	-	-	+	+	+	-	100	+	+	+	+	+	+
<i>G. aggregatum</i>	0	-	-	-	-	-	-	16,7	-	-	-	-	-	+
<i>G. claroideum</i>	0	-	-	-	-	-	-	83,3	+	+	+	+	-	+
<i>G. etunicatum</i>	100	+	+	+	+	+	+	100	+	+	+	+	+	+
<i>G. geosporum</i>	0	-	-	-	-	-	-	33,3	-	-	+	+	-	-
<i>G. macrocarpum</i>	0	-	-	-	-	-	-	66,7	+	+	+	+	-	-
RQ				2							6			
	BN1							BN2						
<i>A. mellea</i>	66,7	-	-	+	+	+	+	83,3	+	+	+	-	+	+
<i>G. claroideum</i>	66,7	+	+	+	+	-	-	0	-	-	-	-	-	-
<i>G. etunicatum</i>	50	-	+	+	+	-	-	33,3	-	-	+	+	-	-
<i>G. macrocarpum</i>	100	+	+	+	+	+	+	100	+	+	+	+	+	+
<i>G. cf. microaggregatum</i>	0	-	-	-	-	-	-	16,7	-	-	+	-	-	-
RQ				4							4			
	MC1							MC2						
<i>A. mellea</i>	100	+	+	+	+	+	+	100	+	+	+	+	+	+
<i>A. tuberculata</i>	33,3	+	+	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
<i>G. claroideum</i>	66,7	+	+	+	+	-	-	50	-	-	-	+	+	+
<i>G. etunicatum</i>	83,3	+	+	+	+	+	-	83,3	+	-	+	+	+	+
<i>G. geosporum</i>	0	-	-	-	-	-	-	16,7	-	-	+	-	-	-
<i>G. macrocarpum</i>	100	+	+	+	+	+	+	100	-	-	+	+	+	+
RQ				5							5			
	CS							CE						
<i>A. mellea</i>	33,3	-	-	-	+	+	+	16,7	-	-	-	-	+	-
<i>G. aggregatum</i>	66,7	+	+	+	+	-	-	0	-	-	-	-	-	-
<i>G. claroideum</i>	83,3	+	+	-	+	+	+	66,7	-	-	+	+	+	+
<i>G. etunicatum</i>	66,7	+	+	-	-	+	+	66,7	+	+	-	-	+	+
<i>G. geosporum</i>	0	-	-	-	-	-	-	33,3	-	-	+	+	-	-
<i>G. macrocarpum</i>	0	-	-	-	-	-	-	83,3	-	+	+	+	+	+
<i>G. aff. versiforme</i>	16,7	-	-	+	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
RQ				5							5			
	CA							PS						
<i>A. mellea</i>	0	-	-	-	-	-	-	33,3	-	-	-	-	+	+
<i>A. aff. nicolsonii</i>	16,7	+	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
<i>A. leptoticha</i>	0	-	-	-	-	-	-	33,3	+	+	-	-	-	-
<i>G. aggregatum</i>	33,3	-	-	-	-	+	+	16,7	-	-	-	-	+	-
<i>G. claroideum</i>	33,3	-	-	-	-	+	+	0	-	-	-	-	-	-
<i>G. etunicatum</i>	66,7	-	-	+	+	+	+	66,7	+	+	+	+	-	-
<i>G. geosporum</i>	33,3	-	-	+	+	-	-	33,3	-	-	+	+	-	-
<i>G. glomerulatum</i>	0	-	-	-	-	-	-	33,3	+	+	-	-	-	-
<i>G. heterosporum</i>	0	-	-	-	-	-	-	16,7	+	-	-	-	-	-
<i>G. macrocarpum</i>	66,7	+	+	-	-	+	+	0	-	-	-	-	-	-
<i>G. cf. microaggregatum</i>	0	-	-	-	-	-	-	16,7	+	-	-	-	-	-
<i>G. spurcum</i>	0	-	-	-	-	-	-	50	+	+	-	-	+	-
<i>G. tortuosum</i>	0	-	-	-	-	-	-	33,3	+	+	-	-	-	-
<i>S. calospora</i>	0	-	-	-	-	-	-	83,3	+	+	-	+	+	+
<i>S. heterogama</i>	0	-	-	-	-	-	-	50	+	+	+	-	-	-
RQ				6							12			

Frequência de ocorrência de espécies (%); RQ: riqueza de espécies; R1: infecção rápida no período seco (7 dias); R2: infecção rápida no período chuvoso (7 dias); M1: infecção moderada no período seco (21 dias); M2: infecção moderada no período chuvoso (21 dias); L1: infecção lenta no período seco (28 dias); M2: infecção lenta no período chuvoso (28 dias); BD1 e BD2: batata-doce; BN1 e BN2: banana; MC1 e MC2: maracujá; CS: consórcio; CE: cenoura; CA: capoeira; PS: pasto; (+): presença de infecção; (-): ausência de infecção. Utilizaram-se 3 repetições por cada tempo de exposição.

4.5. Agrupamento das Áreas de Cultivo em Função da Distribuição dos FMA

Baseado na análise de agrupamentos foi possível comparar os sistemas de cultivo orgânico, utilizando número de esporos das espécies micorrízicas recuperadas em vasos, (Figura 6). A avaliação foi feita através da presença e ausência de esporos nos vasos de multiplicação. MC1, BN1 e BD2 apresentaram 90% de similaridade. Esta forte aproximação pode, em parte, ser explicada pela presença de espécies que apresentaram baixa frequência de ocorrência (FO) e que formaram um grupo raro nas áreas de cultivo como, *Acaulospora aaf. nicolsonii*, *A. tuberculata*, *Glomus cf. microaggregatum*, *G. aff. versiforme*, *Scutellospora calospora*, etc. (Tabela 3). CA e PS apresentaram 60 e 100% de dissimilaridade. Portanto, não formaram agrupamento com as áreas cultivadas. É possível que estes sistemas, por apresentarem particularidades como a diversidade da cobertura vegetal, no caso da CA e pressão de pastejo contínuo, associado ao pisoteio do gado no PS, distingam a população de FMA em relação às áreas de cultivo orgânico.

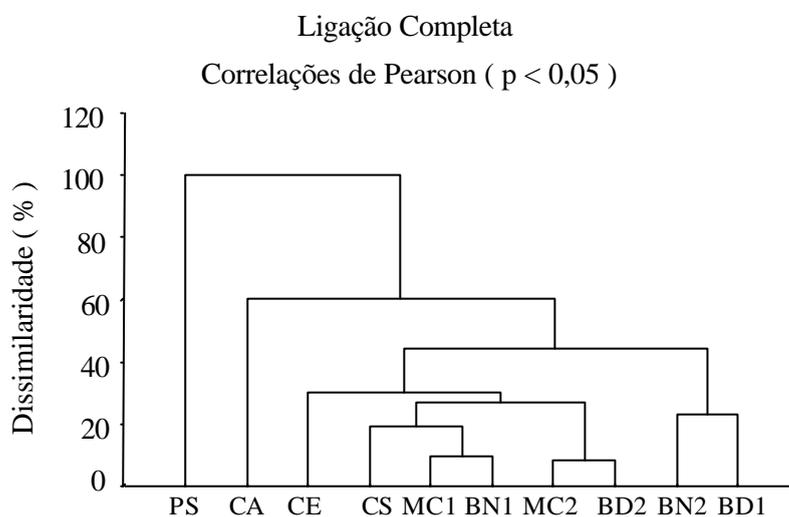


Figura 6. Dendrograma das áreas de cultivo construído em função da distribuição das espécies de FMA utilizando-se o coeficiente de similaridade de coincidência simples. PS: Pasto; CA: capoeira; CE: cenoura; CS: consórcio cenoura/alface; MC1 e MC2: maracujá; BN1 e BN2: Banana; BD1 e BD2: batata-doce.

5. CONCLUSÕES

As espécies *Glomus Macrocarpum*, *Glomus etunicatum* e *Acaulospora mellea* predominam na rizosfera das hortaliças e fruteiras. Também apresentam grande potencial de infecção em condições experimentais e adaptação ao cultivo orgânico. Portanto, podem ser consideradas em programas de inoculação.

A sazonalidade e o manejo exercem efeitos diferenciados na colonização micorrízica e na população de esporos de FMA. Estes efeitos tornam-se mais evidentes em áreas onde ocorrem perturbações como o revolvimento intenso do solo, evidenciados no cultivo de batata-doce.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, E. B.; RINCON, E.; ALLEN, M. F. & PEREZ-JIMENEZ, A. Disturbance and seasonal dynamics of mycorrhizae in a tropical deciduous forest in Mexico. **Biotropica**, v.30, p.261-274, 1998.
- ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O. & DAVIDE, A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.23, n.3, p.617-625, 1999.
- ALVES, J. M. C.; PAULO, M. A.; PINTO, J. E. B. P. & PASQUAL, M. Utilização de micorrizas vesículo-arbusculares na aclimação e crescimento de mudas de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) micropropagadas in vitro. **Ciência Prática**, Lavras, v.13, p.214-223, 1989.
- BALOTA, E. L.; LOPES, E. S. Introdução de fungo micorrízico arbuscular no cafeeiro em condições de campo: I. Persistência e interação com espécies nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 217-223, 1996.
- BABY, U. I. & MANIBHUSHANRAO, K. Influence of organic amendments on arbuscular mycorrhizal fungi in relation to rice sheath blight disease. **Mycorrhiza**, Secaucus, v. 6, p. 201-206, 1996.
- BREDA FILHO, J.; FREIRE, E. S.; ABRAMIDES, E. Adubação de batata-doce com diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio. **Bragantia**, Campinas, v.11, p.55-79, 1951.
- CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações no biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.2, p.133-142, 1990a.
- CARRENHO, R. **Influência de diferentes espécies de plantas hospedeiras e fatores edáficos no desenvolvimento de fungos micorrízicos arbusculares (FMA)**. Rio Claro, 1998. 226 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal). Curso de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Estadual Paulista.
- CARRENHO, R.; TRUFEM, S. F. B. & BONONI, V. L. R. Efeitos da adição de argila, areia, calcário, superfosfato e/ou sphagnum na colonização micorrízica arbuscular de amendoim, sorgo e milho cultivados em Latossolo Vermelho-Amarelo. In: **FERTBIO 2000, BIODINÂMICA DO SOLO**, 2000, Santa Maria, RS. Fertbio - resumos (impresso) e Fertbio - palestras e resumos expandidos (cd-rom). Santa Maria: 2000.
- CARRENHO, R.; TRUFEM, S. F. B. & BONONI, V. L. R. Fungos micorrízicos arbusculares em rizosferas de três espécies de fitobiontes instaladas em área de mata ciliar revegetada. **Acta Botanica Brasilica**. v.15, n.1, p.115-124. 2001

CAVALCANTE, U. M. T.; MAIA, L. C.; MELO, A. M. M. & SANTOS, U. F. Influência da densidade de FMA na produção de mudas de maracujazeiro amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.5, p.643-649, 2002.

CAVALCANTE, U. M. T.; MAIA, L. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Respostas fisiológicas em mudas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e submetidas a estresse hídrico. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v.15, n.3, p.379-390, 2001.

DECLERK, S.; PLENCHETTE, C. & STRULLU, D. G. Mycorrhizal dependency of banana (*Musa acuminata*, AAA group) cultivar. **Plant and Soil**, v.176, p.183-187, 1995.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos SNLCS, Rio de Janeiro, 1979. não paginado.

ESPINDOLA, J. A. A.; DE ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M.; DA SILVA, E. M. R.; DE SOUZA, F. A. Influence of green manures on mycorrhizal colonization and yield of sweet potato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.339-347, 1998.

FERREIRA, D.F. Sisvar: versão 4.3 (Build 43). Lavras: Departamento de Ciências Exatas, Universidade Federal de Lavras, 2003.

GRACE, C, STRIBLEY, D. P. A safer procedure for routine staining of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycological Research**, v. 95, p. 1160-1162, 1991.

GRAHAM, J. H.; DUNCAN, L. W.; EISSENSTAT, D. M. Carbohydrate allocation patterns in citrus genotypes as affected by phosphorus nutrition, mycorrhizal colonization and mycorrhizal dependency. **New Phytologist**, Oxford, v. 135, p. 335-343, 1997.

GRAVINA, G. A. **Densidade de propágulos infectivos e capacidade infectiva de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), em solo sob leguminosas herbáceas perenes**. Seropédica, 1998. 104f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

GIOVANNETTI, M, MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v.84, p.489-500, 1980.

GERDEMANN, J. W, NICOLSON, T. H. Espores of mycorrhizal Endogenes especies extracted from soil by wet-sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, Cambridge, v.46, p.235-244, 1963.

HABTE, M. Soil acidity as a constraint to the application of vesicular-arbuscular mycorrhizal technology. In: VARMA, A. & HOCK, B. **Mycorrhiza: structure, function, molecular biology and biotechnology**. Springer-Verlag, Berlim, p. 594-605, 1995.

HE, X.; MOURATOV, S. & STEINBERGER Y. Temporal and spatial dynamics of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi under the canopy of *Zygophyllum dumosum* Boiss. in the Negev Desert. **Journal of Arid Environments**, v. 52, p. 379-387, 2002.

INVAM. International Culture Collection of Vesicular and Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Species Description. Morgantown, West Virginia Agriculture and Forestry Experimental Station. Home page. [<http://invam.caf.wvu.edu>]. 2001.

IZQUIERDO, F. G. **O fósforo, a matéria orgânica e a micorriza no cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. Seropédica, 2000. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, v.48, n.9, 1964. 692p.

JHONSON, N. C. Response of *Salsola kali* and *Panicum virgatum* to mycorrhizal fungi, phosphorus and soil organic matter: implications and reclamation. **Journal of Applied Ecology**, v. 35, p. 86-94, 1998.

KARLEN, D. L, et al. Soil quality: a concept, definition, and framework for evolution. **Soil Science American Journal**, v. 61, p. 4-10, 1997.

KOSKE, R. E, GEMA, J. N. A. Modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizal. **Mycological Research**, v.92, p.488-505, 1989.

MARTIN, D.; SRIVASTAVA, P. C.; GHOSH, D. & ZECH, W. Characteristics of humic substances in cultivated and natural forest soils of Sikkim. **Geoderma**, v.84, n.4, p.345-362, 1998.

MATOS, R. M. B. **Fungos micorrízicos arbusculares em plantas micropropagadas de abacaxizeiro [*Ananas comosus* (L.) Merr.], bananeira (*Musa* sp.) e batata inglesa (*Solanum tuberosum* L.)**. Seropédica, 1995. 132 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

MATTOS, C. C. L. V.; da SILVA, M. A. R.; NOGUEIRA, I. B. & BATISTA, I. B. Caracterização climática da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. **Arquivos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**, Itaguaí, p.53-63, 1989.

MELO, A. M. Y.; MAIA, L. C.; MORGADO, L. B. Fungos micorrízicos arbusculares em bananeiras cultivada no vale do submédio São Francisco. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v.11, n.2, p.115-121, 1997.

MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626p.

ODUM, E. P. **Ecología: el vínculo entre las ciencias naturales y las sociales**. (20a Ed.) Compañía editorial continental, S.A. de C.V., México, 1998. 295p.

ORTAS, I.; HARRIS, P. J.; ROWELL, D. L. Enhanced uptake of phosphorus by mycorrhizal sorghum plants as influenced by forms of nitrogen, **Plant and Soil**, Hague, v. 184, p. 255-264, 1996.

PAULA, M. A.; SIQUEIRA, J. O. & DÖBEREINER, J. Ocorrência de fungos micorrízicos vesículoarbusculares e de bactérias diazotróficas na cultura da batata-doce. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.349-356, 1993.

PLENCHETTE, C.; PERRIN, R.; DUVERT, P. The concept of soil infectivity and a method for its determination as applied to endomycorrhizas. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.67, p.112-115, 1989.

ROVIRA, A. D. Microbiology of pasture soils and some effects of microorganisms on pasture plants. In: WILSON, J. R. (Ed.) **Plant relation in pasture**. Melbourne: CSIRO, 1978. p.95-110.

RAGUPATHY, S. & MAHADEVAN, A. Distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizae in the plants and rhizosphere soils of the tropical plains, Tamil Nadu, India. **Mycorrhiza**, Secaucus, v. 3, p.123-136, 1993.

SAINZ, M. J.; TABOADA-CASTRO, M. T.; VILARINO, A. Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes. **Plant and Soil**, v.205, n.1, p.85-92, 1998.

SANTOS, A. L. **Estabelecimento de *Gigaspora margarita* e *Glomus clarum* por gramíneas e leguminosas e esporulação de fungos micorrízicos arbusculares indígenas**. Seropédica, 1998. xf. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

SCHENK, N. C., PEREZ, Y. **Manual for the identification of Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi**. Gainesville: INVAM, 1988. 241p.

SCULLION, J., EASON, W. R., SCOTT, E. P. The effectivity of arbuscular mycorrhizal fungi from high input conventional and organic grassland and grass-arable rotations. **Plant and Soil**, v.204, n.2, p.243-254, 1999.

SILVEIRA, S. V.; DE SOUZA, P. V. D. & KOLLER, O. C. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento do abacateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1597-1604, 2002.

SIQUEIRA, J. O. In: ARAÚJO, R. S., HUNGRIA, M. ed. **Microrganismos de importância agrícola**. Micorrizas arbusculares. Brasília, 1994. p.151-194.

SMITH, S. E. & READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. (2ª Ed.) Academic press, San Diego, 1997. 605 p.

STATSOFT, INC. Statistica for Windows (Computer Program Manual). Tulsa: Statsoft, Inc., 2000.

THONSON, T. E.; MANIAN, S.; UDAYIAN, K. The effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal exposure period on their colonization and spore production in tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum* Mill.), and on host biomass. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 51, p. 287-292, 1994.

TRAPPE, J. M. Ecophysiology of VA mycorrhizal plant. In: Safir, G. R. (Ed.) **Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperm from an evolutionary stand point**. CRC: Boca Raton, 1987. p. 5-25.

VARMA, A, HOCK, B. **Mycorrhiza: structure, function, molecular biology and biotechnology**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 747p.

VEJSADOVA, H. The influence of organic and inorganic fertilization on development of indigenous VA fungi in roots of red clover. In: Read, D. J.; Lewis, D. H.; Fitter, A. H. & Alexander, I. J. (Ed.) **Mycorrhizas in ecosystems**. Oxford: CAB, 1992. p.406-407.

CAPÍTULO II

EFEITO DO MANEJO DA MASSA VERDE DE LEGUMINOSAS HERBÁCEAS PERENES E DO CLIMA SOBRE A MICROBIOMASSA E EVOLUÇÃO DE CO₂ EM SOLO COBERTO

RESUMO

A avaliação das alterações ocorridas no carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) e de sua atividade pode oferecer condições para a escolha de melhores estratégias de manejo que favoreça a manutenção do carbono total no solo. Uma delas é a utilização de plantas leguminosas como cobertura viva do solo. Esta prática promove mudanças nos níveis de matéria orgânica e nitrogênio favorecendo o desenvolvimento de microrganismos benéficos às culturas. O objetivo deste trabalho foi determinar alterações no carbono da biomassa microbiana e sua perda na forma de CO_2 , em função do clima e do manejo da fitomassa de leguminosas herbáceas perenes, em ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, Distrófico, localizado no campo experimental da Embrapa Agrobiologia, em Seropédica, RJ. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com tratamentos distribuídos em parcelas subdivididas, utilizando 3 repetições e manejo dos resíduos da parte aérea das plantas (retirada e manutenção dos resíduos após a roçada). Realizaram-se avaliações em épocas diferentes do ano (período seco de 2001 e chuvoso de 2002), na profundidade de 15 cm. A quantificação do carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) foi realizada por fumigação-extração. As perdas de carbono, caracterizada pela respiração microbiana (RM), foi determinada pela captura de CO_2 em solução de NaOH após 5 dias de incubação e a eficiência microbiana, avaliada pelo quociente metabólico (qCO_2). Adicionalmente foram avaliadas a relação carbono microbiano/carbono orgânico (C_{mic}/CO) e algumas propriedades representativas da fertilidade do solo. A cobertura de amendoim forrageiro (AF) induz maior quantidade C_{mic} no solo, especialmente na estação seca. Além de contribuir para o aumento do CO, durante a estação das chuvas, principalmente quando os resíduos são mantidos sobre o solo. As perdas de carbono através RM, assim como valores de qCO_2 , ocorrem em maior intensidade na estação das chuvas, nas condições em que foram mantidas as coberturas de solo. Provavelmente, devido ao maior estímulo do metabolismo microbiano por ocasião de elevada oferta energética.

Palavras-chave: Carbono microbiano, cobertura do solo, manejo, condições climáticas.

ABSTRACT

The evaluation of the alterations occurred in the microbial biomass carbon (C_{mic}) and activity may offer conditions for the choice of better management strategies that favor the maintenance of the total carbon in the soil and the agricultural production. The use of legumes plants as live mulch promotes changes in the levels of organic matter and nitrogen favoring the development of beneficial microorganisms to the crops. The objective of that work was to evaluate the distribution of the carbon of the microbial biomass and activity in a live mulch conditions of perennial herbaceous legumes, *Arachis pintoii* (AF), *Macroptilium atropurpureum* (ST) and *Pueraria phaseoloides* (KT), verifying the climatic and management effect on those attributes, in an RED-YELLOW PODZOLIC soil, located in Embrapa Agrobiologia Experimental Station, in Seropédica, RJ. The experimental design was in randomized block design with treatments distributed in split-split plot, using 3 replicates and management of the residues of the aerial plant parts (maintenance and removal of residues after cut). Evaluations were performed in two periods of (dry period of 2001 and rainy period of 2002), in the depth of 15 cm. The quantification of C_{mic} was realized by the method of the fumigation-extraction and the activity of the soil microorganisms by the microbial respiration (RM), by capturing of CO₂ in solution of NaOH for 5 days of incubation, while the microbial efficiency this biomass was determinate by the metabolic quotient ($q\text{CO}_2$). Additionally it was evaluated the relationship of microbial carbon/soil organic carbon (C_{mic}/CO) and some representative properties of the fertility of the soil. AF, induce higher values of C_{mic} in the soil, in relation to the KT and ST, in dry period. AF contributes to increase of the organic carbon (CO), during the period of the rain, when the residues are maintained on the soil. Losses of carbon (RM), as the activity or efficiency of the microbial biomass ($q\text{CO}_2$), occur in larger intensity in rain station, when the soil coverings are maintained on the soil. Probably, the microbial metabolism was stimulated per occasion high energetic offer.

Key words: Microbial carbon, microbial respiration, covering of soil, management, climate conditions.

1. INTRODUÇÃO

O emprego de leguminosas como cobertura viva do solo é uma estratégia de manejo que promove mudanças nos níveis de matéria orgânica e nitrogênio favorecendo o desenvolvimento de microrganismos benéficos às culturas. As populações de microrganismos do solo apresentam certa dinâmica que pode ser modificada por distúrbios físicos, causados pelo cultivo, ou químicos, resultantes da aplicação de fertilizantes e pesticidas, e também pela disponibilidade de matéria orgânica, aeração, umidade, textura, estrutura, pH, presença de organismos parasitas ou antagonistas.

A determinação do carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) possibilita avaliações do nível de degradação ou perda da capacidade produtiva de um determinado solo, pois esta possui função catalisadora das transformações bioquímicas do solo e representa um compartimento lábil de muitos nutrientes que são reciclados rapidamente, com tempo de resistência bastante reduzido. O carbono retido na biomassa microbiana pode ser utilizado como um indicador rápido de alterações na matéria orgânica, pois este é o destino inicial do carbono em processo de transformação no solo; além de funcionar como energia armazenada para realização da atividade promovida pelos microrganismos.

A intensidade das diferentes práticas agrícolas de preparo do solo, como por exemplo, o tombamento e a incorporação do material vegetal causam modificações em praticamente todas as propriedades do solo.

As menores temperaturas do solo ocorrem na estação chuvosa, período em que o solo pode apresentar maior retenção de umidade se não sofrer estresse mecânico e se estiver coberto com resíduos vegetais, conforme preconizado no plantio direto. Neste aspecto, a conservação e a transformação do carbono orgânico (CO) no solo podem ser avaliadas pela associação com o C retido na biomassa microbiana, que representa uma importante fonte armazenadora do CO.

O estímulo da atividade microbiana ocorre em função do manejo que é aplicado ao solo e do material vegetal que é depositado sobre ele. Portanto, as diferentes espécies vegetais podem provocar tanto o aumento, quanto à redução da comunidade microbiana do solo. Sua atividade pode ser estimada pela perda de CO_2 para a atmosfera, que acontece através da respiração microbiana (RM) e, prontamente pode ser utilizada como um dos indicadores do carbono metabolizável. Estudos têm mostrado que a atividade microbiana mais eficiente é a que metabolicamente provoca menos perda de carbono como CO_2 . Este processo ocorre pela respiração, onde uma fração expressiva de carbono é incorporada ao tecido microbiano. Portanto, uma biomassa metabolicamente eficiente teria uma menor porcentagem de respiração em relação a sua biomassa.

Os efeitos do manejo e do ambiente sobre a atividade microbiana do solo podem ser avaliados pela relação entre a quantidade de CO_2 produzido por unidade de carbono da biomassa por unidade de tempo. Esta relação gerou o conceito de quociente metabólico (qCO_2), que pode ser uma ferramenta eficaz para explorar os resultados quantitativos de biomassa microbiana, definir sua atividade e caracterizar os riscos de degradação do solo em termos de matéria orgânica. Contudo, é esperado que este atributo diminua com o aumento do grau de maturidade do solo. Entretanto, é sugerida a utilização do qCO_2 como um indicador metabólico para avaliar o efeito das condições de estresse, como os baixos níveis de matéria orgânica e nutriente, elevação

da acidez e dos teores de carbono recalcitrante do solo sobre a atividade da biomassa microbiana. Em síntese, podemos sugerir que solos com baixo $q\text{CO}_2$ apresentam-se mais estáveis.

O objetivo deste trabalho foi determinar alterações no carbono da biomassa microbiana e sua perda na forma de CO_2 , em função do clima e do manejo da fitomassa de leguminosas herbáceas perenes, em ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, Distrófico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Biomassa Microbiana do Solo

A biomassa microbiana é definida, conceitualmente, como a parte viva da matéria orgânica do solo, composta por todos os microrganismos menores que $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^3$, como fungos, bactérias, actinomicetos, leveduras e microfauna como protozoários, que funcionalmente atuam como agentes de transformação da matéria orgânica, no ciclo de nutrientes e no fluxo de energia (Jenkinson & Lead, 1981; Wardle, 1992). Pode ser definida também como uma estimativa da massa microbiana viva total, com base na concentração de algum elemento ou de alguma substância celular. Nos solos tropicais, é composta de 2 a 5% do carbono orgânico, e 1 a 5% de nitrogênio orgânico e de 2 a 20% do fósforo orgânico (Smith & Paul, 1990). Cattelan & Vidor (1990) consideram a biomassa microbiana como parte integrante da matéria orgânica. A biomassa microbiana pode ser considerada como um componente lábil da matéria orgânica, que tem sua atividade influenciada pelas condições bióticas e abióticas podendo ser utilizada como um indicador das alterações resultantes do manejo do solo (Balota et al., 1998). A determinação da biomassa microbiana pode indicar mudanças na qualidade da matéria orgânica (Powlson et al., 1987).

Dentre alguns dos indicadores mais utilizados atualmente, destacam-se: biomassa microbiana do solo, respiração basal do solo e carbono orgânico, sendo que de sua conjugação, obtêm-se dois outros índices igualmente valiosos: a relação carbono microbiano/carbono orgânico e o quociente metabólico (Pimentel, 2001). De acordo com Wardle (1992), as medidas baseadas na determinação da biomassa microbiana, apresentam bom potencial de utilização como indicadores ecológicos do impacto das práticas de manejo agrícola sobre o solo.

Na agricultura, a necessidade de dispor de atributos sensíveis a mudanças provocadas pelo manejo do solo, de modo a avaliar o grau de sustentabilidade de um sistema, possibilitou que índices biológicos surgissem como um mecanismo de avaliação que pudesse responder tais questões, daí a busca por um indicador que espelhe a robustez da vida do solo e reflita o seu grau de perturbação (De-Polli & Guerra, 1996). Neste enfoque, a contribuição dos atributos microbianos será importante para o dimensionamento do estoque e do fluxo de carbono no solo. Vargas & Scholles (2000) perceberam que sistemas de manejo, com diferenças no revolvimento do solo e na composição dos resíduos vegetais alteram as propriedades biológicas do solo com reflexos sobre sua qualidade e na produtividade das culturas.

2.2. Evolução de CO₂

O fluxo de CO₂ do solo, da serapilheira e da superfície do solo, são importantes componentes do ciclo terrestre global de carbono. Medidas do fluxo de CO₂ no campo, mostram uma estimativa da respiração total no solo, que inclui contribuições da respiração da matéria orgânica, fauna do solo e respiração das raízes (Reynolds & Hunter, 2001).

A respiração microbiana define-se como sendo a absorção de O₂ e ou a liberação de CO₂ pelos microrganismos do solo. No entanto, prefere-se a quantificação da emissão de CO₂ ao invés da absorção de O₂, pelo fato do CO₂ refletir a atividade

tanto de microrganismos aeróbios como anaeróbios (Gama-Rodrigues & De-Polli, 2000).

A respiração do solo é a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o CO_2 é produzido (Lundegardh, 1927). Dentre os processos biológicos responsáveis por este fenômeno podem ser citados a respiração microbiana, a respiração de raízes e a respiração dos componentes da fauna. Entretanto, a respiração do solo pode ser indicada como um parâmetro que se encontra relacionado à atividade da microbiota do solo e pode ser um atributo confiável para avaliar as perdas de carbono para a atmosfera na forma de CO_2 .

2.3. Eficiência Microbiana

Anderson & Domsch (1986 e 1990) introduziram parâmetros baseados em conceitos ecofisiológicos como o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) que possibilitam interpretações dinâmicas da biomassa microbiana. O $q\text{CO}_2$ é a razão entre a respiração basal do solo por unidade de biomassa microbiana e tempo, e tem sido usado para estimar a eficiência do uso de substrato pelos microrganismos do solo (Anderson & Domsch, 1989). Conforme Anderson et al. (1998), ele pode ser utilizado como sensível indicador de estresse quando a biomassa microbiana é afetada.

Diversos estudos têm buscado avaliar o uso do $q\text{CO}_2$ como um indicador do grau de conservação do solo. Insam et al. (1991), verificaram que tanto o preparo como o manejo do solo altera os valores do $q\text{CO}_2$. Balota et al. (1998) detectaram decréscimo de 28% no $q\text{CO}_2$ sob plantio direto, evidenciando menor perda relativa de CO_2 , e que pode determinar em longo prazo, maior acúmulo de carbono no solo. Para Saffigna et al. (1989), o preparo convencional pode proporcionar menor conteúdo de matéria orgânica no solo e uma biomassa microbiana com maior $q\text{CO}_2$.

Correlação inversa entre a biomassa microbiana e o $q\text{CO}_2$ foi registrada por Insam et al. (1991). Estes autores sugerem que esta condição ocorre em função de aumentos significativos dos teores de carbono no solo, o que promove crescimento da biomassa microbiana, devido maior oferta energética, associada à redução da atividade metabólica.

Resultados obtidos em estudos com $q\text{CO}_2$, revelam um índice eficiente na quantificação da conservação de carbono em agroecossistemas e, quando aliado à outros atributos biológicos pode fornecer respostas em curto espaço de tempo sobre o fluxo e o estoque de carbono no solo.

2.4. Relação Carbono Microbiano/Carbono Orgânico

A matéria orgânica do solo é todo um “universo” dinâmico, onde uma série de processos começa a ocorrer, outros já estão ocorrendo e ainda outros irão ocorrer, de uma forma simultânea. Transformações químicas, físicas e biológicas atuam constantemente sobre a matéria orgânica do solo por um período de poucos anos até milênios (Silva & Pasqual, 1998).

Diferentes práticas do manejo influenciam significativamente o carbono orgânico (CO), a fração leve da matéria orgânica e a biota do solo, em sistemas agrícolas sob cultivo orgânico e convencional (Wander & Traina, 1996; Mäder et al., 1996). Aumentos nos teores de carbono orgânico foram registrados nos primeiros centímetros de solo sob plantio direto em comparação ao cultivo mínimo e convencional (Bayer & Mielniczuk, 1997), que pode estar relacionado ao maior aporte de material vegetal sobre o solo, associado a pequenas perdas de matéria orgânica.

Maiores valores de C_{mic} na camada superficial do solo em dois sistemas de cultivo conservacionistas podem ser influenciados pelo acúmulo de resíduos vegetais e de CO (Vargas & Scholles, 2000). A biomassa microbiana parece mais sensível às mudanças iniciais no conteúdo de matéria orgânica do solo do que a determinação de carbono orgânico (Jenkinson & Rayner, 1977; Powlson et al. 1987), e a relação carbono microbiano/carbono orgânico (C_{mic}/CO), é um parâmetro confiável para descrever alterações em ecossistemas com interferência antrópica (Insam & Domsch, 1988). Neste contexto, alterações observadas na relação C_{mic}/CO , refletem sobre a entrada de matéria orgânica no solo, na eficiência e conservação do carbono microbiano, nas perdas de carbono do solo e na estabilidade do carbono orgânico da fração mineral (Sparling, 1992).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de Pesquisa

As avaliações foram conduzidas em duas épocas do ano (período chuvoso de 2001 e período seco de 2002), em um experimento de longa duração instalado em dezembro de 1996 sobre um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, Distrófico, com coberturas vivas de leguminosas herbáceas perenes, no campo experimental da Embrapa Agrobiologia. As informações climáticas e localização geográfica detalhada do experimento foram apresentadas anteriormente no primeiro capítulo. A análise química das amostras de solo para verificação da fertilidade foi realizada como descrito no Manual de Métodos de Análise de Solo (Embrapa, 1979).



Figura 7. Vista parcial das parcelas cobertas com leguminosas herbáceas perenes em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, Distrófico.

3.2. Organização do Experimento

O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso com 4 tratamentos distribuídos em parcelas subdivididas, utilizando-se 3 repetições e manejo dos resíduos da parte aérea das plantas (retirada e manutenção dos resíduos após a roçada). Foram utilizadas no experimento as leguminosas herbáceas perenes: *Arachis pintoï* (Amendoim forrageiro), *Macropitilium atropurpureum* (Siratro), *Pueraria phaseoloides* (Kudzu tropical) e como controle, um tratamento sem cobertura vegetal, capinado freqüentemente para efeito de comparação.

No processo de instalação do experimento, realizou-se aração e gradagem para o preparo da área. O plantio das mudas do amendoim forrageiro assim como as sementes do siratro e do kudzu tropical foram em linhas com espaçamento de 50 cm e densidade de 10 plantas por metro linear. O experimento foi montado em três blocos com parcelas de 15m² (cinco linhas de 6m espaçadas de 0,50m). A manutenção do experimento foi realizada com roçadas e capinas constantes a cada 15 dias, para o controle de plantas invasoras durante todo período de avaliação.

3.3. Biomassa Microbiana do Solo

A quantificação do carbono da biomassa microbiana (Cmic) foi realizada por fumigação-extração, de acordo com o método proposto por De-Polli & Guerra (1999). As coletas das amostras de terra foram realizadas em cada subparcela experimental, 15 dias após a roçada das leguminosas, até profundidade de 15 cm. Foram feitas 4 amostragens simples por subparcela. Em seguida, foram homogeneizadas para formar no final, 1 amostra composta. Isto resultou em 24 amostras compostas de 3 repetições cada, por local de amostragem ou subparcela. Visando a manutenção da qualidade das amostras, estas foram armazenadas em câmara fria até o momento das avaliações. De cada amostra de terra foi pesado 20 g e acondicionadas em frasco de vidro de 100 ml; em geral, recomenda-se trabalhar com seis frascos para cada amostra, onde três são para fumigação e três para não fumigação, visando com isso maior confiabilidade dos resultados. As subamostras receberam 1 ml de clorofórmio puro e em seguida foram tampadas por 24h, para a liberação do carbono retido no corpo dos microrganismos pela ação do vapor deste fumigante. Decorrido este tempo, as subamostras foram abertas e expostas ao vento corrente por 30 minutos para a retirada do excesso de clorofórmio residual.

As subamostras não fumigadas e fumigadas receberam a solução extratora de sulfato de potássio (50 ml de K₂SO₄ 0,5 mol/dm³). Em seguida foi feita a agitação das subamostras juntamente com a solução extratora a 220 rpm por 30 minutos, depois foram submetidas à decantação por mais 30 minutos e filtrada em papel de filtração média. A solução filtrada foi o extrato utilizado para a determinação do carbono microbiano. A partir da mistura de 8 ml do extrato, 2 ml de dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇ 0,066 mol/dm³), 10 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado e 1 ml de ácido fosfórico (H₃PO₄) concentrado foi feita a solução utilizada para quantificação do carbono microbiano. O H₃PO₄ participou como complexador do alumínio para facilitar a visualização da viragem. O carbono microbiano presente no extrato reagiu com parte do dicromato, sendo essa reação favorecida pelo calor, proporcionado pelo H₂SO₄. Na seqüência foram adicionados 80 ml de água destilada e aguardou-se cerca de 20 minutos para o resfriamento da solução, adicionaram-se então 3 a 4 gotas de difenilamina (10 g/dm³ em H₂SO₄ concentrado), e realizou-se a titulação do dicromato excedente com sulfato ferroso amoniacal, 0,033 mol/dm³. A viragem ocorreu no momento em que a cor da solução que era azul passou para verde, ou seja, o dicromato em excesso foi neutralizado pelo sulfato ferroso amoniacal (NH₄)₂Fe(SO₄)₂ + 6H₂O. Conduziu-se um ensaio em branco onde, ao invés de se colocar 8 ml do extrato, adicionaram-se 8 ml da solução extratora de sulfato de potássio, utilizando-se o mesmo procedimento para todas as amostras.

O cálculo da quantidade de carbono microbiano (Cmic) extraído de cada subamostra foi feito conforme a equação abaixo:

$$Cmic: \{[(A - B) \times N_{Sfa} \times 0,003 \times 50 \times 10^6]/(Va \times Ps)\}$$

Onde: Cmic: carbono extraído do solo; B (ml) volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do ensaio em branco; A (ml) volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra; N_{Sfa}: normalidade exata do (NH₄)₂Fe(SO₄)₂ + 6H₂O; Va: volume da alíquota (8 ml); Ps (g): massa de solo seco.

O cálculo da biomassa microbiana do solo foi feito a partir da fórmula:

$$\text{Cmic: } (F - \text{NF})/\text{Kc}$$

Unidade: $\mu\text{g Cmic/g solo}$

Onde: biomassa microbiana: conteúdo de carbono microbiano do solo; F: carbono extraído da subamostra fumigada; NF: carbono extraído da subamostra não fumigada; Kc: 0,33 (fator de correção).

3.4. Evolução de CO₂

As perdas de carbono microbiano na forma CO₂, no sistema manejado com a cobertura de leguminosas herbáceas perenes foram determinadas pela respiração microbiana (RM), que caracteriza a atividade dos microrganismos no solo. Utilizou-se no processo de avaliação da RM, o método de fumigação-incubação, proposto por Jenkinson & Powlson (1976), previamente adaptado. O sistema de amostragem de terra foi o mesmo adotado para avaliação do Cmic. Procedeu-se a pesagem de 50 g de solo fresco em frasco de vidro de 0,1 dm³; incubaram-se as amostras no interior de jarros de vidro de boca larga de 3 dm³, de tampa plástica rosqueável, por um período de 120 horas (5 dias). Juntamente com as amostras, um segundo frasco de 0,1 dm³ contendo 10 ml de NaOH (1 mol/dm³) foi também acondicionado em cada jarro. O ensaio em branco foi realizado incubando-se somente um frasco com hidróxido de sódio em um jarro de vidro. A incubação foi realizada no escuro, à temperatura média de 25°C. Este processo resultou na captura de CO₂ na solução de NaOH durante cinco dias de incubação.

Decorrido o período previsto de incubação, foi feita a abertura dos jarros de vidro e a retirada dos frascos contendo a solução de hidróxido de sódio. O carbonato de sódio formado nessa solução pela reação com o CO₂ foi precipitado pela adição de 2 ml de BaCl₂ (100 g/dm³), na forma de carbonato de bário. Após esta etapa, as amostras ficaram prontas para titulação. Em seguida, adicionaram-se 3 gotas de fenolftaleína (10g/dm³). A determinação do carbono liberado na forma de CO₂ foi feita de forma indireta, titulando-se o hidróxido de sódio com HCL (0,5 mol/dm³). Sequencialmente, conduziu-se um ensaio em branco.

O cálculo da quantidade de CO₂ liberado foi feito conforme a equação abaixo:

$$\text{RM: } \{[(B - A) \times N_{\text{HCL}} \times 6 \times 100]/\text{Ps}\}/t$$

Unidade: $\mu\text{g C-CO}_2/\text{g solo} \times \text{h}$

Onde: RM: respiração microbiana ou evolução de CO₂ ($\mu\text{g C-CO}_2/\text{g de solo}$); B (ml): volume de ácido clorídrico gasto na titulação do ensaio em branco; A (ml): volume de ácido clorídrico gasto na titulação da amostra; N_{HCL}: normalidade exata do HCL; Ps (g): massa de solo seco e t: tempo de incubação em minutos.

3.5. Eficiência Microbiana

A determinação do quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), é realizada pela divisão dos valores de RM pelos de Cmic. Os resultados finais, dados em μg (micrograma), foram então multiplicados por 1000, o que mudou a unidade para ηg (nanograma). Este procedimento foi feito para facilitar a visualização do resultado final, apresentado na casa das dezenas, conforme a seguinte equação:

$$q\text{CO}_2: (\text{RM}/\text{Cmic}) \times 1000$$

Unidade: $\eta\text{g C-CO}_2/\eta\text{g de Cmic} \times \text{h}$

3.6. Carbono Orgânico do Solo

De cada amostra de terra coletada no ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO sob cobertura das leguminosas herbáceas perenes, pesou-se uma alíquota de 0,5 g, previamente secas ao ar e passadas em peneira com abertura de 2 mm, para determinação do teor de carbono orgânico (CO). Estas amostras foram acondicionadas em erlenmeyer de 250 cm^3 de volume, juntamente com 10 ml de solução de dicromato de potássio com concentração de 0,2 mol/dm^3 , em meio ácido. Em seguida, fez-se o aquecimento em placa elétrica até fervura branda durante 10 minutos. Posteriormente, foram adicionados 70 ml de água destilada e 1 ml de ácido fosfórico, assim que os erlenmeyer resfriaram. Finalmente, titularam-se todas as amostras com solução de sulfato ferroso amoniacal com concentração de 0,1 mol/dm^3 , até o desaparecimento da cor azul, originária da adição de 3 gotas do indicador difenilamina, registrada pelo surgimento da cor verde no final da titulação. Efetuaram-se 3 provas em branco, com 10 ml da solução de dicromato de potássio 0,2 mol/dm^3 , em meio ácido.

3.7. Análise dos Dados

Os tratamentos estatísticos foram realizados com auxílio do Sistema para Análise Estatísticas e Genéricas (SAEG), versão 5.0 (Euclides, 1983). Procederam-se análises de variância, aplicando-se o teste F para avaliar a probabilidade. Os tratamentos em que o teste F foi significativo, aplicou-se o teste de Duncan a 5% de significância, para a comparação de médias. Correlações de Pearson (r), também foram utilizadas na avaliação dos dados. Os valores referentes ao quociente metabólico foram transformados pela equação: $y = \text{Log}(x)$, antes de se proceder a análise de variância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Propriedades do Solo

Algumas propriedades do solo sob as coberturas vivas foram influenciadas pelo manejo e pelas condições climáticas (Tabela 4). A soma de bases trocáveis do solo ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), foi alta nas duas épocas do ano. Esta condição pode ter sido originado no acúmulo de resíduos vegetais sobre o solo. Por outro lado, é provável que concentrações altas de H^+ no solo tenha sido o fator determinante na elevação da acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$). Este atributo apresentou os maiores valores no período chuvoso. Isto pode ter ocorrido devido às leguminosas apresentarem maior decomposição neste período. Com isso, pode ocorrer a liberação de ácidos orgânicos para a solução do solo, consecutivamente, a acidez do solo foi aumentada. Condições similares ao $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ foram verificadas nos valores de pH do solo, nas duas épocas do ano. Os teores de Al^{3+} trocável no solo diminuíram do período seco para o período das chuvas, onde foram encontrados valores iguais a zero em praticamente todos os tratamentos. Esta condição pode ter ocorrido devido a um aumento gradual do pH, registrado no período chuvoso e uma possível complexação com radicais orgânicos provindos da decomposição dos resíduos das leguminosas.

Aumento gradual na concentração de Ca^{2+} trocável foi registrado no período das chuvas. Esta condição se deve, provavelmente, ao aumento da umidade, acarretando em maior mineralização dos resíduos das leguminosas e liberação deste para o solo. Os teores de Mg^{2+} não aumentaram em nenhum dos tratamentos e, parece não ter sofrido interferência das condições climáticas.

Dentre os elementos avaliados, o K^+ foi o que mais variou entre as épocas de amostragem, assim como nas condições de manejo das leguminosas, e de alguma forma a cobertura com siratro (ST), parece contribuir para a elevação deste elemento no solo. Os teores de P variaram de 1,23 a 4,0 mg/dm^{-3} nos dois períodos do ano. Portanto, dentro de uma faixa considerada para os solos da baixada fluminense que apresentam, em geral, baixos teores deste elemento. Uma outra parte de P não extraída, pode ter sido imobilizada no solo e na biomassa microbiana que absorvem P durante a decomposição dos resíduos das leguminosas, acarretando em redução do P disponível.

Tabela 4. Características de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, Distrófico, sob manejo de cobertura com leguminosas herbáceas perenes.

Propriedades	Áreas de cultivo					Teste t
	AF	ST	KT	CL		
Período seco						
Ca+Mg (cmol/dm ⁻³)	A	4,83	5,23	4,13	3,47	ns
	B	4,77	5,53	3,9	3,2	
Ca ²⁺ (cmol/dm ⁻³)	A	2,57	2,97	2,7	2,2	ns
	B	2,59	2,67	2,53	2,07	
Mg ²⁺ (cmol/dm ⁻³)	A	1,8	1,93	1,43	1,07	ns
	B	1,9	2,0	1,37	1,33	
Al ³⁺ (cmol/dm ⁻³)	A	0,07	0,0	0,1	0,13	ns
	B	0,13	0,0	0,1	0,17	
H+Al (cmol/dm ⁻³)	A	2,65	2,67	3,49	2,83	ns
	B	2,43	2,52	3,64	2,98	
P (mg/dm ⁻³)	A	3,33	3,67	3,0	2,1	*
	B	2,67	3,0	2,0	1,23	
K ⁺ (mg/dm ⁻³)	A	61,0	111,67	70,00	56,67	**
	B	53,0	92,67	74,67	48,0	
N total (dag/kg)	A	0,16	0,14	0,12	0,11	*
	B	0,15	0,13	0,12	0,1	
CO (dag/kg)	A	1,82	1,38	1,25	1,26	*
	B	1,39	1,29	1,22	1,31	
pH (H ₂ O)	A	4,9	6,17	4,97	4,8	ns
	B	4,83	6,1	4,83	4,73	
Período chuvoso						
Ca+Mg (cmol/dm ⁻³)	A	4,67	5,53	4,43	5,13	ns
	B	5,37	3,37	4,07	3,83	
Ca ²⁺ (cmol/dm ⁻³)	A	3,13	3,63	2,73	3,3	ns
	B	3,77	2,17	2,5	2,4	
Mg ²⁺ (cmol/dm ⁻³)	A	1,53	1,9	1,7	1,83	ns
	B	1,6	1,2	1,57	1,43	
Al ³⁺ (cmol/dm ⁻³)	A	0,0	0,0	0,0	0,03	ns
	B	0,0	0,0	0,0	0,13	
H+Al (cmol/dm ⁻³)	A	6,33	3,18	4,77	5,65	*
	B	5,89	3,83	5,09	5,2	
P (mg/dm ⁻³)	A	4,0	4,0	3,67	3,0	ns
	B	4,0	3,0	3,33	3,33	
K ⁺ (mg/dm ⁻³)	A	60,67	66,0	37,0	39,33	**
	B	56,33	38,0	98,0	71,0	
N total (dag/kg)	A	0,15	0,13	0,13	0,1	**
	B	0,13	0,1	0,09	0,08	
CO (dag/kg)	A	1,95	1,45	1,33	1,11	*
	B	1,27	1,34	1,23	1,07	
pH (H ₂ O)	A	5,33	5,7	5,23	5,9	ns
	B	5,77	5,03	5,57	5,1	

AF: amendoim forrageiro; ST: siratro; KT: kudzu tropical; CL: controle; CO: carbono orgânico; A: manutenção da cobertura; B: retirada da cobertura; ns: não significativo; *: significativo a 5% de probabilidade; **: significativo a 1% de probabilidade. As médias de 3 repetições foram submetidas à comparações múltiplas pelo teste t de Student.

A cobertura de amendoim forrageiro (AF) apresentou os valores mais altos de carbono orgânico (CO) (Tabela 4), mostrando ser uma espécie de boa potencialidade armazenadora de CO no solo, por ocasião da manutenção da cobertura. Já esta condição foi afetada com retirada da cobertura após a roçada, que levou a redução dos valores de CO para aproximadamente a metade. O AF apresenta maior produção de matéria seca de raízes e área superficial de raízes do que ST e KT (Perin, 2001).

Embora, o acúmulo de CO no solo, promovido pelo AF tenha sido significativo, não foram observadas diferenças nos teores de CO e nem influência do manejo e das condições climáticas sobre as demais coberturas. Sugere-se então que o efeito de coberturas vivas de solo sobre este atributo seja monitorado em longo prazo e em mais de duas épocas do ano. Comportamento similar ao do CO, foi registrado para os valores de N mineral, em que a cobertura de AF foi mais eficiente em estocar N ao solo. Ao passo que este elemento apresentou redução nas demais coberturas, na seguinte ordem: siratro (ST) > kudzu tropical (KT) > controle (CL).

4.2. Biomassa Microbiana do Solo

Alterações no carbono microbiano (Cmic) foram observadas nas duas condições de manejo e épocas diferentes do ano (Figura 8), com os tratamentos com manutenção da cobertura apresentando em geral, os maiores valores. Amendoim forrageiro (AF) apresentou o maior valor Cmic durante o período seco (em torno de $440 \mu\text{g/g}^{-1}$ de solo), que superou de forma significativa os valores de siratro (ST), kudzu tropical (KT) e do controle (CL). Estes tratamentos apresentaram valores de Cmic na faixa de $280 \mu\text{g/g}^{-1}$ de solo. No período das chuvas, observou-se uma redução do Cmic de aproximadamente a metade dos valores registrados no período seco. Esta redução pode ter ocorrido devido a atuação de um veranico na área experimental em período anterior à amostragem.

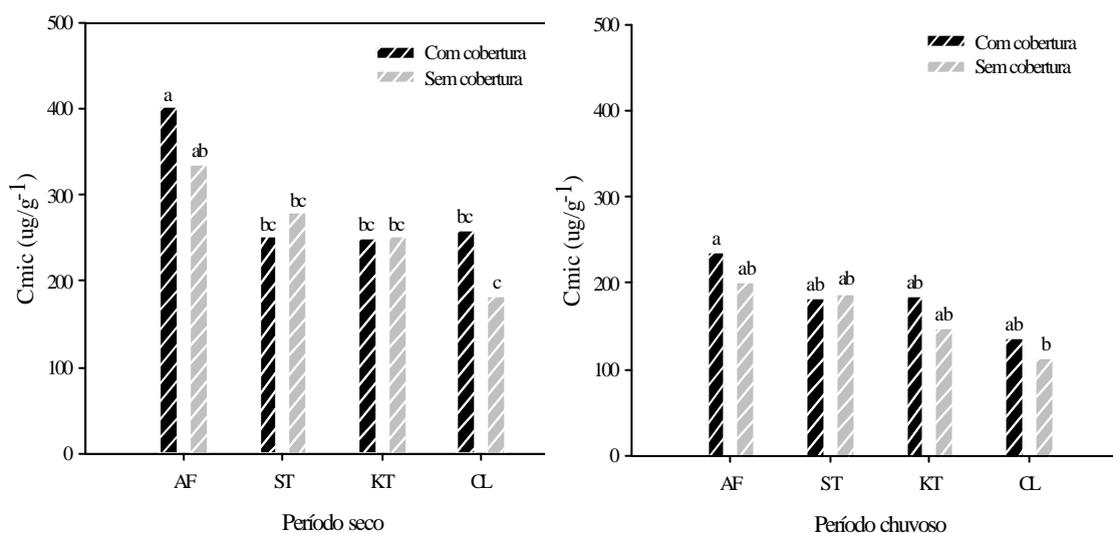


Figura 8. Carbono microbiano (Cmic), em função da manutenção e retirada da massa verde das leguminosas após a roçada. AF: amendoim forrageiro; ST: siratro; KT: kudzu tropical; CL: controle. Valores médios seguidos de mesma letra nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%.

Os valores de Cmic são baixos quando comparados aos verificados em cerrado nativo por D'Andréa et al. (2002), que encontraram valores de até $1.310 \mu\text{g/g}^{-1}$ de solo. Por outro lado, os autores encontraram valores de Cmic na pastagem de braquiária, de $666 \mu\text{g/g}^{-1}$ superando o valor obtido em sistema de cultivo convencional que foi de $213,4 \mu\text{g/g}^{-1}$. Este último valor é próximo ao encontrado nos tratamentos de coberturas vivas no presente trabalho. O cultivo de leguminosas em estreita relação com a menor perturbação mecânica do solo, eleva os níveis de Cmic (Angers et al., 1993).

Os menores valores de Cmic no verão ligados a aumentos nos valores de quociente metabólico e respiração microbiana em cobertura do solo com *Paspalum notatum* (grama batatais) indicam que a biomassa microbiana pode estar liberando nutrientes para a solução do solo, sendo absorvidos por esta cobertura ou por culturas em consórcio (Espindola et al., 2001).

Considerando estes aspectos, pode-se sugerir que os maiores valores de Cmic no tratamento com AF resultaram de oferta constante de resíduos vegetais à população microbiana, associada a uma rápida mineralização. Portanto, à curto prazo, o AF pode afetar positivamente a conservação do carbono no solo, que estaria sendo estocado na biomassa na forma de carbono microbiano, durante o período de estiagem. A biomassa microbiana também pode ter atuado como reservatório de outros nutrientes como N e P, que foram aproveitados pelas leguminosas neste período. Conseqüentemente, isso tornaria favorável um maior aporte de resíduos vegetais pelas coberturas sobre o solo refletindo em aumentos do Cmic.

4.3. Relação Cmic/CO

O quociente microbiano determinado pela relação Cmic/CO pode representar a qualidade nutricional da matéria orgânica. Este parâmetro funciona como um indicativo de aporte de carbono na biomassa microbiana em relação ao carbono orgânico do solo (Sparling, 1992). Neste estudo, a relação Cmic/CO apresentou o mesmo comportamento dos resultados de Cmic dentro das coberturas, o que não foi observado entre as duas épocas do ano (Figura 9).

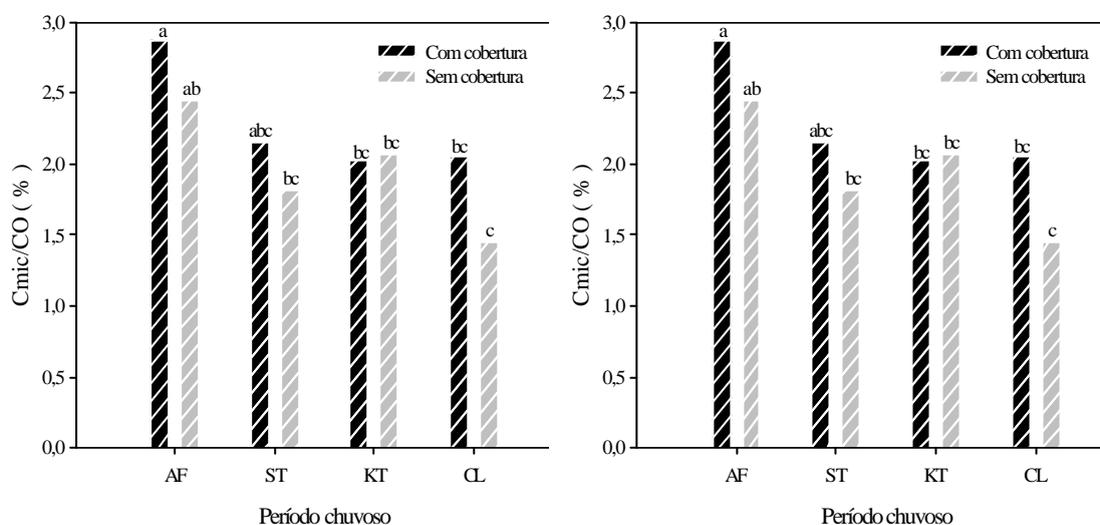


Figura 9. Relações entre o carbono microbiano e o carbono orgânico (Cmic/CO), em função da manutenção e retirada da massa verde das leguminosas após a roçada. AF: amendoim forrageiro; ST: siratro; KT: kudzu tropical; CL: controle. Valores médios seguidos de mesma letra nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%.

A contribuição do Cmic para o carbono orgânico total (CO) variou, nas duas estações do ano, de 1,2 a 2,8%, em média. Portanto, menos da metade dos valores que foram observados por D'Andréa et al. (2002), que flutuaram entre 1,52 a 8,10 %, na camada de 0-10 cm de solo, em sistemas de cultivo do solo.

O maior valor de C_{mic}/CO foi verificado no cultivo de AF (Figura 9), sugerindo que essa cobertura induz maior biomassa microbiana. Por conseguinte, este valor foi aumentado significativamente no período chuvoso quando comparado aos valores de C_{mic} dos outros tratamentos. Diferenças nos teores de CO do solo entre coberturas podem ser decorrentes do fato de que, durante o processo de decomposição da matéria orgânica não ocorre degradação completa e imediata dos resíduos vegetais. Neste sentido, pode haver a formação de compostos de maior recalcitração, o que aumentaria o acúmulo de carbono no solo (Gama-Rodrigues et al., 1999).

Na estação das chuvas, os valores da relação C_{mic}/CO foram maiores, quando comparados aos da estação seca apesar dos valores C_{mic} serem menores nesta estação, com destaque mais uma vez para o tratamento com AF. Este fato pode ser explicado por uma possível redução no conteúdo de carbono total no solo em função da maior mineralização dos resíduos vegetais, devido as melhores condições de umidade e temperatura. Deste modo, os valores da relação C_{mic}/CO foram aumentados substancialmente.

4.4. Evolução de CO_2 e Eficiência Microbiana

A respiração microbiana (RM) e o quociente metabólico (qCO_2) apresentaram diferenças significativas apenas na estação das chuvas entre as diferentes coberturas de solo (Tabela 5). Sendo que, os maiores valores de RM foram verificados na condição de manejo em que era mantida a cobertura do solo. As coberturas com ST e KT apresentaram RM e qCO_2 mais elevados (Tabela 5), ao passo que foram registrados menores valores de C_{mic} nestes tratamentos (Figura 8). Este resultado, talvez possa ser explicado pela oferta de grande quantidade de resíduos vegetais por estas duas leguminosas à população microbiana. Certamente, esta população multiplicou, ocasionando um processo de transformação mais intenso do material vegetal, conseqüentemente, um aumento da RM, o que resultaria em elevação dos valores de qCO_2 .

Tabela 5. Respiração microbiana (RM) e quociente metabólico (qCO_2), em ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, Distrófico, com coberturas de leguminosas herbáceas perenes.

Coberturas	Manejo	Período seco		Período chuvoso	
		----- RM ($\mu g/g.h$) -----		----- qCO_2 ($\eta g/\eta g.h$) -----	
AF	A	1,97aB	2,99abcA	0,63aB	1,22abA
	B	1,60aB	2,19abcA	0,61aB	1,08abA
ST	A	1,64aB	3,23abA	0,75aB	1,45aA
	B	1,39aA	1,77abcA	0,64aB	1,08abA
KT	A	1,73aB	3,40aA	0,79aB	1,19abA
	B	1,06aA	1,00cA	0,61aA	0,60cA
CL	A	0,84aB	1,72abcA	0,39aB	0,86bcA
	B	1,18aA	1,14bcA	0,84aA	0,81bcA

AF: amendoim forrageiro; ST: siratro; KT: kudzu tropical; CL: controle; A: manutenção da cobertura; B: retirada da cobertura. Valores seguidos de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%.

Houve maiores valores de qCO_2 na estação chuvosa indicando ser um período de atividade de decomposição, ou atividade microbiana, mais intensa. Aumentos da

atividade microbiana em função da elevação da umidade e temperatura do solo, com decréscimo dos teores de C_{mic} também foram relatados por Alvarez et al. (1995), confirmando o comportamento verificado neste estudo para a RM e qCO_2 , durante o período seco e chuvoso do ano. Dentre os fatores que modificam estes atributos, podemos mencionar a temperatura do ar, que quando associada à precipitação pluviométrica, dependendo das condições em que se encontram podem provocar variações na respiração e no quociente metabólico (Espindola et al., 2001), que estão intimamente associados ao teor de umidade do solo. Deste modo, pode-se deduzir que, quanto mais elevados forem os valores de qCO_2 da biomassa microbiana, mais intensa será a decomposição da matéria orgânica, provavelmente, devido ao maior aporte de N mineral e CO ao solo, o que aumenta a atividade heterotrófica dos microrganismos.

5. CONCLUSÕES

A cobertura de amendoim forrageiro (AF), induz maior quantidade de carbono microbiano (C_{mic}) no solo, especialmente na estação seca. Além de contribuir para o aumento do carbono orgânico (CO), durante a estação das chuvas, principalmente quando os resíduos são mantidos sobre o solo.

As perdas de carbono através da respiração microbiana (RM) e a eficiência microbiana, determinada pelo quociente metabólico (qCO_2), ocorrem em maior intensidade na estação das chuvas, nas condições em que são mantidas as coberturas de solo. Provavelmente, devido ao metabolismo microbiano ser maior, por ocasião de melhor oferta energética durante este período.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, R.; SANTANATOGLIA, O. J. & GARCIA, R. Effect of temperature on soil microbial biomass and its metabolic quotient in situ under different tillage systems. **Biology and Fertility of Soil**, v.19, p.227-230, 1995.

ANDERSON, T. H. & DOMSCH, K. H. Carbon assimilation and microbial activity in soil. **Zeitschrift fur Pflanzenernaehrung und Bodenkunde**, Berlin, v.149 p.457-468, 1986.

ANDERSON, T. H. & DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic-carbon in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.21, n.4, p.471-479, 1989.

ANDERSON, T. H. & DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v.22, p.251-255, 1990.

ANDERSON, T. H.; LUTTMANN, R. & SEIPP, D. Effects of foil covering on the soil microflora. **Gartenbauwissenschaft**, Stuttgart, v.63, n.1, p.1-7, 1998.

ANGERS, D. A.; BISSONNETTE, N.; LEGERE, A. & SAMSON, N. microbial and biochemical-changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. **Canadian Journal of Soil Science**, v.73, n.1, p.39-50, 1993.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A. ANDRADE, D. S. & HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p.641-649, 1998.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 105-112, 1997 a.

CATTELAN, A. J. & VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.133-142, 1990a.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O. & CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.913-923, 2002.

DE-POLLI, H & GUERRA, J. G. M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: Santos, G. A. & Camargo, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 389-411.

DE-POLLI, H. & GUERRA, J. G. M. Biomassa microbiana: perspectiva para o uso e manejo do solo. In: Alvarez, V. H.; Fontes, L. E. F. & Fontes, M. P. F. (Ed.) **O Solo**

nos Grandes Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado. Viçosa: SBCS, 1996. p. 551-564.

DUDA, G. P. **Caracterização da biomassa microbiana e fósforo orgânico em diferentes solos e coberturas vegetais.** Seropédica, 2000. 162 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

EUCLYDES, R. F. **Manual de utilização do programa SAEG** (Sistema Para Análises Estatísticas e Genéricas). Viçosa, MG: Imprensa Universitária, 1983. 59p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos SNLCS, Rio de Janeiro, 1979. não paginado.

ESPINDOLA, J. A. A.; de ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M. & da SILVA, E. M. R. Flutuação sazonal da biomassa microbiana e teores de nitrato e amônio de solo coberto com *Paspalum notatum* em um agroecossistema. **Floresta e Ambiente**, v.8, n.1, p.104-113, 2001.

GAMA-RODRIGUES, E.F.da & DE-POLLI, H. Biomassa na Ciclagem de Nutrientes. In: **XXV Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas; VIII Reunião Brasileira Sobre Micorrizas; VI Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo; e III Reunião Brasileira de Biologia do Solo. Biodinâmica do Solo**, Fertbio 2000. 22 a 26 de outubro de 2000. Santa Maria-RS. CD ROOM. Palestra...

GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. & MENDONÇA, E. S. Alterações edáficas sob plantios puros e mistos de espécies florestais nativas do Sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 23, p.581-592, 1999.

GERALDES, A. P. A.; CERRI, C. C. & FEIGL, B. J. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazônia. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Campinas, v. 19, p. 55-60, 1995.

INSAM, H. & DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, v.15, p.177-188, 1988.

INSAM, H.; MITCHELL, C. C. & DORMAAR, J. F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of 3 Ultisols. **Soil Biology and Biochemistry**, v.23, n.5, p.459-464, 1991.

JENKINSON, D. S. & LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Paul, E. A. & Ladd, J. N. (Ed.) **Soil biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1981, v.5, p.415-471.

JENKINSON, D. S. & POWLSON, D. S. Effects of biocidal treatments on metabolism in soil: method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v.8, n.3, p. 209-213, 1976.

JENKINSON, D. S. & RAYNER, J. H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted Classical Experiments. **Soil Science**, v.123, p.298-305, 1977.

MÄDER et al. Soil Ecology-Impact of organic and conventional agriculture on soil biota and its significance for soil fertility. In: Ostergaard, T. V. (Ed.) **Fundamental of Organic Agriculture, Proceedings 1**. Copenhagen: 11Th I FOAM International Scientific Conference, 1996. p. 24-40.

PERIN, A. **Desempenho de leguminosas herbáceas perenes com potencial de utilização para cobertura viva e seus efeitos sobre alguns atributos físicos do solo**. Seropédica, 2001. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Curso de pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

PIMENTEL, M. S. **Atributos microbianos e edáficos em produção orgânica de olerícolas comparado com pasto e fragmento de mata secundária**. Seropédica, 2001. 142 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C. & CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic-matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, n.2, p.159-164, 1987.

PFENNING, L.; EDUARDO, B de P. & CERRI, C. C. Os métodos de fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana de solos da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.31-37, 1992.

REYNOLDS, B. C. & HUNTER, M. D. Responses of soil respiration, soil nutrients, and litter decomposition to inputs from canopy herbivores. **Soil Biology and Biochemistry**, v.33, n. 12-13, p.1641-1652, 2001.

SAFFIGNA, P. G.; POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C. & THOMAS, G. A. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic-matter and soil microbial biomass in an Australian Vertisol. **Soil Biology and Biochemistry**, v.21, n.6, p.759-765, 1989.

SILVA, L. DE M. V. da. & PASQUAL, A. Dinâmica e modelagem da matéria orgânica do solo com ênfase ao ecossistema tropical. **Energia na Agricultura**, v.14, n.3, p.13-24, 1998.

SMITH, J. L. & PAUL. E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J. M. & STOTSKY. G. (Ed.) **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1990. p.357-398.

TATE, K.R.; ROSS, D.J.; RAMSAY, A.J. & WHALE, K.N. Microbial biomass and bacteria in 2 pasture soils: an assessment of measurement procedures, temporal variations, and the influence of p fertility status. **Plant and Soil**, v.132, n.2, p.233-241, 1991.

VARGAS, L. K. & SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p.35-42, 2000.

WANDER, M. M. & TRAINA, S. J. organic matter fractions from organically and conventionally managed soils: carbon and nitrogen distribution. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, n.4, p.1081-1087, 1996.

WANDER, M. M & TRAINA, S. J. Organic matter fractions from organically and conventionally managed soils: characterization of composition. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, n.4, p.1087-1094, 1996.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors with influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Reviews**, Cambridge, v.67, p.321-358, 1992.

7. CONCLUSÕES FINAIS

Fica evidenciada a importância de se testar as espécies micorrízicas que foram mais agressivas no processo de colonização da rizosfera das hortaliças e fruteiras, quanto a sua eficiência simbiótica frente a diferentes doses de P, variações sazonais e culturas de interesse agrícola, para posteriormente serem utilizadas em inoculações de mudas no SIPA. Deste modo, mudas recém transplantadas para as áreas de cultivo poderiam ser favorecidas pela presença de espécies pioneiras na aquisição de fósforo, micronutrientes e água nos primeiros dias de estabelecimento.

Os atributos carbono microbiano (C_{mic}), respiração microbiana (RM) e a eficiência microbiana, determinada pelo quociente metabólico (qCO_2) podem indicar efeitos originários tanto do aporte de resíduos vegetais das plantas leguminosas herbáceas perenes ao solo, como da sazonalidade na matéria orgânica, dando suporte a escolha de espécies vegetais para a cobertura de solo e práticas mais adequadas de manejo.

8. ANEXOS

Tabela 1. Valor F e coeficiente de variação da análise de variância de número de esporos e colonização micorrízica.

Fonte de variação	Esporos/50 g de solo seco		Colonização micorrízica (%)	
	Período seco	Período chuvoso	Período seco	Período chuvoso
Tratamento	7,08	40,13	11,09	9,54
	22,44	26,59	3,85	5,74

Tabela 2. Valor F e coeficiente de variação da análise de variância de carbono microbiano (Cmic) e respiração microbiana (RM).

Fonte de variação	Cmic ($\mu\text{g/g}$)		RM ($\mu\text{g/g} \cdot \text{h}$)	
	Período seco	Período chuvoso	Período seco	Período chuvoso
Tratamento	3,79	1,57	0,93	2,21
	21,19	31,24	47,59	49,93

Tabela 3. Valor F e coeficiente de variação da análise de variância de quociente metabólico ($q\text{CO}_2$).

Fonte de variação	$q\text{CO}_2$, ($\eta\text{g}/\eta\text{g} \cdot \text{h}$)	
	Período seco	Período chuvoso
Tratamento	0,89	4,32
	39,39	21,68

Tabela 4. Valor F e coeficiente de variação da análise de variância da relação carbono microbiano/carbono orgânico (Cmic/CO).

Fonte de variação	Cmic/CO (%)	
	Período seco	Período chuvoso
Tratamento	3,03	2,61
	19,72	35,15