

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS
HÍDRICOS

**OCORRÊNCIA E DIVERSIDADE DE FUNGOS
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM UM ECOSSISTEMA
CAFEEIRO SUBMETIDO A DIFERENTES MÉTODOS DE
CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS**

EMILIENNE MARGUERITTE SILVE

Itajubá (MG)

Outubro 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS
HÍDRICOS

EMILIENCE MARGUERITTE SILVE

**OCORRÊNCIA E DIVERSIDADE DE FUNGOS
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM UM ECOSISTEMA
CAFEIEIRO SUBMETIDO A DIFERENTES MÉTODOS DE
CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio ambiente e Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Rogério Melloni

Itajubá (MG)

Outubro 2011

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Cristiane Carpinteiro- CRB_6/1702

S587o

Silve, Emilienne Margueritte

Ocorrência e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em um ecossistema cafeeiro submetido a diferentes métodos de controle de plantas daninhas. / por Emilienne Margueritte Silve. -- Itajubá (MG) : [s.n.], 2011.

78 p.: il.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Melloni.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Micorriza. 2. Sustentabilidade. 3. Controle de plantas daninhas. 4. Cafeeiro. 5. Colonização radicular. I. Melloni, Rogério, orient. II. Universidade Federal de Itajubá. III. Título.

EMILIENNE MARGUERITTE SILVE

OCORRÊNCIA E DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES EM UM ECOSSISTEMA CAFEEIRO SUBMETIDO A
DIFERENTES MÉTODOS DE CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS

APROVADA em 06 de Outubro de 2011.

Dr. Elifas Nunes de Alcântara (EPAMIG)

Profª. Dra. Eliane Guimarães Pereira Melloni (UNIFEI)

Profª. Dra. Maria Inês Nogueira Alvarenga (UNIFEI)

Prof. Dr. Rogério Melloni (UNIFEI)
(Orientador)

Itajubá (MG)

Outubro 2011

Ao Divino Pai Eterno e Nossa Senhora
Aparecida por me darem às mãos e me
guiarem, principalmente durante a
tempestade e a escuridão.

OFEREÇO

A minha família, razão do meu ser.
Ao meu esposo Ulysses, pelo amor.
Enfim, a todos que acreditaram em mim.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e pelas inúmeras graças a mim concedidas.

À Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), especialmente ao Instituto de Recursos Naturais, pela oportunidade da realização do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Rogério Melloni, pela orientação, ensinamentos, amizade e confiança, ao longo dos anos de trabalho.

A todos os professores da Pós-Graduação pelos ensinamentos transmitidos e pela infinita paciência, em especial as professoras Dra. Eliane e Dra. Maria Inês por fazerem parte da minha banca examinadora e assim, contribuírem com meu trabalho.

Ao pesquisador Dr. Elifas Nunes Alcântara por conceder a área para o estudo, auxiliar no desenvolvimento e transmitir informações e conhecimentos imprescindíveis para o desenvolvimento do presente trabalho.

Ao funcionário do laboratório Paulo Sérgio Marques, pelos ensinamentos, paciência e acima de tudo pela amizade e risadas proporcionadas por horas de conversa.

Às secretárias da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPPG), em especial à Magda S. Abranches.

Aos colegas de trabalho no laboratório pelo auxílio nos diversos momentos.

Aos funcionários Tânia Aparecida de Souza Barbosa, João Luiz da Silva e Jorge Luiz da Silva, pela amizade e carinho.

A todos os colegas da pós-graduação, especialmente à Priscila Maria Martins Lisboa, por sua ajuda nas análises estatísticas, paciência, amizade e companheirismo.

A minha família por apoiar e acreditar em mim e me amparar em todos os momentos, a meus pais Noel e Ana, minhas irmãs Anne Noelle e Isabelle, minha sobrinha Maria Fernanda. Amo vocês.

As minhas tias Suzete e Marceline, pelos inúmeros livros rabiscados na infância, que me ensinaram a importância e o gosto em estudar.

E enfim, ao meu esposo Ulysses, por acreditar em mim, pelo apoio nos momentos difíceis, pela compreensão, amor, amizade e acima de tudo pela espera.

RESUMO

SILVE, E. M. **Ocorrência e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em um ecossistema cafeeiro submetido a diferentes métodos de controle de plantas daninhas.** 2011. 79p. Dissertação Mestrado (Meio ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Itajubá. Itajubá

A manutenção de uma comunidade diversificada e ativa de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em ecossistemas agrícolas é importante para a sustentabilidade das culturas como a do cafeeiro. O manejo eficiente do solo e das culturas parece ser a alternativa mais apropriada para manter ou aumentar a diversidade de espécies e o potencial de inóculo dos FMAs. Esse trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes métodos de controle de plantas daninhas exercidos na entrelinha do cafeeiro, sobre a ocorrência e diversidade deste grupo de microrganismos. A amostragem foi realizada em uma lavoura de café implantada em 1974, na Fazenda Experimental da EPAMIG, em São Sebastião do Paraíso (MG). Os métodos de controle de plantas daninhas, considerados como tratamentos, foram: roçadora, grade, enxada rotativa, herbicidas de pré e pós-emergência, capina manual e sem capina. Foram quantificados atributos micorrízicos como intensidade e porcentagem de colonização, comprimento de micélio ativo e total no solo, densidade e diversidade de esporos, na linha do cafeeiro e na entrelinha, onde foram aplicados os tratamentos. Os métodos de controle de plantas daninhas roçadora e sem capina apresentam um caráter conservativo no que se refere à manutenção ou melhoria de atributos micorrízicos, principalmente com relação à colonização micorrízica, micélio extrarradicular ativo e total, densidade e diversidade na linha do cafeeiro. O uso de herbicidas promove impactos negativos nos FMAs, interferindo a ocorrência do processo simbiótico e podendo comprometer a sustentabilidade deste ecossistema estudado.

Palavras-chave: Micorriza, sustentabilidade, controle de plantas daninhas, micélio, esporos, colonização radicular, cafeeiro.

ABSTRACT

SILVE, E. M. **Occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in an ecosystem coffee subjected to different methods of weed control**. 2011. 79p. Master Thesis (Environment and Water Resources). Federal University of Itajubá. Itajubá

The maintenance of a diverse and active community of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in the agricultural ecosystem it is important for the sustainability of agro-systems such as coffee. The efficient management of soil and crop seems to be the most appropriate alternative to maintain or increase the diversity of species and the potential inoculum of AMF. This study aimed to evaluate the effect of different methods of weed control exercised in inter row the coffee plants, on the occurrence and diversity of this microbial group. Sampling was carried out in a coffee plantation, established in 1974 at the Experimental Farm of EPAMIG in São Sebastião do Paraíso (MG). The methods of weed control, considered as treatments, were: mower, coffee tandem disk harrow, rotary tiller, pre and post-emergence herbicide, manual hoe and no weed control. The followed attributes were quantified: intensity and mycorrhizal colonization, total and active length of mycelium in the soil, spore density and diversity, in row and inter row coffee plants, where the treatments were applied. The methods no weed control and mover can be considered as conservative with regard to the maintenance or improvement of mycorrhizal attributes, especially in relation to root colonization, total and active mycelium, density and diversity in the coffee line. The use of herbicides promotes negative impacts on the AMF, interfering with the occurrence of symbiotic process and possibly compromising the sustainability of this studied ecosystem.

Keywords: Mycorrhiza, sustainability, weed control, mycelium, spores, root colonization, coffee.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização de São Sebastião do Paraíso em Minas Gerais (Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Sebasti%C3%A3o_do_Para%C3%ADso).....	21
Figura 2 - Croqui do experimento, localizada na Fazenda Experimental da EPAMIG, São Sebastião do Paraíso, MG.....	23
Figura 3- Vista parcial da entrelinha (rua) com tratamento para controle de planta daninha A- Roçadora, B- Grade, Fazenda Experimental da EPAMIG, São Sebastião do Paraíso, MG.....	23
Figura 4 - Vista parcial da entrelinha (rua) com tratamento para controle de planta daninha A- Enxada Rotativa, B- Herbicida pré-emergência (residual), Fazenda Experimental da EPAMIG, São Sebastião do Paraíso, MG.....	24
Figura 5 - Vista parcial da entrelinha (rua) com tratamento para controle de planta daninha A- Herbicida pós-emergência (contato), B- Capina Manual, Fazenda Experimental da EPAMIG, São Sebastião do Paraíso, MG.	24
Figura 6 – Vista parcial da entrelinha (rua) com tratamento sem capina, Fazenda Experimental da EPAMIG, São Sebastião do Paraíso, MG.	24
Figura 8 - Coleta das amostras na entrelinha e na proximidade das raízes do café na linha.....	27
Figura 7- Croqui da coleta da parcela útil experimental, localizada na Fazenda Experimental da EPAMIG, São Sebastião do Paraíso, MG. As bolas azuis representam os locais de amostragem na entrelinha e as bolas vermelhas os locais de amostragem na linha do café.....	27
Figura 9- Desinfestação da ferramenta de coleta com água e álcool 70%, a cada troca de tratamento ou repetição.	28
Figura 10 - Procedimento de clarificação e coloração das raízes: A – cozimento em banho-maria a 90°C em KOH 10%; B – clarificação com H ₂ O ₂ a 3%; C – coloração com solução de ácido acético 5% e tinta de caneta tipo tinteiro; D- Raízes coradas armazenadas em recipientes plásticos identificados.	28
Figura 11 - Análise de intensidade de colonização radicular: A – Montagem da lâmina; B - Lâmina de microscopia com 10 segmentos de raízes; C – Observação dos segmentos de raízes em microscópio óptico.....	29
Figura 12 – Análise da porcentagem de colonização: A – Placa quadriculada com raízes em solução; B- Contagem de interseções de raízes colonizadas e não colonizadas na placa quadriculada.	29
Figura 13 - Extração de micélio extrarradicular A- pesagem da amostra de solo, B - peneiramento do solo e transferência para 1500 mL de água de torneira, C - agitação mínima durante 30 s no liquidificador, D - alíquota de 500 mL, E - peneiramento em malha de 0,045 mm e F - transferência para frasco de 11 mL.....	30
Figura 14 - Coloração de micélio extrarradicular ativo: A - filtração a vácuo B - membrana quadriculada e delimitada C - microscópio de epifluorescência.	31

Figura 15 - Micélio extrarradicular total e micélio extrarradicular ativo, diferenciação da hifa considerada na contagem. A- hifas em meio a partículas de argila, B e C - micélio extrarradicular ativo sob luz UV em microscópio de epifluorescência (aumento de 100 vezes).	32
Figura 16- Esquema de contagem do micélio extrarradicular: A- Membrana quadriculada com destaque para a área de contagem (64 campos 8x8); B - exemplificando a contagem (ANDRADE, 2009).	32
Figura 17- Procedimento de extração de esporos: A – Retirada da amostra 50 mL de volume de solo; B- Lavagem do solo em água; C- Peneiramento úmido; D- Material transferido da peneira de 0,053mm para tubo de centrífuga; E– Solução após sucessivas centrifugações; F – Placa circuncêntrica e lupa microscópica.	33
Figura 18 - Análise multivariada dos métodos de controle de plantas daninhas e dos atributos microbiológicos analisados na linha (L) e entrelinha (E) do cafeeiro. Métodos de controle: RÇ (Roçadora), GR (Grade), RT (Enxada rotativa), HC (Herbicida de pós-emergência), HR (Herbicida de pré-emergência), CM (Capina manual), SC (Sem capina). Atributos micorrízicos: IC (Intensidade Colonização), PC (Porcentagem colonização), MET (Micélio extrarradicular total), MEA (Micélio extrarradicular ativo), DE (Densidade esporos), H' (Diversidade).	46
Figura 19 - Análise multivariada dos métodos de controle de plantas daninhas, os atributos microbiológicos, análise física, química e produção na linha (L) e entrelinha (E) do cafeeiro. Métodos de controle: RÇ (Roçadora), GR (Grade), RT (Enxada rotativa), HC (Herbicida de pós-emergência), HR (Herbicida de pré-emergência), CM (Capina manual), SC (Sem capina). Atributos micorrízicos: IC (Intensidade Colonização), PC (Porcentagem colonização), MET (micélio extrarradicular total), MEA (Micélio extrarradicular ativo), DE (Densidade esporos), H' (Diversidade).	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Exemplos de herbicidas de pré e pós-emergência recomendados para cafeeiro em formação e/ou produção.....	10
Tabela 2. Teores de óxidos totais extraídos pelo ataque sulfúrico e granulometria em do Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) cultivado com cafeeiros, localizado na Fazenda Experimental da EPAMIG, São Sebastião do Paraíso.	22
Tabela 3. Caracterização dos métodos de controle selecionados para o experimento.	25
Tabela 4. Médias de intensidade (ICM) e porcentagem de colonização micorrízica (PCM) sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas. EPAMIG, São Sebastião do Paraíso (MG), 2010.	35
Tabela 5. Médias do comprimento micélio extrarradicular total (MET) e ativo (MEA) sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas. EPAMIG, São Sebastião do Paraíso (MG), 2010.....	38
Tabela 6. Número médio de esporos em 50 g de amostra de solo (Densidade), média da diversidade obtida pelo índice de Shannon Weaver sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas, em São Sebastião do Paraíso (MG).....	41
Tabela 7. Espécies de FMAs identificados nos locais de amostragem sob os diferentes métodos de controle de plantas daninhas. EPAMIG, São Sebastião do Paraíso (MG), 2010	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Aspectos Gerais do Cafeeiro.....	3
2.2 Plantas Daninhas na Cultura do Café	4
2.3 Métodos de Controle de Plantas Daninhas	7
2.3.1 Medidas mecânicas	7
2.3.2 Medidas químicas.....	9
2.3.3 Manejo de plantas invasoras e impactos sobre a qualidade do solo	10
2.4 Micorriza em Cafeeiro	12
2.4.1 Importância agrícola e ambiental	13
2.4.2 Densidade e diversidade.....	15
2.4.3 Impactos do manejo sobre as micorrizas	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 Localização e Caracterização da Área Experimental.....	21
3.2 Delineamento Experimental	22
3.3 Condução do Experimento e Controle das Plantas Daninhas.....	25
3.4 Amostragem.....	26
3.5 Avaliação da Porcentagem e da Intensidade de Colonização Radicular	28
3.6 Determinação de Micélio Extrarradicular Total e Ativo de FMAs	30
3.7 Avaliação da Densidade e Diversidade de Esporos de FMAs.....	33
3.8 Análises Físicas e Químicas	34
3.9 Análises Estatísticas.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Colonização Micorrízica.....	35
4.2 Micélio Extrarradicular.....	37

4.3 Densidade e Diversidade de Esporos.....	40
4.4 Análise multivariada dos métodos de controle nos atributos do solo.....	45
5. CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXO A	64
ANEXO B	65

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, sendo responsável por cerca de 35% do mercado mundial. O estado de Minas Gerais é o maior produtor nacional, responsável por mais de 50% da produção nacional, com extensas áreas de monocultivo a pleno sol, movimentando a economia através da produção, geração de empregos e renda nas regiões cultivadas.

A abertura dos mercados asiáticos e maior exigência dos consumidores por produtos saudáveis de origem conhecida, obtidos por procedimentos sustentáveis como os sistemas orgânicos ou de produção integrada, tem levado os agricultores e pesquisadores a repensar o modelo atual de produção agrícola. Nestes sistemas sustentáveis a cultura é considerada desde a formação da muda, até a colheita, com preocupações quanto ao uso de agrotóxicos, fertilizantes químicos, vigor fisiológico, qualidade nutricional e sanitária.

Em todas as culturas, o controle de plantas daninhas é uma prática comum e essencial, uma vez que a competição com a cultura pode diminuir significativamente a produção, em especial a do cafeeiro. Essa prática tem sido realizada por meio de técnicas manuais, mecanizadas e/ou químicas, constituindo em grande parte os custos da produção, e uma fonte de impacto ambiental, principalmente no solo. Apesar da importância desta prática de manejo, estudos que relacionem a ação dos diferentes métodos de controle de plantas daninhas sobre os atributos microbiológicos, principalmente em grupos microbianos funcionais específicos como os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), são escassos.

As comunidades dos microrganismos do solo são dinâmicas e estão continuamente adaptando às condições ambientais, influenciando os demais atributos do solo. Por isto, são considerados, por muitos pesquisadores, como ótimos indicadores da qualidade do solo e de impactos nele provocados. Os FMAs são um grupo importante para as culturas e para o solo, uma vez que sua simbiose com as plantas traz inúmeros benefícios como maior eficiência na absorção de nutrientes de baixa mobilidade, principalmente P, micronutrientes como o Cu e Zn, melhoria na relação água-planta, melhoria na estabilidade de agregados, maior resistência a patógenos, entre outros.

O manejo do solo visando favorecer a atividade biológica pode aumentar a ocorrência, diversidade de FMAs e sua eficiência simbiótica, podendo ser significativo para a obtenção de cultivos produtivos e sustentáveis, tanto em áreas de solos férteis quanto em áreas que apresentam baixa aptidão aos cultivos comerciais, apresentando um grande potencial biotecnológico para a agricultura e qualidade ambiental.

A avaliação do efeito da prática de controle de plantas daninhas no ecossistema cafeeiro tem sido realizada na Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (EPAMIG), em São Sebastião do Paraíso (MG), desde meados da década de 70. As pesquisas foram direcionadas ao levantamento de alterações nos atributos físicos e químicos do solo advindas dos diferentes métodos de controle de plantas daninhas. No entanto, levantamento de atributos biológicos, principalmente os microbiológicos, não tem sido realizado, comprometendo um amplo entendimento dos impactos e da própria sustentabilidade do cultivo.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes métodos de controle de plantas daninhas exercidos na entrelinha do cafeeiro, na ocorrência e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares tanto na entrelinha quanto na linha de cultivo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos Gerais do Cafeeiro

O cafeeiro é uma planta originária dos sub-bosques das florestas tropicais da Etiópia e sul do Sudão, localizados em altitudes de 1600 a 2000 m, com clima ameno e úmido, e uma estação seca por um período de dois a quatro meses (MATSUMOTO, 2004). O café nativo é tolerante à sombra e apresenta estresse na presença de excesso de luminosidade e temperaturas elevadas. No Brasil as temperaturas médias anuais ideais para o desenvolvimento do cafeeiro (*Coffea arabica*) situam-se entre 18°C e 23°C. Quando a temperatura é inferior a 18°C ocorre um estresse térmico e a diferenciação floral é prejudicada. Em temperaturas entre 28°C e 33°C ocorre redução na produção de folhas e, conseqüentemente, na atividade fotossintética da planta, e em temperaturas superiores a 34°C podem ocorrer o abortamento floral e, com isso, perda da produtividade de grãos (SEDIYAMA et al., 2001).

A cafeicultura nacional caracteriza-se por extensas áreas de monocultivo a pleno sol, sendo o Brasil o maior produtor mundial de café, responsável por 34% do mercado internacional em 2008. De acordo com Rosa (2007), tal volume equivale à soma da produção dos outros cinco maiores países produtores: Vietnã, Colômbia, Indonésia, Etiópia e Índia. Merece destaque o estado de Minas Gerais que representa cerca de 50% da produção nacional, superando países como Vietnã e Colômbia em produção.

No Brasil, as espécies de interesse e importância comercial são o *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, perfazendo 100% da produção nacional. A produção nacional de café arábica (*Coffea arabica*) é aproximadamente 32,18 milhões de sacas, representando 73,9% da produção do país, e tem como maior produtor o Estado de Minas Gerais, com 67,9% (21,85 milhões de sacas) de café beneficiado. A produção do café robusta (*Coffea canephora*) representa 26,1% do café beneficiado, sendo o Estado do Espírito Santo o maior produtor com 71,2% da produção (8,1 milhões de sacas) (CONAB, 2011).

A demanda na produção mundial cafeeira acompanha o ritmo de crescimento populacional, aumentando expressivamente. Porém, as áreas ocupadas pela cultura não cresceram nas mesmas proporções. Os cultivos tornaram-se mais adensados, com o número de plantas por hectare passando de 800-1500 plantas ha⁻¹ para 3000-7000 plantas ha⁻¹, os chamados cultivos adensados (THEODORO et al., 2003). Este tipo de sistema aumenta a produtividade por área do cafezal, sendo uma tendência mundial em várias culturas, e têm

como finalidade explorar, de maneira mais adequada, o solo e ter maior retorno financeiro por hectare (ALMEIDA et al., 2011). Segundo Pavan et al. (1997 apud THEODORO et al. 2003) este tipo de cultivo a longo prazo reduz a erosão do solo, aumenta os conteúdos de matéria orgânica e de nutrientes no solo. Porém, esta afirmação é contestada por Donald (2004 apud COELHO 2008) que afirma que o cultivo adensado é mais exigente em água e nutriente e, geralmente, deixa o solo mais desprotegido, principalmente durante a colheita, favorecendo a erosão.

A produtividade do café é altamente dependente de fatores fisiológicos, tratos culturais e ambientais. Alguns fatores, como lavouras antigas, deficiências nutricionais, estresses abióticos e bióticos, baixa tecnologia de produção e manejo inadequado da cultura e das plantas daninhas podem afetar significativamente a produção (CAIXETA et al., 2008; SILVA et al., 2008) e a longo prazo comprometer a sustentabilidade da lavoura.

2.2 Plantas Daninhas na Cultura do Café

As plantas daninhas ou plantas invasoras são plantas pioneiras que ocupam áreas ou locais onde a cobertura natural foi removida e o solo tornou-se exposto. Estas plantas infestam várias áreas de interesse humano, principalmente as áreas agrícolas. Possuem elevada agressividade, rápido poder de estabelecimento e perpetuação devido à grande produção de sementes, agentes de polinização inespecíficos, germinação desuniforme, crescimento inicial rápido, plasticidade fenotípica, ciclo curto, grande capacidade de absorção de elementos minerais e água, favorecendo assim seu estabelecimento em diferentes sistemas (PITELLI, 1987; MYERS; ANDERSON, 2003).

O cafeeiro é extremamente sensível e suscetível à competição exercida pelas plantas daninhas, principalmente durante o período das chuvas, que no Brasil vai de outubro a abril, prejudicando o florescimento e a frutificação, podendo levar à queda de produção em cerca de 80% (BLANCO et al., 1982 apud ALCÂNTARA; FERREIRA, 2000a). Esta alta sensibilidade da lavoura cafeeira à interferência das plantas daninhas pode ser atribuída à competição por nutrientes (RONCHI et al., 2003, RONCHI; SILVA, 2006), luz, água, minerais essenciais e espaço (PITELLI, 1985).

Na área de estudo desta dissertação, Alcântara (1997) encontrou as seguintes espécies de plantas daninhas, no início do plantio: capim-marmelada [*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitch.], predominante entre as gramíneas, e ainda, capim-colchão (*Digitaria*

horizontalis Willd.), e capim pé-de-galinha [*Eleusine indica* (L.) Gaertn.], predominante nos períodos secos, e grama seda (*Cinodon dactylon*). Dentre as dicotiledôneas, o picão-preto (*Bidens pilosa* L.), as guanxumas (*Sida* spp), o caruru (*Amaranthus viridis* L. e *A spinosus* L.), beldroega (*Portulaca oleracea* L.), buva (*Erigeron bonariensis* L.), falsa-serralha (*Emilia sonchifolia* DC.), picão-branco (*Galinsoga parviflora* Cav.) e carrapicho de carneiro (*Acanthos permum hispidum*). No final do período das chuvas: poaia branca (*Richardia brasiliensis*), poaia rosa (*Barreira alata*), nabiça (*Raphanus raphanistrum*), apaga-fogo (*Alermaria ficoidea*) e amendoim bravo (*Euphorbia* spp). Cabe ressaltar que as espécies de plantas daninhas associadas ao ecossistema cafeeiro variam conforme a região e o tipo de solo.

Os efeitos negativos das plantas daninhas sobre o cafeeiro é tema de diversas pesquisas. Ronchi et al. (2003), avaliando os efeitos da interferência de sete espécies de plantas daninhas (*Bidens pilosa*, *Commelina diffusa*, *Leonurus sibiricus*, *Nicandra physaloides*, *Richardia brasiliensis*, *Sida rhombifolia*, *Brachiaria decumbiens*) no conteúdo relativo de macro e micronutrientes da massa seca da parte aérea de plantas de café cultivadas em casa de vegetação, verificaram que *B. pilosa*, *C. diffusa*, *L. sibiricus* e *R. brasiliensis*, mesmo em baixas densidades, promoveram decréscimos consideráveis no conteúdo relativo de nutrientes no tecido vegetal. A espécie *B. pilosa* extraiu a maior quantidade de nutrientes, enquanto *N. physaloides* e *S. rhombifolia* foram as espécies com menor interferência ao cafeeiro.

Em outro estudo, Ronchi e Silva (2006) avaliaram os efeitos da competição das mesmas espécies de plantas daninhas sobre o crescimento de café cultivado em casa de vegetação, por meio da avaliação da altura, diâmetro do caule, número de folhas e massa seca da parte aérea. Observaram que os efeitos da competição de *N. physaloides* e *S. rhombifolia* sobre as plantas de café foram menores comparados àqueles causados pelas demais espécies de plantas daninhas. As demais espécies, principalmente com o incremento da sua densidade, causaram severa redução no crescimento do cafeeiro. Este mesmo efeito foi observado por Dias et al. (2005), em mudas de café sob efeito da competição com a trapoeraba (*Commelina benghalensis*), afetando significativamente a área foliar e a biomassa seca de folhas das mudas de café tanto no inverno quanto no verão.

Em outro estudo complementar, Ronchi et al. (2007), avaliando os efeitos da competição das espécies sobre o crescimento, concentração e conteúdo de nutrientes no sistema radicular das plantas de café, verificaram que a massa seca do sistema radicular das plantas de café reduziu-se linearmente com o aumento da densidade de *B. pilosa* e de *S.*

rhombofolia, com efeito mais pronunciado em *B. pilosa*. A espécie *C. diffusa* foi à única que não reduziu o acúmulo de matéria seca no sistema radicular das plantas de café. *L. sibiricus*, *N. physaloides* e *R. brasiliensis* reduziram a massa seca da raiz do café em 75 e 47%, respectivamente, comparado ao tratamento livre de interferência, independentemente da densidade de plantas daninhas. Sob competição, apesar de apresentarem, no seu sistema radicular, concentrações de macronutrientes (exceto para P) inferiores àquelas do café, as plantas daninhas acumularam 4,2 (N), 12,3 (P), 4,3 (K), 5,5 (Ca), 7,6 (Mg) e 4,4 (S) vezes mais nutrientes nas raízes que as plantas de café. Em todos os estudos, o grau de interferência variou com a espécie e com a densidade das plantas daninhas.

Todavia, há também benefícios da presença de plantas daninhas na entrelinha da lavoura cafeeira, como controle da erosão, reciclagem de nutrientes e sustentabilidade da lavoura (BAUMANN et al., 2001), além de melhorias na estruturação do solo, favorecimento de insetos benéficos que podem atuar no controle biológico de pragas (COBBUCI et. al, 1999) ou como nutricêuticos e fitodescontaminantes (CHRISTOFFOLETI, 2001). De acordo com Rizzo (2000), o capim braquiária presente em pomares de citros, outra planta perene semelhante ao cafeeiro, é benéfico à estruturação do solo em médio prazo. Avaliando o efeito do capim braquiária em um pomar degradado pela compactação, após 30 e 78 meses, sua capacidade recuperadora da estrutura do solo foi observada por meio do crescimento do sistema radicular fasciculado nas fissuras naturais do perfil. Além disto, a geração de polissacarídeos resultantes da decomposição da matéria orgânica produzido pelo capim braquiária teve grande efeito na microagregação, principalmente nas camadas superficiais do solo, reabilitando a estrutura e diminuindo a resistência à penetração das raízes.

O manejo intensivo de plantas daninhas é uma das práticas mais realizadas na agricultura, causando preocupação do ponto de vista agrícola e ambiental (YANG et al., 2007). Se manejada de forma inadequada, pode diminuir o potencial produtivo do solo, constituindo uma grande ameaça para a sustentabilidade e produtividade agrícola e qualidade do ambiente (LAL, 1989; REICOSKY et al., 1995 apud FACCI, 2008). Pode, ainda, ter efeito indireto sobre a colonização micorrízica pela morte das plantas espontâneas, hospedeiras e fontes de inóculos de FMA's (SCHREINER et al, 2001).

Segundo Araújo-Junior (2010), os processos do solo mais impactados com o controle de plantas daninhas são a dinâmica e o acúmulo de carbono orgânico, a ciclagem de nutrientes e geração de cargas negativas no solo, retenção de água pelo solo, resistência mecânica e capacidade de suporte de carga dos solos.

Na maioria dos casos, as plantas daninhas são vistas pelos produtores apenas como competidoras e com impactos negativos (RONCHI et al., 2003; RONCHI; SILVA, 2006; RONCHI et al., 2007), e, por isto, são erradicadas do cafezal, devido à grande divulgação de resultados de pesquisa que evidenciam tais impactos. Poucos estudos evidenciam o efeito benéfico destas espécies. Além disto, estudos que relacionam a ação dos sistemas de manejo do solo, principalmente o controle das plantas daninhas e seus efeitos nos atributos físicos, químicos e, particularmente, os biológicos do solo, ou seja, sobre a qualidade do solo, são escassos, não permitindo um entendimento dos efeitos dos sistemas de manejo sobre a sustentabilidade da lavoura (SANTOS M., 2005).

2.3 Métodos de Controle de Plantas Daninhas

A forma de manejo adotada para o controle de plantas daninhas depende da condição da lavoura, disponibilidade de mão-de-obra, tamanho da área, topografia do terreno, disponibilidade de implementos, mas principalmente, da condição financeira do agricultor. O manejo adotado para o controle de plantas daninhas pode ser realizado por meio de métodos manuais, mecânicos, químicos ou associados (ALCÂNTARA, 1997).

O manejo das plantas daninhas em lavoura cafeeira tem sido tradicionalmente realizado por meio de técnicas manuais, mecânicas e químicas, sem preocupação conservacionista ou sem avaliação crítica de seus efeitos sobre os atributos do solo (SANTOS M., 2005). Herbicidas e capinas mecânicas são as práticas dominantes no controle de plantas daninhas, em muitos sistemas produtivos, inclusive na lavoura cafeeira (YANG et al., 2007).

2.3.1 Medidas mecânicas

A capina manual realizada com a enxada é empregada expressivamente em pequenas e médias propriedades, pois apresenta um baixo rendimento e exige elevada quantidade de mão-de-obra, encarecendo o cultivo do cafeeiro. Complementa os métodos de capinas mecanizadas e/ou químicas (RONCHI et al., 2001), ou pode ser usada quando o plantio e a declividade não permitem a mecanização. A ação da enxada no solo promove a desagregação da camada superficial, expondo o solo ao impacto direto das gotas da chuva

(ARAÚJO-JUNIOR, 2010), favorecendo a perda de água e solo por erosão, ou mesmo de nutrientes e carbono orgânico nos sedimentos de erosão (CARVALHO et al., 2007).

As capinas mecanizadas são mais rápidas, práticas e econômicas e, por isto, são empregadas massivamente pelos agricultores. As roçadoras ou roçadeiras promovem pequena movimentação do solo e garantem uma cobertura permanente do solo, contribuindo para uma maior conservação (CARVALHO et al., 2007), o que pode contribuir para a manutenção dos estoques de carbono e nitrogênio orgânicos do solo (ALCÂNTARA; FERREIRA, 2000b; YANG et al., 2007). Porém, a constante utilização deste sistema causa fortalecimento das raízes de algumas espécies de plantas daninhas e, em alguns casos, a compactação do solo com as passagens sucessivas do trator. Além disto, promove a eliminação da dominância apical da parte aérea das plantas, estimulando o crescimento dos brotos situados na interface com o solo e, conseqüentemente, aumentando o número necessário de operações com este implemento para sua remoção (ALCÂNTARA; FERREIRA, 2000b). Porém, vale ressaltar que o uso de roçadora no controle das plantas daninhas traz aspectos positivos como melhores condições para que a água infiltre, reduzindo, assim, as perdas de água e de solo (CARVALHO et al., 2007).

As grades são recomendadas somente para cafezais em formação, por ocasionar, em alguns casos, prejuízos ao sistema radicular do cafeeiro adulto. O uso constante deste implemento possibilita a formação de sulcos perto da linha da cultura impedindo o desenvolvimento das raízes e constituindo em uma agente favorável à erosão (ALCÂNTARA, 1997).

As enxadas rotativas centralizadas atuam nas ruas e as descentralizadas atuam em área próxima às linhas. Estes implementos apresentam alto rendimento mas promovem uma intensa desagregação do solo, facilitando a ocorrência de erosão, podendo criar uma camada impermeável e a necessidade posterior de uma subsolagem (SOUZA, 2001). Alcântara e Ferreira (2000b) observaram uma compactação da camada de 15-30 cm em solo manejado com tal implemento. Uma possível explicação foi à conformação das enxadas que promoveram um espelhamento do solo logo abaixo ao ponto de contato, principalmente quando o solo está úmido. Vários autores denominam essa compactação subsuperficial como “pan” (BORRESEN; NJOS, 1993; HERMAWAN; CAMERON, 1993 apud ALCÂNTARA 1997).

2.3.2 Medidas químicas

O método de controle químico das plantas daninhas é caracterizado, essencialmente, pelo uso de herbicidas, os quais são produtos químicos constituídos por determinada concentração de compostos orgânicos (SANTOS J., 2005). Na cultura do café, consome-se cerca de 10% dos herbicidas utilizados no país, sendo ultrapassado apenas pela cultura da soja e da cana-de-açúcar (OLIVEIRA JR, 2001).

A escolha de herbicidas deve ser feita visando a eficácia do produto e o controle de todas as espécies presentes na área (SOUZA et al., 1998), levando em consideração fatores como tipo e umidade do solo, vegetação, época e dosagem do produto (COSTA et al., 2002). A rotação de produtos com mecanismos de ação diferentes deve ser utilizada para evitar o desenvolvimento de populações de plantas daninhas resistentes (SOUZA et al., 1998).

Os herbicidas de pré-emergência são usados antes da emergência das plantas daninhas no solo e para sua ação depende da umidade, natural ou artificial. Normalmente, estes produtos atuam sobre processos como germinação de sementes e crescimento radicular. Entretanto, os herbicidas de pré-emergência favorecem a formação de encrostamento superficial por deixarem o solo sem cobertura vegetal, submetendo o mesmo a ciclos de umedecimento e secagem e impacto direto das gotas de chuva. O encrostamento superficial é a modificação na superfície do solo devido ao impacto direto das gotas de chuva que promovem a quebra de agregados e o entupimento dos poros (FARIA et al., 1998). Este encrostamento superficial de coloração escura reduz a infiltração de água (ALCÂNTARA; FERREIRA, 2000b).

Os herbicidas de pós-emergência ou de contato são usados quando a planta já emergiu do solo e, neste caso, as invasoras devem ter altura máxima de 25 cm. Geralmente, os herbicidas pós-emergentes não têm ação sobre as sementes, à translocação do produto pela planta pode ocorrer pelo xilema, pelo floema, ou através de ambos, dependendo do herbicida e da época de aplicação, ou seja, translocando-se pela planta de forma muito limitada, causando danos somente nas partes que entram em contato direto com os tecidos vegetais, dependendo, portanto da atividade metabólica das plantas, para que se manifeste o efeito desejado (OLIVEIRA JR, 2001), possuindo um efeito normalmente rápido e agudo, podendo se manifestar em questão de horas. A utilização de herbicidas de pós-emergência proporciona efeitos intermediários nos teores de carbono orgânico, a densidade do solo e a estabilidade de agregados, quando comparados ao herbicida de pré-emergência (ALCÂNTARA; FERREIRA, 2000b).

Os autores Ronchi e Silva (2003) verificaram que alguns herbicidas, como nicosulfuron + atrazine e metribuzin, causaram toxicidade muito forte ao cafeeiro, chegando, inclusive, no caso da mistura, a causar a morte dessas plantas, enquanto outros herbicidas causaram fitotoxicidade e redução da biomassa seca. Apenas alguns herbicidas, fomesafen, fluazifop-butil e clethodim, não causaram sintomas visuais de toxicidade às plantas de café, ressaltando que as plantas de café analisadas no estudo eram recém implantadas.

Exemplos de alguns herbicidas que são utilizados e indicados para as lavouras cafeeiras são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Exemplos de herbicidas de pré e pós-emergência recomendados para cafeeiro em formação e/ou produção

Estágio do cafeeiro	Ingrediente ativo	Nome comercial	Tipo de herbicida
Em formação	Acetochlor	Fist	Pré-emergência
	Oxyfluorfen	Goal	Pré-emergência
	Pendimethalin	Herbadox	Pré-emergência
	Trifluralin	Premerlin 600	Pré-emergência
Em produção	Ametryn + Simazine	Topeze SC	Pré-emergência
	Ametryn + Diuron	Ametron SC	Pré-emergência
			Pós-emergência
	Atrazine + Simazine	Triamex	Pré-emergência
	Diuron	Karmex SC	Pós-emergência
	Diuron + Paraquat	Gramocil	Pós-emergência
	Fluazifop-p	Fusilade 125	Pós-emergência
	Glufosinate	Finale	Pós-emergência
	Glyphosate	Roundup	Pós-emergência
	Metribuzin	Sencor	Pré-emergência
	Paraquat	Gramoxone	Pós-emergência
Sulfosate	Zapp	Pós-emergência	

Fonte: ALCÂNTARA (1998), adaptado.

2.3.3 Manejo de plantas invasoras e impactos sobre a qualidade do solo

O definição de qualidade do solo associado ao conceito de fertilidade, onde um solo com alta qualidade era um solo quimicamente rico com capacidade de prover a produção agrícola, evoluiu consideravelmente nas últimas décadas. Neste sentido, o solo não basta apenas apresentar uma alta fertilidade mas, também, possuir boa estruturação e abrigar uma alta diversidade de organismos (KARLEN et al., 2003). A maioria dos atributos físicos e químicos do solo exigidos para o máximo desenvolvimento vegetal é afetada diretamente

pelos processos bióticos (LEE, 1994), destacando-se a importância dos microrganismos e seus processos no funcionamento e sustentabilidade do ecossistema.

O manejo das plantas daninhas em lavouras cafeeiras são conduzidos, em sua grande maioria, sem uma preocupação conservacionista ou sem uma avaliação crítica de seus efeitos sobre as propriedades do solo. De acordo com Araújo-Junior (2010), o uso do solo e o tráfego de máquinas e equipamentos na lavoura cafeeira promovem aumentos nos valores de densidade do solo e da capacidade de suporte de carga, além de promover, em alguns casos, a compactação do solo, alterar a dinâmica e acúmulo de carbono orgânico, ciclagem de nutrientes, geração de cargas negativas, alteração da retenção de água pelo solo, entre outros.

Alcântara e Ferreira (2000b) afirmam que as principais formas de controle de plantas invasoras em lavouras cafeeiras têm alterado a parte estrutural nos solos cultivados, comprometendo diversos atributos, dentre os quais destacam a densidade, estabilidade de agregados em água, porosidade, teor de carbono orgânico do solo, entre outros. De maneira geral, a utilização de herbicida de pós-emergência proporciona efeitos intermediários nos teores de carbono orgânico, densidade do solo e estabilidade de agregados, quando comparados ao herbicida de pré-emergência e ao manejo sem capina.

De acordo com Alcântara et al. (2009), atributos químicos como matéria orgânica, CTC efetiva e total, soma de bases trocáveis, teor de macronutrientes (K, Ca, Mg, P) também são alterados, influenciando as condições de fertilidade do solo, principalmente na camada superficial do solo (0 - 15 cm). Alcântara et al. (2007), avaliando os componentes de acidez como pH, Al^{3+} , acidez potencial ($H + Al$) e saturação por Al^{3+} , verificaram que o tratamento sem capina tende a alcalinizar o solo, reduzindo, portanto, os componentes da acidez do solo. Essa modificação no pH foi atribuída ao maior incremento de matéria orgânica no tratamento sem capina. Contrariamente, o tratamento herbicida de pré-emergência aumenta os valores de acidez potencial, alumínio trocável e de saturação por alumínio, enquanto os demais métodos empregados (roçadora, grade, enxada rotativa, herbicida de pós-emergência e capina manual) apresentaram um comportamento intermediário.

Yang et al. (2007) avaliaram um solo sob a adoção de diferentes métodos de controle de plantas invasoras e observaram que houve ausência de resposta dos atributos: carbono da biomassa microbiana, matéria orgânica do solo e nitrogênio total no primeiro ano de avaliação. Entretanto, a partir do segundo ano de avaliação, os autores concluíram que o carbono da biomassa microbiana, matéria orgânica do solo, números de esporos de FMAs e nitrogênio total, submetidos a roçadas anuais, associadas ao preparo do solo, apresentaram valores superiores àqueles com herbicida mais preparo do solo.

A manutenção das plantas daninhas na entrelinha do cafeeiro proporciona maior aporte de resíduos orgânicos para o solo sob o manejo sem capina, contribuindo para a elevação do teor de carbono orgânico, além de uma constante cobertura vegetal do solo, o que reduz as taxas de decomposição da matéria orgânica (ALCÂNTARA; FERREIRA, 2000b). Isto foi confirmado por Santos M. (2005) que estudando o efeito dos principais métodos de controle de plantas daninhas em cafeeiro, observou uma redução no estoque de carbono, exceto no método sem capina, onde se preserva as plantas daninhas.

Alguns autores como Doran, 2002; Moreira & Siqueira, 2006 afirmam que a matéria orgânica é apontada como um indicador primário da qualidade do solo, por atuar direta e indiretamente nos atributos físicos, químicos e biológicos e sobre as plantas, contribuindo, principalmente, para a ciclagem de nutrientes, fluxo de nutrientes para as plantas e na agregação do solo.

Se o ecossistema sofrer interferência que leve à perda de energia, redução da biodiversidade, principalmente de grupos microbianos funcionais específicos, retirada de nutrientes, terá sua sustentabilidade comprometida. Contrariamente, ecossistemas com entrada de nutrientes, manutenção da biodiversidade, equilíbrio ecológico e conservação de energia terão sua sustentabilidade mantida (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

2.4 Micorriza em Cafeeiro

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) pertencem ao filo Glomeromycota, classe Glomeromycetes, distribuídos em 4 ordens, 10 famílias e 13 gêneros, com cerca de 180 espécies descritas (SHÜSSLER et al. 2001; SOUZA et al., 2010). São simbiotróficos obrigatórios que colonizam as raízes das plantas de quase todos os gêneros de Gimnospermas e Angiospermas, além de alguns representantes de Briófitas e Pteridófitas, constituindo-se no principal componente da microbiota rizosférica (KLAUBERG-FILHO et al., 2005), representam de 5 a 50% da biomassa de microrganismos no solo, sendo considerados os fungos mais abundantes nos solos agrícolas (OLSSON et al., 1999).

O estabelecimento da simbiose se dá através de uma série de eventos celulares e moleculares entre o fungo e a planta, a qual leva uma perfeita integração morfológica, bioquímica e funcional, gerando diferentes tipos de interfaces simbióticas (LAMBAIS, 2006; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os FMAs são caracterizados pela presença de hifas dentro das células radiculares, ausência de rede de Hartig e presença de hifas fúngicas na superfície radicular, sem a formação de bainha (ENTRY et al., 2002), colonizam as células do córtex, ocorrendo a colonização principalmente na epiderme e parênquima cortical. Intracelularmente, as hifas diferenciam-se em arbúsculos, estruturas efêmeras de ciclo curto, responsáveis pela troca bidirecional de nutrientes e, em alguns grupos, há formação de vesículas, estruturas globosas terminais ricas em lipídeos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). O cilindro central (xilema e floema) e regiões meristemáticas não são colonizados (BONFANTE-FASOLO, 1984 apud DINIZ, 2007).

As hifas fúngicas desenvolvem-se externamente de modo contínuo no solo, formando uma rede chamada micélio extracelular, a qual proporciona uma ligação da raiz-solo, importante na aquisição de nutrientes pelas plantas, com reflexos sobre a reciclagem de nutrientes e, até mesmo, sobre atributos físicos do solo (BETHLENFALVAY, 1992; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). São, portanto, “mediadores” na troca de nutrientes, compostos de C e sinais moleculares entre a planta e a comunidade de microrganismos da rizosfera (BETHLENFALVAY; LINDERMAN, 1992; BERBARA et al., 2006; CRUZ et al., 2008). Estas redes de hifas podem conter até 1,5 m de hifa em cada cm de raiz colonizada (SOUZA et al. 2006; COLOZZI FILHO; NOGUEIRA, 2007).

A maioria, ou quase a totalidade das culturas tropicais, formam associação com FMAs, em menor ou maior grau de micotrofismo (CARDOSO et al., 2010). Esta associação com os FMAs tem sido considerada como imprescindível para o aumento crescente da sustentabilidade dos sistemas agrícolas e tem recebido uma atenção constante e crescente dos pesquisadores (COUTINHO et al., 2003).

2.4.1 Importância agrícola e ambiental

Os solos do Brasil são, em sua maioria, altamente intemperizados, com baixo pH, altos teores de óxidos de alumínio (Al) e ferro (Fe), fixando quase a totalidade de fósforo (P) disponível (CARDOSO et al., 2010). Com isto, a associação micorrízica é de fundamental importância devido a sua multifuncionalidade nos agroecossistemas (NEWSHAM et al., 1995), através da melhoria da qualidade física, química e biológica do solo (BERBARA et al., 2006), que segundo Cardoso et al. (2010) compõem a chamada Fertilidade Ampla do Solo (FAS).

A simbiose entre os FMAs e as raízes das plantas promove modificações metabólicas variadas naquelas micorrizadas, através de alterações fisiológicas e bioquímicas como maior produção de substâncias reguladoras de crescimento, maior taxa fotossintética (BERBARA et al., 2006; SHENG et al., 2008) e atividade enzimática, além da melhoria do estado nutricional das mesmas. A rede micelial proporciona à planta uma maior capacidade de absorção pela extensão das hifas para regiões de difícil acesso as raízes, aumentando o volume de solo explorado, contribuindo, portanto, para absorção de maiores quantidades de macro e micronutrientes de difusão reduzida, principalmente P, Zn e Cu (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; COLOZZI FILHO; NOGUEIRA, 2007). Segundo Marschner e Dell (1994 apud CARDOSO et al., 2010) as taxas de contribuição podem chegar à 80% de P, 60% de Cu, 25% de N, 25% de Zn, e 10% de K. Desse modo, a utilização dos nutrientes da solução do solo, mineralizado ou fornecido via fertilização, será aumentada e o requerimento de fertilizantes será reduzido na mesma proporção (SILVEIRA, 1992).

Há um grande interesse, principalmente na produção agrícola, na habilidade dos FMAs em mobilizar P do solo, devido as características da maioria dos solos brasileiros, há portanto, diversos estudos tentando explicar o mecanismo pelas quais as raízes micorrizadas mobilizam o fosfato (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Os mecanismos não estão totalmente esclarecidos, atribuindo-se em grande parte, ao processo físico devido ao aumento na área de absorção pela hifa, ou uma maior expressão e afinidade dos transportadores de Pi pela hifa fúngica (SILVEIRA, 1990; RAUSCH et al., 2001; PASZKOWSKI et al., 2002; NAGY et al., 2005; ALMEIDA, 2007 apud RAMOS; MARTINS, 2010). Segundo Cardoso et al. (2010) a micorriza não adiciona P ao solo, como os rizóbios que adicionam N externo no ecossistema, apenas altera sua dinâmica.

Conforme Carrenho et al. (2010), é possível que os FMAs atuem na transferência de N de uma planta para outra, através da rede micelial, ou mesmo, por utilizar outras formas de N pelas plantas. As hifas fúngicas são capazes de absorver N recentemente mineralizado, pois seu diminuto diâmetro facilita a penetração em material orgânico em decomposição (HODGE, 2003). De maneira geral, a forma amoniacal de N, é a forma preferencialmente absorvida pelas plantas micorrizadas (GEORGE et al., 1992 apud CARDOSO et al., 2010), possivelmente por sua mobilidade ser menor.

De acordo com Jakobsen et al. (2002) os FMAs podem ser uma importante fonte de dreno de C da planta, impondo perdas de até 20 % do C fixado, havendo portanto, como resposta da planta ao dreno imposto pelo sistema micorrízico, aumentos significativos de sua taxa fotossintética, ocasionando aumentos no potencial da produtividade primária e dreno de

C da atmosfera. Calcula-se que globalmente a associação micorrízica possa ser responsável pelo dreno anual de cinco bilhões de toneladas (5 Gt) de C aos solos (BAGO et al., 2000). Segundo Berbara et al. (2006) as consequências ambientais desse fenômeno são ainda desconhecidas, seja nas propriedades do solo, ou em escala global, nas relações referentes às mudanças globais e ao papel desta simbiose no seqüestro de C da atmosfera, sendo, portanto tema para estudos futuros.

Estas alterações metabólicas e nutricionais conferem às plantas maior resistência à estresses ambientais, como a seca, otimizando a relação água-plantas através do aumento do potencial de água, taxa de transpiração e abertura estomacal, e alterações nas raízes em comprimento e profundidade de absorção (AUGÉ, 2004; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; COLOZZI FILHO; NOGUEIRA, 2007). As plantas micorrizadas também apresentam, em alguns casos, maior tolerância a doenças, amenizando os efeitos ou danos causados pelos nematóides, fungos patogênicos e algumas pragas (GRAHAM, 2001).

Outro papel importante dos FMAs é a estruturação física do solo, pois o crescimento do micélio extrarradicular cria um “esqueleto”, ao manter juntas as partículas do solo, formando os microagregados, através da união física de partículas minerais e orgânicas (TISDALL; OADES, 1979 apud CARDOSO et al., 2010). Assim, as hifas externas e as raízes criam um emaranhado de microagregados formando os macroagregados (MILLER; JASTROW, 1990). Além disto, as hifas externas produzem glomalina, uma proteína hidrofóbica exsudada no solo, constituindo uma fonte de C orgânico, que desempenha um papel chave na agregação e estrutura do solo reduzindo processos erosivos (BERBARA et al., 2006).

2.4.2 Densidade e diversidade

As micorrizas são comuns e de ocorrência bem ampla no cafeeiro, sendo observadas naturalmente colonizando as raízes desde a fase inicial de formação de mudas em casas de vegetação (CARDOSO, 1978 apud SAGGIN JUNIOR; SIQUEIRA, 1996) até em plantas adultas a campo (COLLOZZI-FILHO; CARDOSO, 2000; CARDOSO et al., 2003).

O cafeeiro é altamente dependente da simbiose micorrízica, principalmente na fase de mudas (SIQUEIRA; COLOZZI FILHO, 1986), são plantas perenes e cultivadas em monocultivo por vários anos. Segundo Johnson et al. (1992), os monocultivos prolongados

selecionam espécies de FMAs mais adaptadas ao meio, mas geralmente menos eficientes em promover os benefícios da micorrização.

Em cafeeiros que não foram inoculados em produção, a ocorrência de FMAs tende a apresentar uma predominância de espécies indígenas de baixa eficiência simbiótica (BALOTA; LOPES, 1996a). Espécies selecionadas consideradas eficientes normalmente não ocorrem no campo (LOPES et al., 1983 apud COLOZZI FILHO; NOGUEIRA, 2007), e quando introduzidas via inoculação têm dificuldade de permanecerem no agrossistema (BALOTA; LOPES, 1996b).

No Brasil há uma grande diversidade de fungos nativos colonizando as plantas de café a campo. Segundo Saggin Júnior e Siqueira (1996), na rizosfera do cafeeiro foram identificadas quarenta e cinco espécies de FMAs, sendo doze de *Acaulospora*, dezessete de *Glomus*, seis de *Scutellospora*, quatro de *Gigaspora*, quatro de *Sclerocystis* e duas de *Entrophospora*. Lopes et al. (1983 apud COLOZZI FILHO; NOGUEIRA, 2007) identificaram vinte e duas espécies de FMA em raízes de café, sendo os gêneros mais frequentemente encontrados *Acaulospora* e *Glomus*. Estes dois gêneros também foram predominantes em outros cultivos de café em solos na Venezuela, Colombia e México (RIESS; SANVITO, 1985; TORO-GARCIA, 1987, CRUZ, 1989 apud SAGGIN JUNIOR; SIQUEIRA, 1996).

Colozzi-Filho e Cardoso (2000) descreveram outros gêneros de FMAs, como *Scutellospora*, *Gigaspora* e *Sclerocystis* em diferentes solos de café orgânico, e no mesmo estudo observaram que a densidade de esporos e colonização micorrízica foram maiores em cafeeiros com leguminosas cultivadas nas entrelinhas. O maior número de esporos foi verificado na projeção da copa dos cafeeiros cultivados com mucuna cinzenta e caupí nas entrelinhas. Em cafezais consorciados com leguminosas para adubação verde, observaram que as espécies de FMAs no cafeeiro foram diferentes daquelas encontradas na crotalária. No cafeeiro observou-se predominância de *Acaulospora* enquanto que na crotalária predominaram espécies de *Scutellospora* e *Gigaspora*. Maior diversidade de espécies foi encontrada nos cafeeiros sem leguminosas, sendo este comportamento explicado pela presença de plantas daninhas que ocorreram nas entrelinhas e que, possivelmente, modificaram a população de FMAs.

Comparando a ocorrência de espécies de FMAs em diferentes ecossistemas, Macêdo et al (2004) encontraram na cultura de café maior densidade de esporos, do que em áreas de pastagens, mata nativa e sistema agroflorestal (SAF) com cacau. Os autores atribuíram a maior ocorrência de fungos nos cafeeiros à dependência micorrízica que esta

planta apresenta. A maior diversidade de espécies vegetais na mata e no SAF avaliados não correspondeu a um maior número de esporos. Os autores atribuíram este fato a menor dominância de FMAs em sistemas que apresentam alta diversidade de organismos no solo.

As plantas daninhas também fazem uso desta associação mutualística possibilitando maior sobrevivência, mesmo em condições de déficit hídrico ou nutricional. Segundo Santos (2009), há ocorrência de FMAs em algumas plantas daninhas pertencentes a 14 famílias botânicas, com a presença de estruturas fúngicas como vesículas, arbúsculos e esporos. No mesmo estudo o autor analisou a solubilização relativa de fosfato inorgânico pelos microrganismos associados às raízes da plantas daninhas, observando-se que espécies de ampla ocorrência como *B.pilosa*, *Amaranthus retroflexus* e *Leonotis nepetaefolia* se destacaram na solubilização de fosfato. Tal resultado corrobora com o estudo de Ronchi et al. (2003) que observaram que mesmo em baixa densidade de plantas de *B. pilosa* houve extração de fósforo do solo 14 vezes maior que plantas de café, demonstrando o potencial competitivo desta espécie em relação a outras.

De acordo com Santos (2009), o conhecimento de espécies de plantas daninhas que apresentam tal característica pode ser considerado em programas de manejo integrado da lavoura, sendo direcionadas para seu favorecimento nos períodos entressafras. Isto permite, além da cobertura do solo, possível contribuição com a adubação fosfatada, uma vez que atua na ciclagem de nutrientes, em especial o fósforo, elemento tão limitante na agricultura em solos tropicais, além de favorecer a estruturação do solo através da rede de hifas associadas às raízes destas plantas.

A ocorrência de diferentes gêneros e espécies de FMAs na rizosfera das culturas é dependente de uma variedade de fatores, como as condições edafo-climáticas, as formas de manejo, as práticas culturais e a idade das plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; ANDRADE et al., 2009), que influencia o grau da associação micorrízica e a comunidade dos FMAs (BAUMGARTNER et al., 2005).

2.4.3 Impactos do manejo sobre as micorrizas

As diversas práticas agrícolas exercem influência sobre a diversidade e densidade de FMAs, pois interferem na camada arável do solo onde se concentram as raízes absorventes das plantas, ou seja, o principal hábitat e reservatório de propágulos de FMAs (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

De acordo com Boddington e Dodd (2000) a riqueza de espécies de FMAs é reduzida à medida que se intensificam processos de degradação do solo. A agricultura convencional baseada no contínuo revolvimento do solo e no uso de insumos externos (fertilizantes, biocidas, etc) pode resultar em grandes alterações ecológicas, sendo não sustentável na visão agrícola e, principalmente, ambiental (CARDOSO et al., 2010).

Vários trabalhos relatam um maior número de esporos, inóculo e colonização micorrizica em solos onde são adotadas práticas conservacionistas, indicando a valorização das comunidades de FMAs, se comparados aos sistemas convencionais (CARRENHO et al., 2010). Bonfim et al. (2007) afirmam que o cultivo de cafeeiro *Coffea arabica* L. no sistema arborizado tem proporcionado maior produção de esporos de FMA do que o cultivo solteiro, independentemente do período amostrado.

De modo geral, diversos autores demonstram que a monocultura seleciona espécies de FMAs com baixa eficiência simbiótica (JOHNSON et al, 1992; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Segundo Carrenho et al. (2010), a seleção de espécies com baixa eficiência simbiótica reduz a diversidade, pela diminuição no número de espécies, afeta assim o equilíbrio das relações entre as populações, interferindo de forma negativa na estrutura das comunidades micorrízicas.

O preparo do solo pode ocasionar alterações profundas no sistema edáfico, tais como mudanças no conteúdo de matéria orgânica, estrutura do solo, aeração, porosidade e percolação de água que, indiretamente, atuam sobre as micorrizas (JANOS, 1996; CARRENHO et al., 2010), pois esses fungos possuem processo de germinação de esporos estritamente aeróbico até o estabelecimento da associação (SILVEIRA, 1992). A remoção da cobertura vegetal e o preparo do solo por meio da aração para plantio envolvem uma intensa desagregação do solo, exposição à luz solar, elevação da temperatura na superfície, acarretando uma possível fragmentação da rede de hifas, expondo as estruturas fúngicas (esporos, hifas e raízes colonizadas) à incidência solar direta, variações de umidade e predadores (ENTRY et al., 2002). A remoção da vegetação ainda pode implicar na cessação de fotoassimilados das raízes para os fungos, que por serem biotróficos obrigatórios, dependem deste recurso para completar seu ciclo de vida (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), prejudicando assim sua sobrevivência e permanência no ecossistema. Dependendo da espécie fúngica, a perturbação pode aumentar o número de propágulos infectivos, como no caso das famílias Glomeraceae e Acaulosporaceae, ou diminuir como ocorre em Gigasporaceae (JASPER et al., 1989).

As alterações químicas do solo, provocadas pela correção de acidez através da calagem, podem modificar o grau de dependência micorrízica das espécies vegetais cultivadas, influenciando direta ou indiretamente (CARRENHO et al., 2010) a associação micorrízica. A modificação do pH no solo promove modificações na estruturação das comunidades de FMAs, favorecendo o estabelecimento de espécies que possuem maior tolerância às variações químicas decorrentes da mesma (SIQUEIRA et al., 1990). Algumas espécies ocorrem, preferencialmente, em solos ácidos, alcalinos ou em solos com condição neutra (CARRENHO et al., 2010). Neste sentido, Andrade et al. (1995) verificaram que não houve influência da calagem em solo cultivado com cafeeiro sobre a colonização radicular e o número de esporos na projeção da copa. Porém, na região da entrelinha, os autores verificaram um aumento no número de esporos. Cabe ressaltar que na entrelinha do cafeeiro ocorre desenvolvimento de outras espécies de plantas, com hábitos e desenvolvimento diferentes do cafeeiro, podendo contribuir para o desenvolvimento e diversidade de FMAs.

Para compensar as consequências da baixa colonização micorrízica das culturas que reduz a produtividade e sustentabilidade, maiores quantidades de fertilizantes e agrotóxicos tem sido recomendados, diminuindo cada vez mais a infectividade do solo e sua capacidade de formar micorriza arbusculares espontaneamente (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A adição de P é utilizada para otimizar o crescimento da planta, entretanto geralmente essa fertilização artificial do solo, inibe a associação micorrízica, e principalmente uma diminuição na taxa de colonização micorrízica intrarradicular (CARDOSO et al., 2010), porém, em solo muito deficiente em P, a aplicação de uma pequena quantidade pode favorecer a esporulação e colonização (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Tal questão deve ser considerada em sistemas agrícolas que recebem fertilização fosfatada.

Os efeitos das plantas daninhas sobre os FMA associados às plantas cultivadas dependem das espécies de plantas coexistentes. Barbosa e Santos (1991), estudando a manutenção da cultura do amendoim, concomitantemente com plantas daninhas, observaram que houve pouca influência sobre a riqueza de espécies de FMA, porém a presença das plantas daninhas provocou aumentos na densidade, frequência, ocorrência de esporos de *Glomus macrocarpum*, *Scutellospora calospora*, entre outros.

Entretanto, estudos sobre os efeitos de diferentes práticas de controle de plantas daninhas sobre os FMA têm sido pouco realizados. Em outro tipo de cultura, Maltby et al. (2006) verificaram que a colonização em soja não foi afetada pelo herbicida glifosato, independente da dose utilizada e do período de exposição. Porém, o controle mecânico feito

com gradagem reduziu o número de espécies de FMA, enquanto o uso de roçadora foi o método menos agressivo.

Portanto, manejos mecanizados, alta fertilização do solo, aplicação de agrotóxicos, rotações de culturas com plantas não-hospedeiras, poluentes diversos, inclusive orgânicos, uso excessivo de esterco, por exemplo, levam à diminuição da otimização desta simbiose, seja pela redução da atividade fúngica, de sua diversidade ou da produção de hifas extraradiculares (BERBARA et al., 2006). As chamadas técnicas modernas de manejo do solo vêm diminuindo não apenas a diversidade, mas a funcionalidade dos FMAs no solo e nas plantas, implicando quedas na resiliência e estabilidade dos agroecossistemas (JEFFRIES et al., 2003).

A manutenção de uma comunidade de FMAs diversa e ativa na rizosfera das plantas é importante para a sustentabilidade dos agrossistemas (BETHLENFALVAY; LINDERMAN, 1992). O manejo eficiente e racional do solo e das culturas parece ser a alternativa mais apropriada para manter ou aumentar a diversidade de espécies, o número de esporos no solo e o potencial de inóculo natural dos FMAs. Tal preocupação foi a linha mestre do desenvolvimento deste trabalho, em cultura do cafeeiro submetido a diferentes métodos de controle de plantas daninhas na entrelinha.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e Caracterização da Área Experimental

O experimento objetivando avaliar os efeitos de vários métodos de controle de plantas daninhas sobre alguns indicadores de qualidade do solo sob cafeeiro encontra-se instalado na Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (EPAMIG) desde 1977, sob coordenação do pesquisador Dr. Elifas Nunes Alcântara. A área experimental está localizada no município de São Sebastião do Paraíso, na mesorregião sul e sudoeste de Minas Gerais (Figura 1), à latitude de 20°55'00'' S e longitude 47°07'10'' W e altitude de 885m.

O relevo apresenta uma topografia leve ondulada e uma declividade média de 8%, o que facilita a ampla mecanização do solo. A precipitação média anual da região é de 1470,4 mm e apresenta temperatura média de 20,8°C, média máxima de 27,6 °C e média mínima de 14,1°C (ALCÂNTARA, 1997).

O solo da área de estudo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf) textura muito argilosa e mineralogia gibbsítica originado de basalto (ARAÚJO-JUNIOR, 2010), conforme tabela 2.

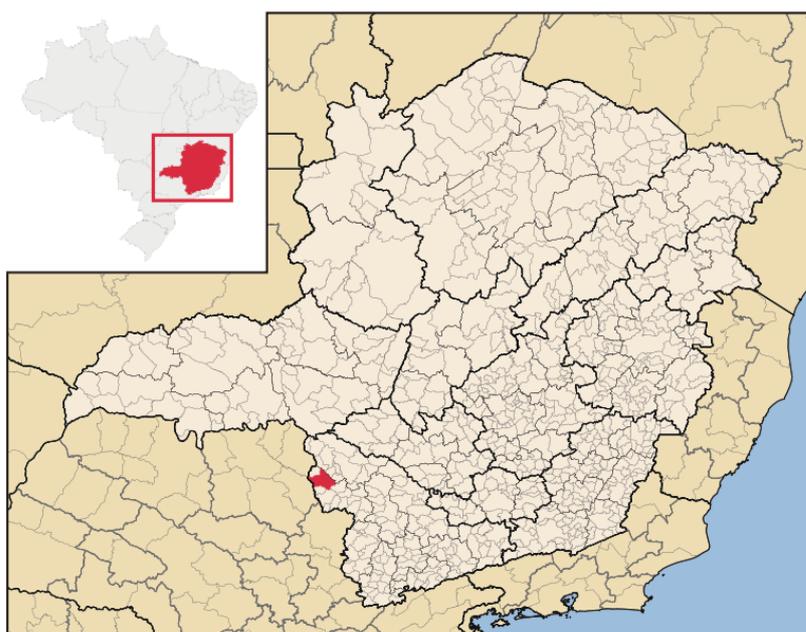


Figura 1 - Localização de São Sebastião do Paraíso em Minas Gerais (Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Sebasti%C3%A3o_do_Para%C3%ADso).

Tabela 2. Teores de óxidos totais extraídos pelo ataque sulfúrico e granulometria em do Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) cultivado com cafeeiros, localizado na Fazenda Experimental da EPAMIG, São Sebastião do Paraíso.

Óxidos (g kg ⁻¹)					Granulometria ⁽¹⁾ (g kg ⁻¹)		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki ⁽²⁾	Kr ⁽³⁾	Argila	Silte	Areia
70	250	270	0,47	0,28	560	230	210

⁽¹⁾ Média de três repetições;

⁽²⁾ Ki: relação molecular SiO₂/ Al₂O₃ x 1,7;

⁽³⁾ Kr: $1,7 \times \text{SiO}_2 / [\text{Al}_2\text{O}_3 + (\text{Fe}_2\text{O}_3 \times 0,6375)]$;

Fonte: ARAÚJO-JUNIOR (2010), adaptado.

3.2 Delineamento Experimental

A área experimental foi plantada com cafeeiros da cultivar Catuaí Vermelho LCH 2077-2-5-99, no espaçamento 4 x 1 m, no ano de 1974. O experimento foi instalado no ano de 1977, em delineamento experimental utilizando blocos casualizados, realizado em faixas com sete tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram de sete diferentes métodos de controle de plantas daninhas: roçadora, grade, enxada rotativa, herbicida pós-emergência (contato), herbicida de pré-emergência (residual), capina manual e sem capina.

Os tratamentos foram aplicados na parte central das entrelinhas de cada “rua” das parcelas, numa faixa de aproximadamente 1,2 m de largura. As laterais das fileiras de cafeeiros, com faixa de 0,8 m de largura na projeção da copa, foram mantidas limpas por meio de herbicidas de pré-emergência e pós-emergência e de capina manual, para facilitar a aplicação das adubações e manejo do café e movimentação de maquinário.

Cada parcela foi formada por três “ruas”, entre fileiras de cafeeiro, em um total de 154 covas. As “ruas” laterais, juntamente com as duas fileiras de plantas laterais adjacentes a outros tratamentos, formavam as bordaduras, comuns aos tratamentos adjacentes, detalhado na figura 2 (ALCÂNTARA, 1997).

Em 2005, devido ao declínio da produção da lavoura implantada no ano de 1974, a mesma foi substituída pela cultivar Paraíso, e o espaçamento foi alterado para 0,7 m entre as raízes do café, tornando o cultivo mais adensado. A lavoura anterior foi removida com auxílio de um subsolador e, posteriormente, fez-se o sulcamento no mesmo local da linha de plantio anterior. Estas operações foram realizadas mantendo-se o efeito dos tratamentos ao longo dos anos na entrelinha (ARAÚJO-JÚNIOR, 2010).

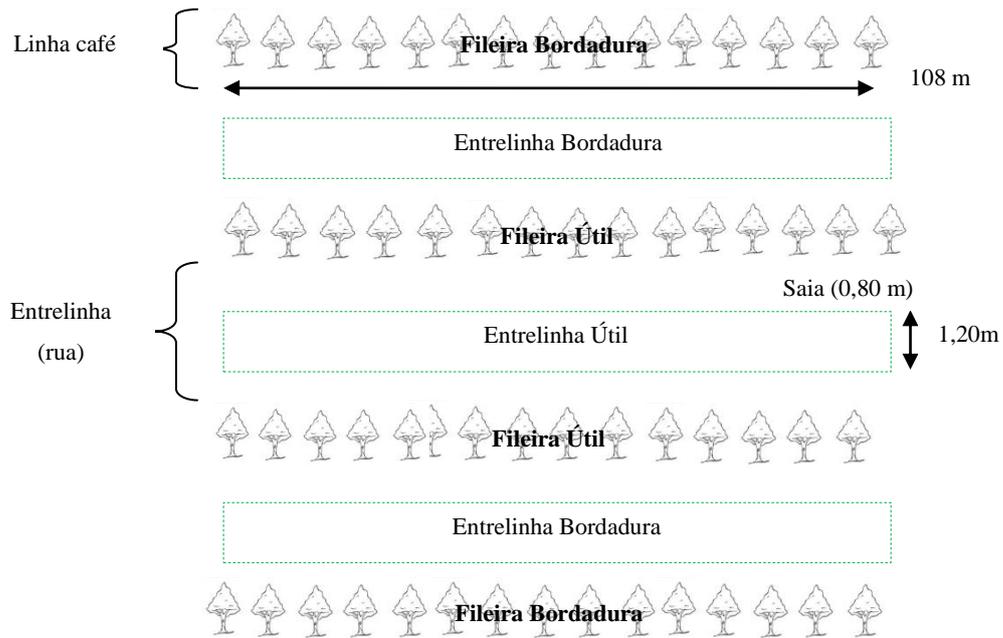


Figura 2 - Croqui do experimento, localizada na Fazenda Experimental da EPAMIG, São Sebastião do Paraíso, MG.

Os tratamentos podem ser observados parcialmente nas figuras 3, 4, 5 e 6, cujos registros fotográficos foram feitos durante a amostragem para avaliação dos atributos micorrízicos do solo.



Figura 3- Vista parcial da entrelinha (rua) com tratamento para controle de planta daninha A- Roçadeira, B- Grade, Fazenda Experimental da EPAMIG, São Sebastião do Paraíso, MG.



Figura 4 - Vista parcial da entrelinha (rua) com tratamento para controle de planta daninha A- Enxada Rotativa, B- Herbicida pré-emergência (residual), Fazenda Experimental da EPAMIG, São Sebastião do Paraíso, MG.



Figura 5 - Vista parcial da entrelinha (rua) com tratamento para controle de planta daninha A- Herbicida pós-emergência (contato), B- Capina Manual, Fazenda Experimental da EPAMIG, São Sebastião do Paraíso, MG.



Figura 6 – Vista parcial da entrelinha (rua) com tratamento sem capina, Fazenda Experimental da EPAMIG, São Sebastião do Paraíso, MG.

3.2 Condução do Experimento e Controle das Plantas Daninhas

O experimento recebeu calagens e adubações organo-minerais de plantio recomendadas com base em análises de solo em toda a área experimental. As calagens foram realizadas a cada dois anos, utilizando-se calcário dolomítico com PRNT de 80% ou superior, variando de 2,0 a 4,2 t ha⁻¹. As adubações, quatro por ano, foram realizadas a partir das primeiras chuvas (setembro e outubro), empregando-se a fórmula 20-05-20 na quantidade aproximada de 150-1-170 g cova⁻¹. De acordo com os resultados da análise do solo, aplicaram-se também 80 g por cova de superfosfato simples.

As operações de controle de plantas daninhas foram efetuadas quando se observava 90% da área coberta pelas plantas e estas apresentavam aproximadamente 45 cm de altura (ALCÂNTARA; FERREIRA, 2000b). As operações mecânicas de controle, incluindo capinas manuais, foram realizadas em função do crescimento das plantas invasoras. Foi mantida a infestação de plantas daninhas em níveis satisfatórios e compatíveis com a condição de uma lavoura comercial. Os métodos de controle avaliados no experimento estão descritos na tabela 3.

Tabela 3. Caracterização dos métodos de controle selecionados para o experimento.

Identificação	Descrição do método de controle de plantas daninhas
Roçadora	Roçadora da marca Kamaq [®] modelo KD 132, com largura de corte de 1,32 m, massa estática de 340 kg que foi acoplado ao sistema hidráulico de três pontos de um trator Valmet [®] modelo 68 cafeeiro. Foram necessárias cerca de cinco operações anuais.
Grade	O equipamento composto de duas seções dispostas em tandem com cada seção equipada com sete discos lisos com largura de corte de 1,3 m, que foi acoplado ao sistema hidráulico de três pontos de um trator Valmet [®] modelo 68 cafeeiro, com profundidade de trabalho de aproximadamente 10 cm. Foram necessárias cerca de três operações anuais.
Enxada Rotativa	O equipamento foi acoplado ao sistema hidráulico de três pontos de um trator Valmet [®] modelo 68 cafeeiro. O eixo da enxada rotativa tem cinco flanges, sendo as duas laterais com três facas e as três centrais, com seis facas cada uma, com profundidade de trabalho de aproximadamente 15 cm. Foram necessárias cerca de duas operações anuais.

Identificação	Descrição do método de controle de plantas daninhas
Herbicida de pós-emergência (contato)	No início do experimento aplicava-se uma mistura dos herbicidas Paraquat + Diquat na proporção de 200 g + 200 g i.a. ha ⁻¹ , respectivamente quando as plantas daninhas atingiam a altura de 30 cm. Posteriormente, a mistura foi substituída pelo glyphosate, aplicado com o auxílio de uma bomba costal, na dosagem de 2,0 L ha ⁻¹ de produto comercial e 0,72 kg ha ⁻¹ de ingrediente ativo na formulação de concentrado solúvel 360 g L ⁻¹ e aplicado com volume de calda de 400 L ha ⁻¹ . Foram necessárias cerca de duas aplicações anuais.
Herbicida de pré-emergência (residual)	No início do experimento utilizava-se uma mistura formulada dos herbicidas ametryn + simazine na base de 1125 g + 1125 g i.a. ha ⁻¹ , com volume de calda utilizado para aplicação de 400 L ha ⁻¹ . Após a troca de cultivar em 2005, a mistura foi substituída pelo ingrediente ativo oxyfluorfen (2-cloro-a,a,a-trifluoro-p-tolyl-3-etoxi-4-nitrophenyl ether), na dose de 2,0 kg ha ⁻¹ de produto comercial e 0,48 kg ha ⁻¹ de ingrediente ativo na formulação de concentrado emulsionável 240 g L ⁻¹ , aplicado a um volume de calda de 400 L ha ⁻¹ . Para essa aplicação, cuidou-se para que o solo estivesse livre de restos culturais e plantas invasoras. Foram necessárias cerca de duas aplicações anuais.
Capina Manual	Realizada com o auxílio de enxada e trabalho braçal, quando as plantas invasoras atingiam a altura de 45 cm. Foram necessárias cerca de cinco operações anuais.
Sem capina	As plantas invasoras foram deixadas em livre crescimento nas entrelinhas do cafeeiro.

3.4 Amostragem

A amostragem do solo contendo raízes visando à caracterização microbiológica foi realizada em abril de 2010, de acordo com os tratamentos, na rua central da parcela, considerada no experimento como parcela útil, para diminuir o efeito de bordadura. As coletas na entrelinha e linha estão representadas na Figura 7. A amostra composta para cada tratamento e repetição foi obtida coletando-se três amostras simples nos primeiros 10 cm do solo, no centro da rua do café e a 20 cm do caule da planta do café (Figura 7). Utilizou-se como ferramenta de coleta a enxadinha, devidamente desinfestada com água e álcool 70% a cada troca de repetição e tratamento (Figuras 8 e 9).

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados e encaminhadas para o Laboratório de Microbiologia na Universidade Federal de Itajubá, onde foram peneiradas em malha de 2 mm para remover restos vegetais e organismos macroscópicos, e mantidas a 4°C em sacos plásticos menores, para as análises microbiológicas. Da amostra restante foi separado 1 g de raízes finas e claras, lavadas em água corrente e mantidas em solução de álcool a 70% em frascos plásticos identificados..

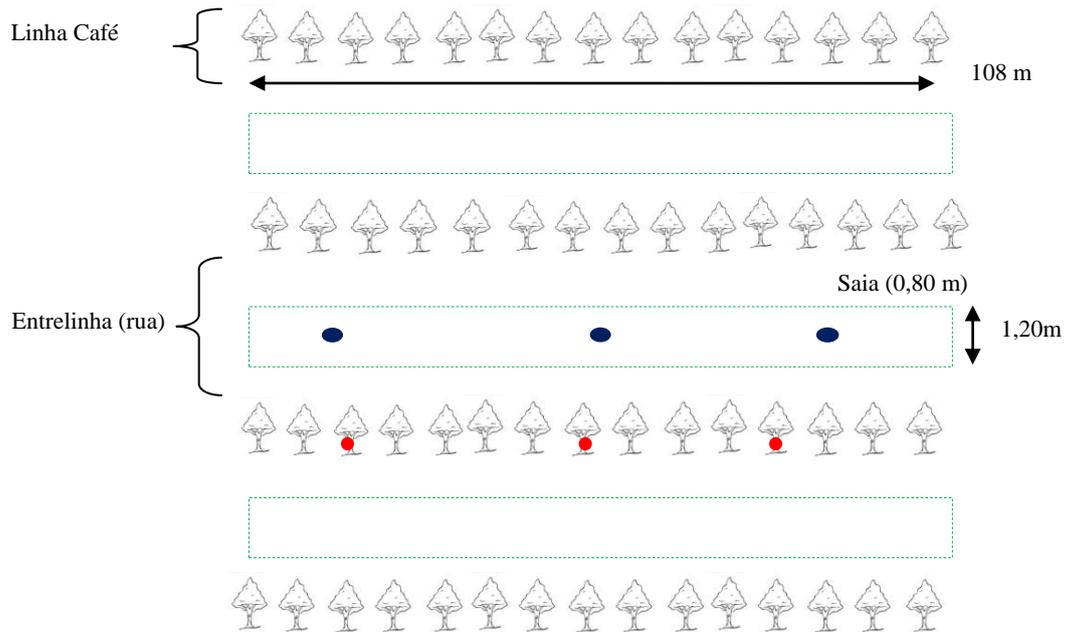


Figura 7- Croqui da coleta da parcela útil experimental, localizada na Fazenda Experimental da EPAMIG, São Sebastião do Paraíso, MG. As bolas azuis representam os locais de amostragem na entrelinha e as bolas vermelhas os locais de amostragem na linha do café.



Figura 8 - Coleta das amostras na entrelinha e na proximidade das raízes do café na linha.



Figura 9- Desinfestação da ferramenta de coleta com água e álcool 70%, a cada troca de tratamento ou repetição.

3.5 Avaliação da Porcentagem e da Intensidade de Colonização Radicular

Um grama de amostras de raízes de cafeeiros coletadas *in situ* na linha e raízes de plantas diversas coletadas na entrelinha, obtidas da camada superficial quando da coleta de amostras de solo, foi acondicionado em cassetes, permanecendo em solução de KOH 10% por cerca de quinze horas e, então, aquecidas com KOH 10% a 90° C, em banho-maria por quarenta minutos. Para clarificação, solução de H₂O₂ a 3% (10 volumes) foi adicionada ao béquer contendo os recipientes com as raízes até que fosse observada efervescência. Após descanso da solução por dez minutos, fez-se lavagem em água corrente. A coloração foi feita pelo método desenvolvido por Vierheilig et al. (1998), em que as raízes clarificadas são mergulhadas por cerca de três minutos em solução de ácido acético a 5% e tinta de caneta tipo tinteiro (Figura 10), cor preta, marca Sheaffer (outras marcas e cores permitem resultados análogos). As raízes devidamente coradas foram conservadas em recipientes plásticos contendo solução de glicerol (1:1:1 – água, ácido lático e glicerina).



Figura 10 - Procedimento de clarificação e coloração das raízes: A – cozimento em banho-maria a 90°C em KOH 10%; B – clarificação com H₂O₂ a 3%; C – coloração com solução de ácido acético 5% e tinta de caneta tipo tinteiro; D- Raízes coradas armazenadas em recipientes plásticos identificados.

A intensidade de colonização micorrízica foi determinada em 10 segmentos de raízes com cerca de um centímetro cada (Figura 11), dispostos em lâmina de microscopia (por amostra), atribuindo-se notas de 0 a 100%, conforme a ocupação da área radicular pelas estruturas fúngicas (BETHLENFALVAY et al., 1981). A intensidade de colonização micorrízica foi realizada em duplicata.



Figura 11 - Análise de intensidade de colonização radicular: A – Montagem da lâmina; B - Lâmina de microscopia com 10 segmentos de raízes; C – Observação dos segmentos de raízes em microscópio óptico.

A porcentagem de colonização foi estimada pelo método da interseção em placa quadriculada (GIOVANETTI; MOSSE, 1980) e lupa microscópica. Com o auxílio de contadores manuais, eram contabilizadas separadamente as interseções com raízes colonizadas e não colonizadas. A porcentagem de colonização refere-se à razão entre as raízes colonizadas e o total obtido (Figura 12).



Figura 12 – Análise da porcentagem de colonização: A – Placa quadriculada com raízes em solução; B- Contagem de interseções de raízes colonizadas e não colonizadas na placa quadriculada.

3.6 Determinação de Micélio Extrarradicular Total e Ativo de FMAs

Foram determinados os comprimentos de micélio extrarradicular ativo e total de fungos das amostras de solo coletadas, de acordo com o método descrito por Melloni e Cardoso (1999a). Especificamente, a extração de micélio extrarradicular foi feita transferindo-se 10 g de amostras de solo em 1500 mL de água de torneira, peneirando o solo simultaneamente em malhas de 0,50 e 0,25 mm. O filtrado foi agitado em liquidificador por 30 segundos na velocidade mínima. Dois minutos de repouso foram aguardados até a retirada de uma alíquota de 500 mL e passagem em peneira de malha 0,045 mm. O retido foi transferido para frasco de penicilina, utilizando-se 11 mL de água destilada. O processo de extração de MET encontra-se ilustrado na figura 13.



Figura 13 - Extração de micélio extrarradicular A- pesagem da amostra de solo, B - peneiramento do solo e transferência para 1500 mL de água de torneira, C - agitação mínima durante 30 s no liquidificador, D - alíquota de 500 mL, E - peneiramento em malha de 0,045 mm e F - transferência para frasco de 11 mL.

O método utilizado para coloração do micélio extrarradicular ativo foi o do diacetato de fluoresceína (FDA), com metodologia descrita em Melloni e Cardoso (1999a). Esta solução foi preparada dissolvendo-se 2 mg de FDA em 0,4 mL de acetona e completando-se a 40 mL com solução-tampão de fosfato 0,1 m L⁻¹ pH 7,4 autoclavada.

Da suspensão contendo MET, retirou-se uma alíquota de 5 mL, a qual foi misturada com 5 mL de solução de FDA, previamente preparada. Incubou-se por 5 minutos à temperatura ambiente, seguindo-se uma filtração à vácuo em membrana de triacetato de celulose, quadriculada, utilizando-se solução tampão de fosfato para transferência da suspensão. A membrana foi transferida para a lâmina de vidro para avaliação em microscópio de epifluorescência (Figura 14). O micélio extrarradicular ativo foi facilmente observado pela fluorescência em luz ultravioleta (UV).

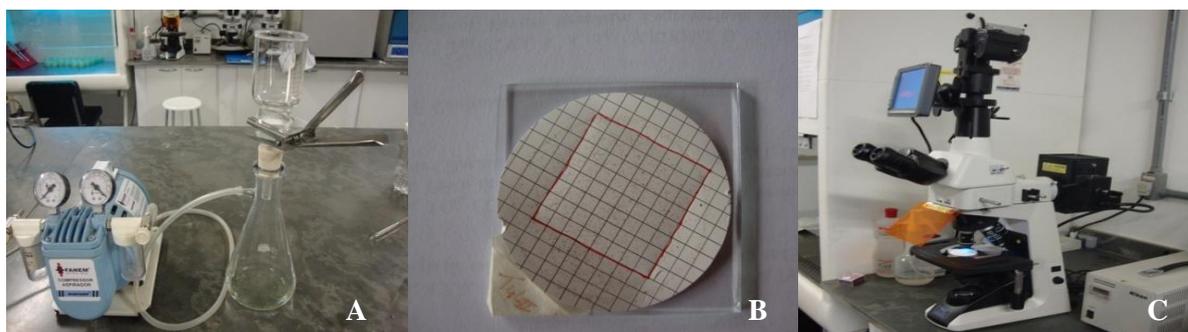


Figura 14 - Coloração de micélio extrarradicular ativo: A - filtração a vácuo B - membrana quadriculada e delimitada C - microscópio de epifluorescência.

Registros de imagens contendo MET e MEA obtidos estão demonstrados na figura 15, obtidas utilizando uma câmera fotográfica Nikon E8400, 8.0 mega pixels, acoplada ao microscópio de epifluorescência Nikon E200, em aumento de 100 vezes. Nota-se com clareza que a hifa está ativa (b) e (c) devido a sua fluorescência, resultado da coloração com FDA (diacetato de fluoresceína) sob luz UV. As “sujeiras” ao redor da hifa são partículas de argila e matéria orgânica que ficaram retidas na peneira de malha de 0,045 mm, no processo de extração do micélio, cuja metodologia de Melloni e Cardoso (1999a) foi aplicada integralmente sem modificações. Estas partículas vistas na Figura 15 (a), (b) e (c) não atrapalharam a contagem das interseções das hifas com as horizontais do reticulado da ocular, comprovando a eficiência do método empregado.

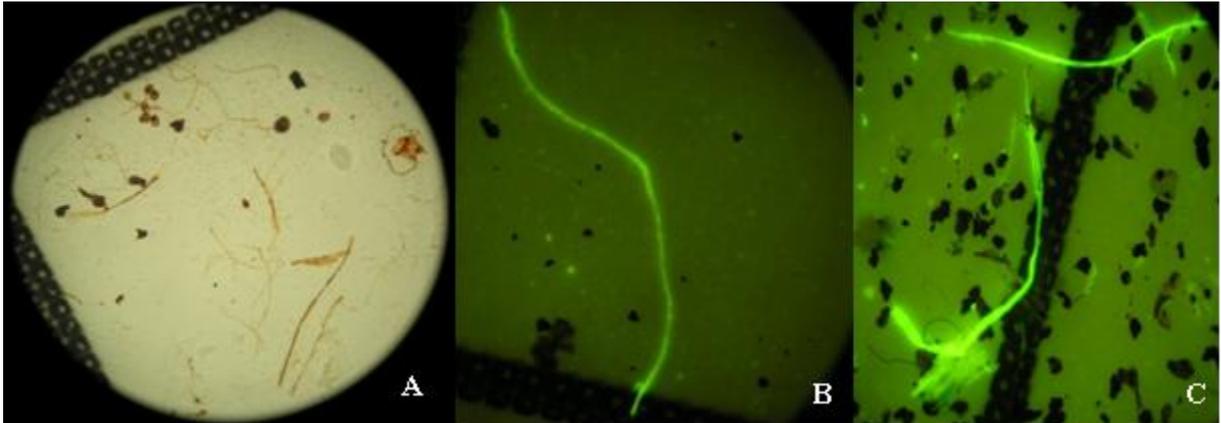


Figura 15 - Micélio extrarradicular total e micélio extrarradicular ativo, diferenciação da hifa considerada na contagem. A- hifas em meio a partículas de argila, B e C - micélio extrarradicular ativo sob luz UV em microscópio de epifluorescência (aumento de 100 vezes).

Utilizando-se uma ocular reticulada acoplada ao microscópio, com área de 100 mm^2 (no aumento de 10 vezes), composto de 10 linhas verticais e 10 horizontais, foi realizada a contagem. Para tal, a área correspondente ao reticulado era sobreposta a cada campo da membrana, num total de 64 campos (8×8) demarcados anteriormente (Figura 14 e 16), conforme proposto por Cardoso Filho (1994). Em cada campo, contou-se o número de interseções de hifas com as linhas horizontais do reticulado e aplicou-se a equação de Newman (1966 apud MELLONI e CARDOSO 1999a), corrigindo o valor obtido de acordo com o teor de água presente no substrato e os volumes das alíquotas utilizadas:

$$C = 0,21387 \cdot n / (10 - U)$$

Onde: **C** = comprimento de micélio extrarradicular, em m g^{-1} de substrato seco,
n = número de interseções de hifas com as linhas horizontais do reticulado,
U = quantidade de água presente em 10 g de substrato úmido, em gramas.

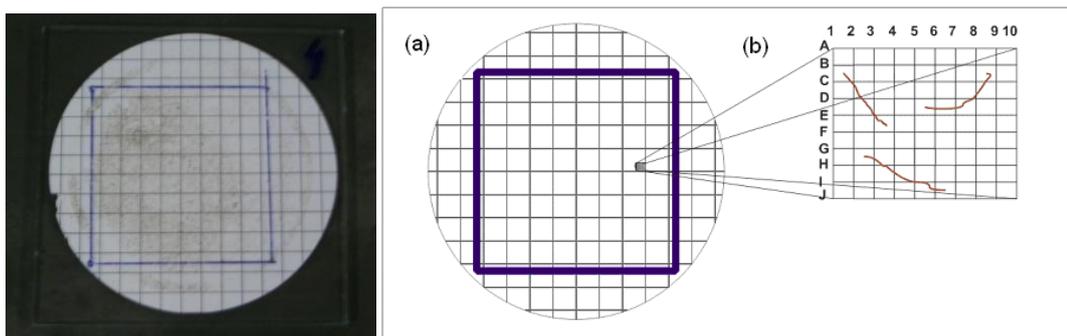


Figura 16– Esquema de contagem do micélio extrarradicular: A- Membrana quadriculada com destaque para a área de contagem (64 campos 8×8); B - exemplificando a contagem (ANDRADE, 2009).

3.7 Avaliação da Densidade e Diversidade de Esporos de FMAs

Utilizou-se o método do peneiramento úmido descrito por Gerdemann e Nicolson (1963), com alterações (Figura 17). Para isto, amostrou-se um volume de 50 mL de amostra de solo e foram feitas três lavagens com água de torneira em peneiras de 0,71 e 0,053 mm. O retido nesta última peneira era transferido para tubo de centrífuga e centrifugado com água a 3000 rpm por 3 min. O sobrenadante era descartado (uma vez que os esporos são mais densos que a água), acrescentando-se, posteriormente, uma solução com sacarose 70% e agitando-se a 2000 rpm por 2 min. O sobrenadante (contendo esporos, menos densos que a solução de sacarose) era succionado com o auxílio de uma seringa de 10 mL e peneirado em peneira de 0,045 mm. O retido era transferido para placa plástica circuncêntrica (9 circunferências com leve depressão em relação à superfície da placa) de modo a proceder à contagem do número total de esporos, com uso de lupa microscópica e contador manual.

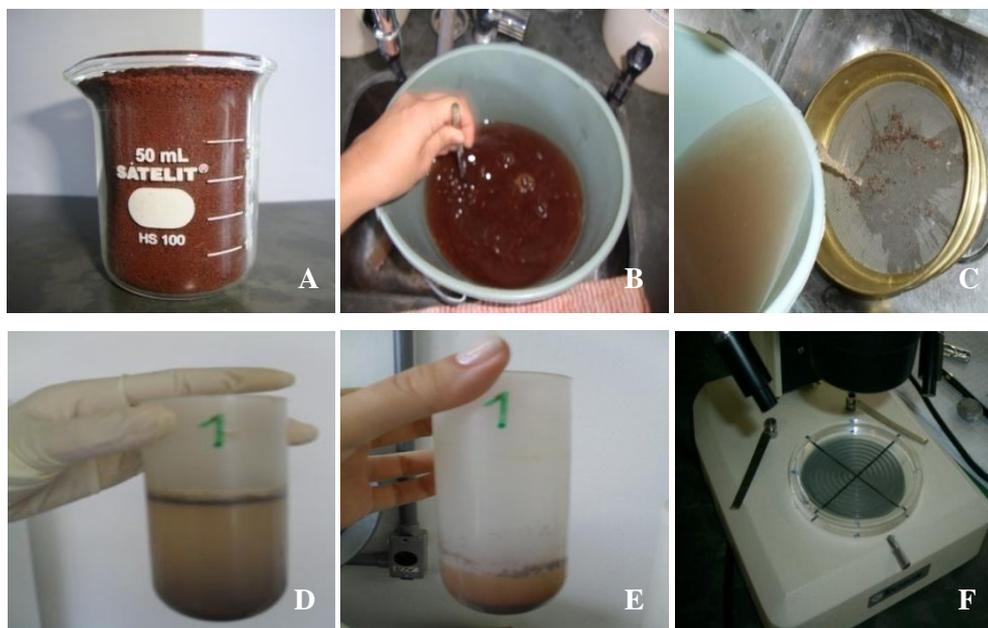


Figura 17- Procedimento de extração de esporos: A – Retirada da amostra 50 mL de volume de solo; B- Lavagem do solo em água; C- Peneiramento úmido; D- Material transferido da peneira de 0,053mm para tubo de centrífuga; E- Solução após sucessivas centrifugações; F – Placa circuncêntrica e lupa microscópica.

Para determinação da diversidade, os esporos foram separados e agrupados conforme o formato, tamanho e cor, antes da identificação (SCHENCK; PÉREZ, 1987). Com o número e abundância relativa de cada espécie de FMA, calculou-se o índice de diversidade (H') de Shannon-Weaver.

3.8 Análises Físicas e Químicas

Os dados físicos e químicos (Anexo A) utilizados como complementares à discussão dos resultados das análises microbiológicas, foram obtidos com o pesquisador da EPAMIG, Dr. Elifas Nunes de Alcântara, que coordena as pesquisas do experimento desde a sua implantação.

3.9 Análises Estatísticas

A análise de variância e a comparação das médias foram feitas de acordo com o teste de Duncan a 5 %, utilizando-se o programa estatístico R Development Core Team (2008). Não houve necessidade de transformação dos dados. Posteriormente, os valores médios dos atributos físicos, químicos, e micorrízicos, obtidos das amostras de solo, foram utilizados para análise de componentes principais (PCA) por meio do programa PC-ORD 3.12 (MCCUNE; MEFFORD, 1997), cujos resultados se encontram no Anexo B.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Colonização Micorrízica

Os métodos de controle de plantas daninhas promoveram diferenças significativas nos atributos intensidade e porcentagem de colonização radicular, na linha e entrelinha do cafeeiro. As médias de intensidade e porcentagem de colonização micorrízica são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4. Médias de intensidade (ICM) e porcentagem de colonização micorrízica (PCM) sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas. EPAMIG, São Sebastião do Paraíso (MG), 2010.

Tratamentos	ICM		PCM	
	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha
Roçadora	35,3a	16,2ab	76,9ab	nd*
Grade	26,1ab	15,0ab	84,6a	nd
Enxada rotativa	10,1c	23,3a	72,9ab	nd
Herbicida de pós-emergência	23,7abc	20,0ab	74,1ab	nd
Herbicida de pré-emergência	20,9abc	16,2ab	65,0b	nd
Capina manual	17,9bc	14,7b	79,5ab	nd
Sem capina	20,6abc	19,2ab	73,0ab	nd
CV (%)	35,1	63,8	12,5	-

*nd – Não determinado pela baixa quantidade de raízes viáveis.

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância.

Os tratamentos ROÇADORA e GRADE promoveram os maiores valores de ICM, na linha, quando comparado aos dos demais tratamentos, principalmente ao da ENXADA ROTATIVA. Os métodos de controle de plantas daninhas no cafeeiro, exercidos na entrelinha, tendem a causar compactação ao longo do tempo (ALCÂNTARA; FERREIRA, 2000b). Neste sentido, os tratamentos ROÇADORA e GRADE são considerados os mais impactantes, pois necessitam de um maior número de operações, as quais são, normalmente, realizadas no período chuvoso. Sugere a hipótese que um ambiente mais estressante proporcionado por estas operações na entrelinha, criando condições de limitação de água e ar, possivelmente faz com que a comunidade fúngica tenda a se deslocar para áreas mais estáveis e menos perturbadas, como a linha do cafeeiro.

Outra questão que pode influenciar a colonização micorrízica é o período de frutificação no cafeeiro. Segundo Laviola et al. (2007), cerca de 73% do crescimento vegetativo do fruto do café ocorre de outubro a abril, sendo o consumo de nutrientes para frutificação também concentrado neste período (mais de 80%), que coincide com a coleta

realizada no presente trabalho. O elevado direcionamento de metabólitos à floração e aos frutos e o restrito transporte para as raízes podem ocasionar menores taxas de colonização micorrízica das raízes (MARSCHNER; TIMONEN, 2005). Desta forma, os produtos da fotossíntese destinados aos FMAs, numa relação de simbiose, essencial para ambos (HURST et al., 2002), ficam comprometidos, o que restringe a colonização das raízes (BEREAU et al., 2005), diminuindo a porcentagem e intensidade de colonização. De acordo com Schreiner (2005), em plantio de videiras Pinot Noir, cultivada em região árida, houve uma elevação da colonização das raízes após a fase de frutificação da cultura, relacionando tal comportamento à maior disponibilidade e direcionamento de fotoassimilados para as raízes.

Na entrelinha do cafeeiro, o tratamento ENXADA ROTATIVA proporcionou maior valor de intensidade de colonização micorrízica, quando comparado aos dos demais tratamentos, principalmente a CAPINA MANUAL, com o menor valor. A enxada rotativa tende a causar maior revolvimento do solo, com problemas de compactação abaixo de 15 cm, ligado à conformação das enxadas do implemento (ALCANTARA; FERREIRA, 2000b). A quebra da rede micelial é normalmente associada à menor colonização micorrízica (JASPER et al., 1992 apud MELLONI et al., 2003), o que foi verificado na capina manual, mas não na enxada rotativa, possivelmente pela amostragem de solo ter ocorrido antes de nova operação, com cobertura vegetal estabelecida. Além disto, baixos valores de ICM também podem estar associados à presença de plantas não micotróficas ou com baixa dependência micorrízica, com colonização naturalmente baixa.

Segundo Moreira e Siqueira (2006) as plantas controlam a colonização micorrízica por mecanismos não inteiramente esclarecidos, mantendo o nível de colonização conforme a sua dependência micorrízica, o benefício em absorção de nutrientes que estes fungos estejam proporcionando (SCHWAB et al., 1991). Uma das possíveis causas de variações na colonização micorrízica observada pelos diversos autores está nas variações das condições ambientais e edafoclimáticas no momento da amostragem, como época do ano, estado vegetativo das plantas, local e profundidade de coleta de amostras de solo. Ainda, em situações de campo, é difícil estudar as correlações entre fatores edáficos e a colonização radicular, pelo grande número de complexas interações envolvidas (VIEIRA, 2010).

Observa-se que no atributo porcentagem de colonização, apesar de diferença significativa entre os tratamentos, os valores estiveram muito próximos, com o método GRADE apresentando o maior valor (84 %) e HERBICIDA PRÉ-EMERGÊNCIA o menor (65 %). Segundo Colozzi Filho e Nogueira (2007), em cafeeiros adultos, em condições de campo, a porcentagem de colonização micorrízica apresenta valores bastante variados. A

colonização a campo pode variar de 4% (Lopes et al., 1983 apud SAGGIN JÚNIOR; SIQUEIRA, 1996) a 80% (OLIVEIRA, 1988 apud COLOZZI FILHO; NOGUEIRA, 2007), mostrando a flutuação sazonal de espécies de FMAs associados a cafeeiros. Balota e Lopes (1996a) encontraram valores para colonização micorrízica variando de 32% a 39%, inferiores aos obtidos neste estudo, assim como observado por Coelho (2008) estudando cafeeiros cultivados em diferentes sistemas de manejo, onde a taxa de colonização micorrízica (CM) variou entre 16,85 % e 47,50%. A eliminação de plantas daninhas na entrelinha, observada no método de controle de herbicida de pré-emergência (residual) pode afetar diretamente a colonização micorrízica pela falta de hospedeiro micotrófico (SCHREINER et al.; 2001; ANDREOLA; FERNANDES, 2007) ou mesmo pelo efeito micotóxico do herbicida utilizado (VIEIRA et al., 2007; REIS et al., 2009).

Os valores de porcentagem de colonização radicular foram superiores aos observados para intensidade de colonização, em todos os tratamentos (Tabela 3). Este resultado pode ser reflexo da própria metodologia de avaliação, sendo que na primeira observa-se a presença de estruturas fúngicas em raízes no microscópio estereoscópico (lupa) e na segunda avalia-se a área ocupada pelo fungo em cada segmento radicular em microscópio óptico (com maior aumento).

Segundo Afek et al. (1990), Saggin-Junior e Siqueira (1996), a colonização micorrízica pode ser afetada por diversos fatores, como espécie vegetal, idade da planta, densidade de raízes, propágulos de FMAs presentes no solo, eficiência de colonização, manejo do solo, dentre outros, evidenciando a grande dificuldade em explicar os resultados para este atributo.

4.2 Micélio Extrarradicular

Os comprimentos de micélio extrarradicular total (MET) e ativo (MEA) também variaram e apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos de controle de plantas daninhas, na linha e entrelinha do cafeeiro, conforme tabela 5.

Tabela 5. Médias do comprimento micélio extrarradicular total (MET) e ativo (MEA) sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas. EPAMIG, São Sebastião do Paraíso (MG), 2010.

Tratamentos	MET		MEA		MEA/MET (%)	
	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha
Roçadora	6,5a	1,3c	0,53a	0,32a	8,1	24,6
Grade	6,1ab	2,4bc	0,37ab	0,17ab	6,0	7,0
Enxada rotativa	4,6ab	3,4ab	0,13ab	0,05b	2,8	1,4
Herbicida de pós-emergência	5,2ab	4,2ab	0,35ab	0,06b	6,7	1,4
Herbicida de pré-emergência	3,9b	2,0bc	0,08b	0,03b	2,0	1,5
Capina manual	6,3ab	5,5a	0,45ab	0,08b	7,1	1,4
Sem capina	6,2ab	3,7abc	0,08b	0,16ab	1,2	4,3
CV (%)	23,0	38,5	73,3	87,9	-	-

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância.

O comprimento de micélio extrarradicular total, avaliado na linha do café, foi significativamente mais elevado sob o método ROÇADORA e menor no HERBICIDA PRÉ-EMERGÊNCIA, com os demais tratamentos não apresentando diferença significativa entre as médias observadas. Na entrelinha, o maior valor foi encontrado no tratamento CAPINA MANUAL, e o menor no tratamento ROÇADORA. Observa-se que em ambos locais amostrados, apesar de não ser significativamente diferente o método HERBICIDA PRÉ-EMERGÊNCIA, apresenta valores baixos para micélio total, essa observação pode ser devido à toxicidade que a mistura dos herbicidas ametryn + simazine possa ter sobre os FMAs. Tal fato ocorre em função da projeção da copa do cafeeiro se manter sempre limpa pela capina manual e aplicação de herbicida de pré-emergência e pós-emergência, em todos os tratamentos. De acordo com Cabral (2008), o micélio extrarradicular possui uma capacidade em reter elementos tóxicos e não tóxicos. Reis et al. (2009) afirmam que o uso intenso e contínuo de alguns tipos de herbicidas pode afetar direta ou indiretamente organismos não-alvo, como a microbiota presente na planta e no solo. Por exemplo, o herbicida glyphosate, utilizado para a limpeza da projeção da copa do cafeeiro, traz descrito em sua bula, que é um produto altamente perigoso ao meio ambiente e tóxico para microrganismos do solo, inclusive para os endossimbiontes como os FMAs (MALTY et al. 2006). Relatos de toxicidade deste herbicida a microrganismos têm sido verificados na literatura (SANTOS et al., 2003, 2004, 2005).

Pequenas alterações na qualidade do solo podem acarretar mudanças profundas nas comunidades microbianas, que apresentam alta sensibilidade a perturbações advindas do manejo (TÓTOLA; CHAER, 2002), como os FMAs e seus processos de colonização micorrízica e, conseqüentemente, formação de micélio extrarradicular total. Ou mesmo a

aplicação contínua de HR na entrelinha pode afetar a comunidade microbiana na linha do cafeeiro, em função da conexão entre as plantas pelas hifas fúngicas. Kaps e Kuhns (1987) apud SILVA et al. (2006) observaram que o glyphosate com carbono marcado (C^{14}) aplicado em solução nutritiva onde cresciam plântulas de *Pinus spp.*, era transferido para espécies daninhas, evidenciando a comunicação radicular entre o *Pinus spp.* e as espécies por meio das estruturas micorrízicas.

Para o comprimento de micélio extrarradicular ativo, avaliado na linha do café, o método ROÇADORA apresentou um valor significativamente mais elevado que os demais tratamentos, e os métodos HERBICIDA PRÉ-EMERGÊNCIA e SEM CAPINA, os menores valores, os demais tratamentos não apresentando diferença significativa entre as médias observadas. Na entrelinha, o maior valor foi obtido no tratamento ROÇADORA, enquanto nos demais métodos não foram observadas diferenças significativas. Apesar de não ser diferente significativamente dos demais, é interessante observar que os HERBICIDAS, principalmente o de pós-emergência apresentam baixos valores de MEA. A toxicidade de alguns tipos de herbicidas a microrganismos foram verificados (SANTOS et al., 2003, 2004, 2005) dependendo do produto e da dose utilizada (CARRENHO et al., 2010) podendo agir sobre a infecção, colonização micorrízica e porção extrarradicular do fungo, como a rede micelial.

Uma das possíveis explicações para os baixos valores de MEA observados nos diversos tratamentos é a concentração de P na solução do solo, uma vez que a lavoura em estudo recebe quatro adubações anuais deste nutriente. O aumento na disponibilidade de P na solução do solo ofertado por fertilizantes solúveis pode, através de uma série de processos bioquímicos e fisiológicos, diminuir os exsudatos das plantas na rizosfera, resultando em diminuição da germinação (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) e produção de micélio ativo e total dos FMAs (MELLONI et al., 2000; NOGUEIRA; CARDOSO, 2000). Tal comportamento pode variar dependendo da espécie de FMAs (MIRANDA, 1982; MIRANDA; HARRIS, 1994 apud CARRENHO et al., 2010). Melloni e Cardoso (1999b) verificaram que o comprimento de MEA apresentou uma correlação negativa com o aumento da disponibilidade de P no substrato, variando com o hospedeiro e com a espécie de fungo micorrízico. Nogueira e Cardoso (2000) observaram que o incremento das doses de P em plantas de soja resultou em um decréscimo no micélio externo ativo, mas não influenciando o micélio externo total na mesma intensidade, este resultado sugere um cuidado, pois o estabelecimento da simbiose micorrízica é um processo dinâmico, em que as mais variadas

condições do hospedeiro influenciam a associação, e vice-versa, tanto no que se refere à disponibilidade de fósforo quanto à adaptação do fungo às condições do meio.

Na razão MEA/MET calculado para os métodos de controle, observa-se que o tratamento RÇ proporciona o maior valor, tanto para os atributos avaliados na linha do cafeeiro, quanto na entrelinha. Nos demais métodos de controle, a relação apresentou valores muito baixos, em função dos menores valores encontrados para MEA quando comparados ao MET. De acordo com Melloni et al. (2000), em estudos de avaliação da influência do fósforo e de FMAs em limoeiro-cravo, observaram a mesma tendência de valores de micélio, pois o comprimento de MEA variou de 0,5 a 1,0 m e de MET de 6 a 12 m g⁻¹ de solo. Valores maiores para MET em comparação com MEA são esperados, pois do total de micélios extrarradiculares produzidos pelo fungo, somente parte está ativa, absorvendo e translocando nutrientes para a planta (VIEIRA, 2010).

Uma das hipóteses que explica o fato da RÇ proporcionar maior relação MEA/MET pode estar relacionada ao fato de que, neste tratamento, as plantas daninhas são sempre mantidas em estágio jovem de desenvolvimento, com maior necessidade de formação de micorriza (tabelas 3 e 4). Contrariamente, na linha, em todos os tratamentos, pelo fato de receber capina manual e herbicida, associada à adubação fosfatada, a formação de MEA tende a ser menor, corroborando os efeitos negativos de P à formação de micélio (MELLONI; CARDOSO, 1999b; NOGUEIRA; CARDOSO, 2000; MELLONI et al., 2000).

4.3 Densidade e Diversidade de Esporos

Houve efeito dos métodos de controle de plantas daninhas na densidade de esporos e diversidade de FMAs, na linha e entrelinha do cafeeiro (Tabela 6). Para densidade de esporos, maiores valores foram obtidos nos tratamentos SEM CAPINA, tanto na linha quanto na entrelinha, e os menores valores nos tratamentos HERBICIDA PÓS-EMERGÊNCIA, em ambos os locais de coleta. Em geral, pode-se dizer que onde houve maior presença de plantas, conseqüentemente, de raízes foi maior a densidade de esporos de FMAs.

Tabela 6. Número médio de esporos em 50 g de amostra de solo (Densidade), média da diversidade obtida pelo índice de Shannon Weaver sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas, em São Sebastião do Paraíso (MG)

Tratamentos*	Densidade		Diversidade	
	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha
Roçadora	30,0b	11,0ab	0,56ab	0,70ab
Grade	61,0ab	18,0ab	0,62ab	0,59ab
Enxada Rotativa	60,6ab	21,0ab	0,88ab	0,44ab
Herbicida pós-emergência	20,3b	10,6b	0,96a	0,37b
Herbicida pré-emergência	47,6ab	13,0ab	0,95ab	0,44ab
Capina manual	41,6ab	29,6ab	0,53b	0,99ab
Sem capina	82,3a	35,3a	0,92ab	1,06a
CV (%)	51,7	64,9	12,5	50,1

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância.

Colozzi Filho e Cardoso (2000) observaram valores maiores no número de esporos de FMAs, em raízes de cafeeiro quando associadas a crotalária, tanto na entrelinha (62 a 135 esporos 50 g⁻¹ de amostra de solo) quanto na linha de plantio do cafeeiro. Schreiner et al. (2005) também verificaram, em condição de campo, para videiras, a ocorrência de maior densidade de esporos nas linhas de cultivo em relação à entrelinha, mesmo comportamento observado no presente estudo com cafeeiro. O não controle das plantas daninhas pelo método SC proporcionou uma maior densidade de plantas e raízes, resultando em elevado número de esporos.

De acordo com Coelho (2008), a presença de determinadas espécies de plantas espontâneas no cultivo de cafeeiros, por sua interação com os FMAs, favorece o aumento na densidade dos esporos em sistemas a pleno sol, com predominância de gramíneas. As gramíneas possuem sistema radicular abundante e de rápido crescimento, com intenso contato entre raízes e propágulos de FMA e grande capacidade de fornecer fotossintatos ao fungo (DANIELS-HETRICK; BLOOM, 1986), o que favorece a esporulação. Ainda no mesmo estudo, observou-se uma elevada esporulação no sistema agroflorestral (SAF-CV), pela significativa ocorrência de plantas espontâneas. Miller e Jackson (1998) observaram correlação positiva entre a presença de plantas daninhas e a colonização micorrízica na espécie cultivada e o número de esporos no solo. Os pesquisadores Miller e Jackson (1998) e Boddington e Dodd (2000) concluíram que os FMAs são favorecidos pelos manejos agrícolas que contemplam a manutenção do ambiente, presença de diversidade de plantas hospedeiras, cobertura morta e insumos de baixo impacto sobre o endófito. Também, segundo Santos (2009), há ocorrência de FMAs em algumas plantas daninhas pertencentes à 14 famílias botânicas, com a presença de estruturas fúngicas como vesículas, arbúsculos e esporos. No

mesmo estudo, o autor analisou a solubilização relativa de fosfato inorgânico pelos microrganismos associados às raízes das plantas daninhas, observando-se que espécies de ampla ocorrência como *Bidens pilosa*, *Amaranthus retroflexus* e *Leonotis nepetaefolia* se destacaram na solubilização de fosfato. Tal resultado corrobora o obtido por Ronchi et al. (2003), os quais observaram que, mesmo em baixa densidade de plantas de *B. pilosa*, houve extração de fósforo do solo 14 vezes maior que plantas de café, demonstrando o potencial competitivo desta espécie em relação a outras. Ainda de acordo com o mesmo autor, o conhecimento de espécies de plantas daninhas que apresentam tal característica pode ser considerado em programas de manejo integrado da lavoura, sendo recomendadas nos períodos entressafras. Isto permite, além da cobertura do solo, possível contribuição com a adubação fosfatada, uma vez que atua na ciclagem de nutrientes, em especial o fósforo, elemento tão limitante na agricultura em solos tropicais, além de favorecer a estruturação do solo através da rede de hifas associadas às raízes destas plantas.

Verificando a influência da arborização do cafezal (*C. canephora*) sobre população de FMAs, Costa et al. (2007) encontraram variação na densidade de esporos para os diferentes tratamentos (com pinho cuiabano, com teca, com bandarara, cafeeiro solteiro) de 120 a 250 esporos por 100 g de amostra de solo.

De acordo com Balota e Lopes (1996b), a esporulação de FMAs também estaria relacionada com o período de menor disponibilidade de fontes de carbono para o fungo, que corresponderia à frutificação do cafeeiro, quando os carboidratos são requeridos em maior intensidade pela planta. Segundo Laviola et al. (2007), tal fenômeno ocorre de outubro a abril, com o consumo de nutrientes para frutificação concentrado neste período (mais de 80%), corroborando o período de amostragem de solo do presente estudo.

Contrariamente, o uso de herbicidas de contato (HC) promove a erradicação de plantas daninhas, reduzindo o número de hospedeiros de FMAs e, conseqüentemente, de propágulos como esporos, além de atuar sobre o processo de colonização micorrízica. Silva et al. (2006) verificaram, em experimento com a cultura da soja, que o herbicida glifosato promoveu inibição na micorrização quando se inocularam as espécies *Glomus etunicatum*, *Glomus fasciculatum* e *Scutelospora heterogama*.

Segundo Kurle e Pflieger (1994) os herbicidas podem afetar diretamente a eficiência e a densidade dos FMA através da interferência nos processos fisiológicos da micorriza, ou indiretamente por modificações na população ou na fisiologia da planta hospedeira. Estudos realizados por Sieverding e Liehner (1984), em casa de vegetação e no

campo, indicaram a existência de efeitos diretos e indiretos de herbicidas sobre a população de FMA que estavam colonizando plantas de mandioca.

Vieira et al. (2007) avaliaram o efeito do herbicida sulfentrazone sobre FMAs em soja sob condições de casa de vegetação e observaram que houve redução de 50% na porcentagem de infecção dos fungos micorrízicos e diminuição no crescimento inicial do hospedeiro. Abd-Alla et al. (2000), estudando o efeito de gramoxone e brominal sobre a taxa de colonização e o número de esporos de fungos micorrízicos, em *Vigna sinensis*, *Phaseolus vulgaris* e *Lupinus albus*, verificaram que houve uma inibição na taxa de colonização, afetando o crescimento da planta, cujo efeito foi variável em função do agrotóxico e espécie estudada. Da mesma forma, efeitos variáveis, em função da aplicação de herbicidas, sobre a colonização micorrízica também foram encontrados por Reis et al. (2009) quando avaliaram o efeito do ametryn, tryfloxysulfuron-sodium, ametryn + tryfloxysulfuron-sodium e sulfentrazone cultivares de cana-de-açúcar, em campo.

Carrenho et al. (2010) afirmaram que o número de esporos é um atributo bastante variável, pois a esporulação é dependente de diversos fatores como: genótipo dos fungos, ritmo de crescimento das plantas, estágio fenológico, estresses ambientais e culturais. Além do que a forma de coleta, tamanho da amostra e a técnica de quantificação adotada (contagem em placa concêntrica) influem diretamente nos valores obtidos.

Em relação à diversidade de FMAs, calculada em função do fenótipo de esporos, houve também efeito dos tratamentos de controle de plantas daninhas. Neste sentido, na linha, maior diversidade foi obtida no tratamento HC e menor na CM, contrariamente ao obtido na entrelinha, com o menor valor obtido para HC e maior no SC.

De acordo com Costa et al. (2007), o conhecimento da diversidade de FMAs, bem como seu papel e interações com o meio abiótico, são requisitos básicos para o estabelecimento capaz de permitir o aumento no crescimento de plantas. A sobrevivência e persistência de espécies fúngicas importantes ou comprovadamente eficientes em um determinado ambiente ou rizosfera são de extrema importância e mostram que os efeitos benéficos da simbiose devem ser considerados e incentivados quando do manejo agrícola e ambiental de culturas de interesse, como a do cafeeiro.

De maneira geral, considera-se que a riqueza de espécies de FMAs seja reduzida quanto mais intensa forem as condições de degradação do solo (BODDINGTON; DODD, 2000). Entretanto, a estreita relação entre os FMAs e a população de plantas espontâneas dos cafeeiros resultou na maior riqueza de espécies de FMAs, como pode ser observado na

entrelinha do ecossistema cafeeiro (Tabela 5), local de aplicação dos tratamentos, pela manutenção da vegetação espontânea e consequências já discutidas anteriormente.

Segundo Jansa et al. (2003) práticas agrícolas como o revolvimento do solo pode diminuir significativamente a diversidade de FMAS, afetando a comunidade micorrízica, assim como a prática de fertilização (BHADALUNG et al., 2005) e aplicações de fungicidas (OEHL et al., 2004) em cultivos de milho.

As espécies de FMAs identificadas na linha e entrelinha dos cafeeiros submetidos aos diferentes métodos de controle de plantas daninhas encontram-se listadas na tabela 7.

Tabela 7. Espécies de FMAs identificados nos locais de amostragem sob os diferentes métodos de controle de plantas daninhas. EPAMIG, São Sebastião do Paraíso (MG), 2010

FMAs	Tratamentos*													
	RÇ		GR		RT		HC		HR		CM		SC	
	L**	E**	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E
<i>Ambispora appendiculata</i>									X				X	X
<i>Acaulospora delicata</i>			X		X		X	X	X		X	X	X	X
<i>Acaulospora mellea</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Glomus sp.</i>	X	X	X		X		X	X	X			X	X	X
<i>Gigaspora decipiens</i>	X		X		X		X		X			X	X	X
<i>Scutellospora pellucida</i>			X		X		X		X		X		X	X

* RÇ (Roçadora), GR (Grade), RT (Enxada rotativa), HC (Herbicida de pós-emergência), HR (Herbicida de pré-emergência), CM (Capina manual), SC (Sem capina).

** L – Linha; E- Entrelinha.

No processo de identificação das espécies de FMAs por meio dos esporos, foram observadas três espécies do gênero *Acaulospora*, uma espécie dos gêneros *Scutellospora*, *Gigaspora* e *Ambispora*, além de *Glomus* de espécies não identificadas. Foi verificada ocorrência do gênero *Acaulospora* em amostra de solos na linha e entrelinha submetidas aos métodos de controle avaliados. Estes dois gêneros, *Acaulospora* e *Glomus*, também são predominantes em outros cultivos de café, em solos na Venezuela, Colômbia e México (RIESS; SANVITO, 1985; TORO-GARCIA, 1987, CRUZ, 1989 apud SAGGIN JUNIOR; SIQUEIRA, 1996), assim como o gênero *Acaulospora* apresenta elevado grau de ocorrência na cultura do café avaliados por Muleta et al. (2007) e Muleta et al. (2008) e Coelho (2008).

Há uma dominância das espécies de *Acaulospora scrobiculata* e *Acaulospora mellea* nas amostras avaliadas sob todos os métodos de controle de plantas daninhas. Segundo

Saggin Júnior e Siqueira (1996), na rizosfera de cafeeiros adultos da região do Sul de Minas Gerais, as espécies *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora morrowiae* e *Acaulospora mellea* representam cerca de 50% do índice de ocorrência e dominam a população de esporos. A ocorrência de tal gênero reflete sua adaptação e capacidade de esporular no ecossistema. Jasper et al. (1989) afirmam que a perturbação pode aumentar o número de propágulos infectivos (esporos) nas famílias Glomeraceae e Acaulosporaceae ou diminuir, como ocorre em Gigasporaceae. Neste sentido, a predominância observada do gênero *Acaulospora* é possivelmente explicada por tal característica da família, uma vez que o ecossistema é constantemente perturbado pelos métodos de controle de plantas daninhas. Cabe ressaltar que a ocorrência de diferentes gêneros e espécies de FMAs depende das formas de manejo adotadas na cultura, mas, principalmente, das condições fisiológicas da planta e das condições edafoclimáticas do ecossistema (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; ANDRADE et al., 2009).

Algumas das espécies encontradas são consideradas de baixa eficiência. Geralmente os monocultivos prolongados selecionam espécies mais adaptadas ao meio, mas de baixa eficiência em promover os benefícios da micorrização (JOHNSON et al., 1992). Portanto, a manutenção de uma população ativa e diversa de FMAs no solo é de extrema importância para a sustentabilidade dos ecossistemas, principalmente, os agrícolas (BETHLENFALVAY; LINDERMAN, 1992).

4.4 Análise multivariada dos métodos de controle nos atributos do solo

A análise estatística univariada, usada convencionalmente por vários pesquisadores, torna-se menos sensível em sistemas biológicos, em razão das particularidades de cada manejo (MALUCHE-BARETTA et al., 2006) tratando somente uma das diversas variáveis a cada vez, não considerando o efeito simultâneo dos inúmeros atributos químicos e microbianos avaliados. Assim, o uso da análise multivariada é necessário quando se quer avaliar vários atributos e estudar simultaneamente suas relações (GELSOMINO et al., 2006; MARIANI et al., 2006). Diversos trabalhos na área de biologia do solo, especialmente sobre fauna do solo, têm utilizado técnicas de análise multivariada (MOÇO et al., 2005; BARETTA et al., 2006), buscando um maior entendimento das relações existentes entre os componentes da fauna, e de uma identificação dos atributos biológicos mais sensíveis para discriminar sistemas de manejo (BARETTA et al., 2005). Portanto, facilita o entendimento dos principais atributos que explicam ou relacionam os efeitos dos métodos de controle de plantas daninhas

em cafeeiro, devendo, seu uso, ser incentivado nessas complexas avaliações e futuras recomendações.

Os resultados de análise multivariada, aplicada para relacionar os métodos de controle de plantas daninhas e atributos microbiológicos relacionados a FMAs do solo, e entre todos os demais atributos, estão representados nas figuras 19 e 20, respectivamente. Em ambas, foram apresentados somente dois componentes principais (CP), por acumularem, respectivamente, 71,22% e 71,48% da variância total dos dados, conforme apresentado no Anexo B.

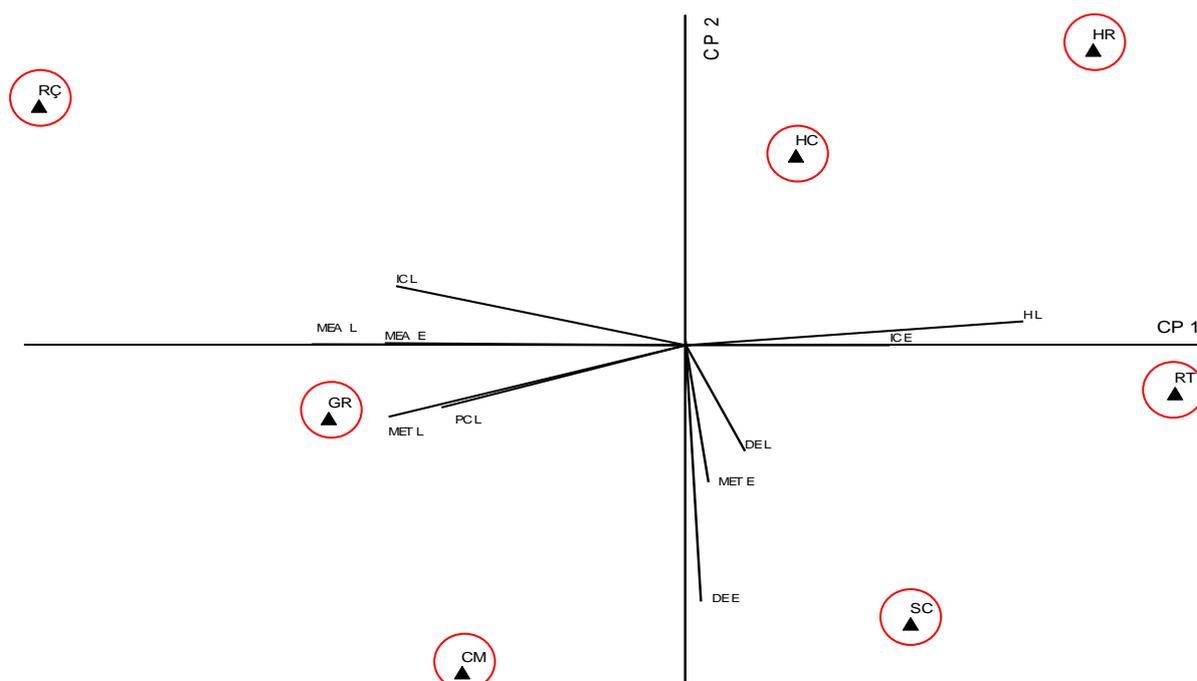


Figura 18 - Análise multivariada dos métodos de controle de plantas daninhas e dos atributos microbiológicos analisados na linha (L) e entrelinha (E) do cafeeiro. Métodos de controle: RÇ (Roçadora), GR (Grade), RT (Enxada rotativa), HC (Herbicida de pós-emergência), HR (Herbicida de pré-emergência), CM (Capina manual), SC (Sem capina). Atributos micorrízicos: IC (Intensidade Colonização), PC (Porcentagem colonização), MET (Micélio extrarradicular total), MEA (Micélio extrarradicular ativo), DE (Densidade esporos), H' (Diversidade).

Pela figura 18, observa-se que os atributos MEA, MET, IC, PC na linha mostraram alta relação com o eixo CP1 (Tabela 2B). Concomitantemente, os métodos ROÇADORA (RÇ) e GRADE (GR) apresentaram também relação com esse componente. Tais métodos apresentaram um caráter conservativo no que se refere à manutenção ou melhoria de atributos micorrízicos na linha do cafeeiro. Esse resultado corrobora os

Quando se faz análise multivariada considerando todos os atributos avaliados e outros relacionados à produtividade (Anexo B), verifica-se que a produtividade (Figura 20) apresentou, para o triênio analisado (2008 a 2010), uma forte relação com a baixa fertilidade, principalmente à alta taxa de acidez e densidade do solo (Tabela 4B). Nesta condição, não foi verificada relação com os propágulos de FMAs. Ainda, os tratamentos com HERBICIDA PRÉ (HR) E PÓS-EMERGÊNCIA (HC), junto com a ENXADA ROTATIVA (RT), estiveram ligados à produtividade, a qual apresenta forte relação com o eixo CP1 (Tabela 4B).

O método SEM CAPINA (SC) apresentou relação com maior fertilidade de solo e densidade de esporos, na linha e entrelinha, concordando com os resultados obtidos pela análise univariada de densidade de esporos e diversidade (Tabela 6). Os métodos CAPINA MANUAL (CM), ROÇADORA (RÇ) e GRADE (GR) apresentaram alta relação entre si por se localizarem no mesmo quadrante (Tabela 4B) e com efeito semelhante e positivo quanto aos atributos micorrízicos, principalmente na linha do cafeeiro (IC, MEA, PC e MET), conforme mostrado na Figura 19 e tabela 4B.

No presente estudo, a utilização de agrotóxicos como os herbicidas de pré e pós-emergência, conforme dados apresentados, contribuíram para um aumento da produtividade no triênio 2008, 2009 e 2010. Em contrapartida, o método SEM CAPINA apesar de estar ligado à menor produtividade, apresentou-se relacionada com melhor qualidade química, física e microbiológica do solo, principalmente com a diversidade de propágulos de FMAs. Assim, do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, aqui envolvendo atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo, os métodos de controle de plantas daninhas utilizando agrotóxicos em quaisquer sistemas devem ser repensados.

A busca por uma agricultura sustentável enfrenta um grande entrave quando se trata do uso de agrotóxicos para controle e doenças, pragas e plantas daninhas. As estratégias utilizadas para minimizar os danos ocasionados por esses problemas fitossanitários contaminam o ambiente ou causam alterações que comprometem a sustentabilidade do sistema (MICHEREFF; BARROS, 2001). O modelo de agricultura baseado no uso intensivo desses insumos exige uma enorme resiliência dos ecossistemas, pois, além da poluição química, tal modelo se apóia amplamente no aumento de produtividade baseado em plantações de uma única espécie (monocultura), eliminando a biodiversidade local (SOARES, 2010). A questão é que esses modelos agrícolas baseados em monoculturas e na ampla simplificação de biodiversidade somente se sustentam à custa do uso excessivo de agroquímicos, pois a sua necessidade aumenta cada vez mais, em um ciclo vicioso (ALVES FILHO, 2001).

5. CONCLUSÕES

Os métodos de controle de plantas daninhas Roçadora e Sem capina apresentam caráter conservativo no que se refere à manutenção ou melhoria de atributos micorrízicos, principalmente de índice de colonização micorrízica, micélio extrarradicular ativo e total, densidade e diversidade na linha do cafeeiro.

O uso de herbicidas de pré e pós-emergência, sob o ponto de vista microbiológico, promovem impactos negativos nos fungos micorrízicos arbusculares presentes no ecossistema cafeeiro, apresentando menores valores de porcentagem de colonização micorrízica, micélio extrarradicular ativo e total, densidade e diversidade de esporos, prejudicando o processo simbiótico e comprometendo a sustentabilidade da lavoura sob estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD-ALLA, M. H.; OMAR, S. A.; KARANXHA, S. The impact of pesticides on arbuscular mycorrhizal and nitrogenfixing symbioses in legumes. **Applied Soil Ecology**, v. 14, n. 3, p. 191-200, 2000.
- AFEK, U. et al. Mycorrhizal inoculum influence colonization of cotton, onion and pepper seedlings. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. v.115, n.1, p. 938-942, 1990.
- ALCÂNTARA, E. N. de. **Efeito de diferentes métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade de um latossolo roxo distrófico**. 1997. 133p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras. Lavras.
- ALCÂNTARA, E. N. de. Manejo de plantas daninhas em cafeeiros. **Relatório Técnico Científico**. Empresa Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais, 1998.
- ALCÂNTARA, E. N. de; FERREIRA, M. M. Efeito de diferentes métodos de controle de plantas daninhas sobre a produção de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) instalados em Latossolo Roxo distrófico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n.1, p.54-61, Jan. 2000a.
- ALCÂNTARA, E. N. de; FERREIRA, M. M. Efeito de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n.4, p. 711-721, 2000b.
- ALCÂNTARA, E. N. de; NÓBREGA, J. C. A.; FERREIRA, M. M. Métodos de controle de plantas invasoras na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e componentes da acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1525-1533, 2007.
- ALCÂNTARA, E. N. de.; NÓBREGA, J. C. A.; FERREIRA, M. M. Métodos de controle de plantas daninhas no cafeeiro afetam atributos químicos do solo. **Ciência Rural**. v. 1, p. 519-572, 2009.
- ALMEIDA, L. C. F de.; TAVARES, M.; REIS, E. A dos. Análise temporal das variáveis de custo da cultura do café arábica nas principais regiões produtoras do país. In XIII Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais. 2010. São Paulo. **Anais...** Fundação Getúlio Vargas Disponível em:
<http://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2010/artigos/E2010_T00279_PCN48575.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2011.

ALVES FILHO. Agrotóxicos e Agenda 21: sinais e desafios da transição para uma agricultura sustentável. In: **II Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos:** Jundiá – SP. Resumo.... 2001

ANDRADE, D. S. et al. Atividade microbiana em função da calagem em um solo cultivado com cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.**, v. 19, p. 191-196, 1995.

ANDRADE, M. R de. **Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em solos sob diferentes declividades, na reserva Biológica da Serra dos Toledo, Itajubá/MG:** relatório Final de Iniciação Científica PIBIC-CNPQ. Itajubá. 40p. 2009.

ANDRADE, S. A. L.; MAZZAFERA, P.; SHIAVINATO, M. A. SILVEIRA, A. P. D. Arbuscular Mycorrhizal association in coffee. **Journal of Agricultural Science**, n. 147, p. 105-115, 2009.

ANDREOLA, F.; FERNANDES, S. A. P. Microbiota do solo na agricultura orgânica e no manejo das culturas. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. F. (Eds). **Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental.** Campinas, SP: Instituto Agrônomo, p. 21- 39, 2007.

ARAÚJO-JUNIOR, C. F. **Capacidade de suporte de carga de um latossolo após três décadas de diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.** 2010. 158p. Tese Doutorado (Ciências Solo – Concentração Recursos ambientais e uso da Terra) - Universidade Federal de Lavras. Lavras.

AUGÉ, R. M. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. **Canadian Journal of Soil Science.** v.84, n.4, p.373-381, 2004.

BAGO, B.; PFEFFER, P.E. & SHACHAR, H.Y. Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. **Plant Physiology**, v. 124, p. 949-957, 2000.

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**, v.20, n.2, p.217-223, 1996a.

BALOTA, E.L.; LOPES, E.S. Introdução de fungo micorrízico arbuscular no cafeeiro em condições de campo. II. Flutuação sazonal de raízes, de colonização e de fungos micorrízicos arbusculares associados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.2, p.225-232, 1996b.

BARBOSA, L. M.; SANTOS, M. R. O. Estudos quali-quantitativos da ocorrência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares (MVA) na cultura do amendoimzeiro (*Arachis hypogaea* L.) sob mato-competição. **Hoehnea**, v. 18, n.2, p. 189-200, 1991.

BAUMANN, D. T.; BASTIAANS, L.; KROPFF, M. J. Competition and crop performance in a leik-celery intercropping system. **Crop Science**, v. 41, n. 3, p. 764 – 774, 2001.

BAUMGARTNER, K.; SMITH, R. F.; BETTIGA, L. Weed control and cover crop management affect mycorrhizal colonization of grapevine roots and arbuscular mycorrhizal fungal spore populations in a California vineyard. **Mycorrhiza**, v.15, n.2, p.111-119, 2005.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; FIGUEIREDO, S.R.; KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de *Pinus* e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.715-724, 2005.

BARETTA, D. et al. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.11, p.1675-1679, Nov. 2006.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M. S. (Ed). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa-MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 53-88, 2006.

BÉREAU, M. et al. Do mycorrhizas improve tropical tree seedling performance under water stress and low light conditions? A case study with *Dicoryni guianensis* (Caesalpinaceae) **Journal of Tropical Ecology**. v.21, n.4, p.375 381, 2005.

BETHLENFALVAY, G.J. Mycorrhizae and crop productivity. In: BETHLENFALVAY, G.J.; LINDERMAN, R.G (Ed). **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, p.1-25, 1992

BETHLENFALVAY, G.J.; LINDERMAN, R.G. **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1992. p.1-25. (ASA Special Publication 54).

BETHLENFALVAY, G.J.; PACOVSKY, R.S.; BRONWN, M.S. Measurement of mycorrhizal infection in soybeans. **Soil Science Society of America Journal**, v.45, p.871-875, 1981

BHADALUNG, N. N. et al. Effects of long-term NP-fertilization on abundance and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi under a maize cropping system. **Plant and Soil**, v.270, p. 371-382, 2005.

BODDINGTON, C.L.; DODD, J.C. The effect of agricultural practices on the development of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi. I. Field studies in an Indonesian ultisol. **Plant and Soil**, v.218, n.2, p.137-144, 2000.

BONFIM, J. A.; MATSUMOTO, S. N.; SANTOS, M. A. F.; ARAÚJO, G. S. Determinação da densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol, no município de Vitória da Conquista, Bahia. In: RESUMOS DO V CBA – MANEJO DE AGROSSISTEMAS SUSTENTAVEIS. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, Out. 2007.

CABRAL, L. **Retenção de metais pesados em tecidos de fungos micorrízicos arbusculares in vitro**. 2008.43p. Dissertação Mestrado (Ciência do Solo). Universidade Federal de Lavras. Lavras.

CAIXETA, G. Z. T. et al. Gerenciamento como forma de garantir a competitividade da cafeicultura. **Informe Agropecuário**, v. 29, n. 247, p. 14-23, 2008.

CARDOSO, I. M. et al. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. **Agroforestry Systems**, v.58, p.33-43, 2003.

CARDOSO, E. J. B. N. et al. Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A de.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Eds). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 153 – 215. 713 p.: il.

CARDOSO FILHO, J.A. **Quantificação do micélio extramatricial de *Glomus etunicatum* e da sua atividade, em simbiose com milho**. 1994. 121p. Dissertação mestrado. ESALQ (USP), Piracicaba – SP.

CARENHO, R. et al. Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A de.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Eds). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p.215 - 251. 713 p.: il.

CARVALHO, R.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; SOUZA, F. S. de. Erosão hídrica em Latossolo vermelho sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.6, p.1679-1687, Nov./Dez. 2007.

CHRISTOFFOLETI, P. J. Benefícios potenciais de plantas daninhas: I- nutricêuticas e fitodescontaminantes ambientais. **Planta daninha**, v.19, n.1, 2001.

COBBUCI, T.; DI STEFANO, J. GK.; KLUTHCOUSKI, J. Manejo de plantas daninhas na cultura do feijoeiro em plantio direto. **Circular técnica 35**. Embrapa Arroz e feijão. Goiás, 1999.

COELHO, R. A. **Colonização micorrízica, nutrição e morfologia do cafeeiro em monocultivo e sistemas agroflorestais**. 2008. 89p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2008.

COLOZZI-FILHO, A.; CARDOSO, E. J. B. N. Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalaria cultivada na entrelinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 2033–2042. 2000.

COLOZZI FILHO, A.; NOGUEIRA, M. A. Micorrizas arbusculares em plantas tropicais: café, mandioca e cana-de-açúcar. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. F. (Eds). **Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental**. Campinas, SP: Instituto Agronômico, p. 39-56, 2007.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Safra 2011**. COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO, Brasília-DF Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_05_10_09_04_16_boletim_ccafe_portugues_-_maio_-_2011_2o_lev..pdf>. Acesso em: 04 jul. 2011.

COSTA, R. S. C. da. et al. Manejo de plantas daninhas em cafezal em formação no estado de Rondônia. In: **II Simpósio de Pesquisas dos Cafés do Brasil. 2002**, Vitória, ES. Disponível em : <http://www.sapc.embrapa.br/index.php/ii-simposio-de-pesquisa-dos-cafes-do-brasil/>. Acesso em: 05 mai. 2011.

COSTA, R. S. C. da; CARMO, L. A.; CAMPELO, K. O. **Ocorrência e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia**. 2007. Disponível em: <<http://www.iamazonica.org.br/conteudo/eventos/biodiversidadeSolo/pdf/RogérioLucianaKeyla.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2011.

COUTINHO, H. L. C.; UZEDA, M. C.; ANDRADE, A. G.; TAVARES, S. R. L. Ecologia e biodiversidade do solo no contexto da agroecologia. **Informe Agropecuário**., v, 24, p. 45-54, 2003.

CRUZ, C. et al. Arbuscular mycorrhiza in physiological and morphological adaptations of Mediterranean plants. In: VARMA, A.; HOCK, B. (Eds). **Mycorrhiza: Biology, Genetics, Novel Endophytes and Biotechnology**, Germany, Springer-Verlag, p. 729-749, 2008.

DANIELS-HETRICK, B. A.; BLOOM, J. The influence of host plant on production and colonization ability of vesicular-arbuscular mycorrhizal spores. **Mycologia**, v.78, n.1, p.32-36, 1986.

DIAS, T. C. S.; ALVES, P. L. C. A.; LEMES, L. N. Períodos de interferência de *Commelina benghalensis* na cultura do café recém-plantada. **Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 397-404, 2005.

DINIZ, P. F. A de. Influência do fungo micorrízico arbuscular (*Glomus clarum*) sobre características biofísicas, nutricionais, metabólicas e anatômicas em plantas jovens de seringueira. 2007. 125p. Dissertação Mestrado (Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras. Lavras.

DORAN, J. W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. **Agriculture Ecosystems e Environment**, Amsterdam, v. 88, n. 2, p. 119-127, Feb. 2002.

ENTRY, J. A.; RYGIIEWICZ, P. T.; WATRUD, L. S.; DONNELLY, P. K. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of Arbuscular Mycorrhizas. **Advances in Environmental Research**, v.7, n.1, p.23-138, 2002.

FACCI, L. D. Variáveis microbiológicas como indicadores da qualidade do solo sob diferentes usos. 2008. 104p. Dissertação Mestrado (Agricultura tropical e subtropical). Instituto Agronômico de Campinas, Campinas.

FARIA, J. C.; SCHAEFER, C. E. R.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M. Effects of weed control in physical and micropedological properties of brazilian urtisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa – MG, v.22, n.3, p.731-741, Jul./Set. 1998.

GELSOMINO, A.; BADALUCCO, L.; AMBROSOLI, R.; CRECCHIO, C.; PUGLISI, E. & MELI, S.M. Changes in chemical and biological soil proprieties as induced by antropogenic disturbance: A case study of an agricultural soil under recurrent flooding by wastewaters. **Soil Biology Biochemistry**, v. 38, p. 2069-2080, 2006.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizas endogamous species extracted from soil by wet sieving and decanting. **British Mycological Society Transactions**, v.46, p.235-244, 1963.

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

GRAHAM J. H. What do root pathogens see in mycorrhizas? **New Phytologist**, v. 148, p.357-359, 2001.

HODGE, A. Plant nitrogen capture from organic matter as affected by spatial dispersion, interspecific competition and mycorrhizal colonization. **New Phytologist**, v. 157, p. 303-314, 2003.

HURST, S. E.; TURNBULL, M. H.; NORTON, D. A. The effect of plant light environment on mycorrhizal colonization in field-grown seedlings of podocarpaceae forest tree species. **New Zealand Journal of Botany**, v.40, p.65-72, 2002

JAKOBSEN, I.; SMITH, S.E. & SMITH, F.A. Function and diversity of arbuscular mycorrhizae in carbon and mineral nutrition. In: Van der HEIJDEN, M.G.A.; SANDERS, I., (Eds). **Mycorrhizal ecology**. Berlin, Springer-Verlag, 2002. p.75-92.

JANOS, D.P. Mycorrhizas, succession and rehabilitation of deforested lands in the humid tropics. In: FRANKLAND, J.C.; GADD, G.M. (Eds). **Fungi and environmental change**. Cambridge, Univ. Press, p.129-162, 1996.

JANSA J. et al. Soil tillage affects the community structures of mycorrhizal fungi in maize roots. **Ecological Applications**, v. 13, p.1164-1176, 2003.

JASPER, D. A.; ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. Acacias respond to additions of phosphorus and to inoculation with VA mycorrhizal fungi in soils stockpiled during mineral sand mining. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 115, p. 99-108, 1989.

JEFFRIES, P. et al. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. **Biology and Fertility of Soils**, v.37, n. 1, p.1-16, 2003.

JOHNSON, N.C.; COPELAND, P.J.; CROOKSTON, R.K.; PFLEGER, F.L. Mycorrhizae: possible explanation for yield decline with continuous corn and soybean. **Agronomy Journal**, v.84, p.387-390, 1992.

KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A.; ANDREWS, S. S. Soil quality: why and how? **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, n. 3/4, p. 145-156, 2003.

KLAUBERG-FILHO, O. et al. Ecologia, função e potencial de aplicação de fungos micorrízicos arbusculares em condições de excesso de metais pesados. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; CARDOSO, E.J. (Eds).

Tópicos em ciência do solo. Viçosa: UFV; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.85-144, 2005.

KURLE, J. E.; PFLEGER, F. L. The effects of cultural practices and pesticides on VAM fungi. In: PLEGER, F.L.; LINDERMAN, R.G. (Eds.) **Mycorrhizae and plant health.** St. Paul: APS Press, p.101-151, 1994.

LAMBAIS, M. R. Unraveling the signaling and signal transduction mechanisms controlling arbuscular mycorrhiza development. **The Journal of Agricultural Science.**, n. 63, p. 405-413, 2006.

LAVIOLA, B.G. et al. Dinâmica de P e S em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Bioscience Journal**, v.23, n.1, p.29-40, 2007.

LEE, K.E. The functional significance of biodiversity in soils. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15. **Anais...** Acapulco: International Society of Soil Science, 1994. p. 168-182.

MACÊDO, T.S. et al. População de micorrizas arbusculares em agroecossistemas da Amazônia Ocidental. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26. REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 10. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 8. REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 5. 2004. Lages. **Resumos expandidos...** Lages, SC:UDESC. Não paginado. CD-ROM. 2004.

MALTY, J. D. S. et al. Efeitos do glifosato sobre microrganismos simbiotróficos de soja, em meio de cultura e casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.**, v. 41, n. 2, p. 285-291, 2006.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; AMARANTE, C. V. T.; KLAUBERG-FILHO, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p. 1531- 1539, 2006.

MARIANI, L.; CHANG, S. X.; KABZEMS, R. Effects of tree harvesting, forest floor removal, and compaction on soil microbial biomass, microbial respiration, and N availability in a boreal aspen forest in British Columbia. **Soil Biology Biochemistry**, v. 38, p. 1734-1744, 2006.

MARSCHNER, P.; TIMONEN, S. Interactions between plant species and mycorrhizal colonization on the bacterial community composition in the rhizosphere. **Applied Soil Ecology**, v.28, n.1, p.23-36, 2005.

MATSUMOTO, S. N. **Arborização de Cafezais no Brasil**, Vitória da Conquista: Editora UESB, 2004.

MCCUNE, B.; MEFFORD, M. J. **Multivariate analysis of ecological data**. Version 3.12. Glenden Beach, MjM, Software, 1997.

MELLONI, R.; CARDOSO, E. J. B. N. Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas. I. Método empregado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 53-58, 1999a.

MELLONI, R.; CARDOSO, E. J. B. N. Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas. II. Comparação entre diferentes espécies cítricas e endófitos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 59-67, 1999b.

MELLONI, R.; ABRAHÃO, R. S.; MOREIRA, F. M. M.; FURTINI NETO, A. E. Impacto de resíduo siderúrgico na microbiota do solo e no crescimento de eucalipto. **Revista Árvore**, v.24, n.3, p.309-315, 2000.

MELLONI, R.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Fungos micorrízicos arbusculares em solos de área de mineração de bauxita em reabilitação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n.2, p. 267-276, fev. 2003.

MICHEREFF, S. J.; BARROS, R. (Eds). **Proteção de Plantas na Agricultura sustentável**. Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE): Imprensa Universitária, 2001. 368 p.

MILLER, R. M.; JASTROW, J. D. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. *Soil Biology Biochemistry*, n.22, p. 579-584, 1990.

MILLER, R. L.; JACKSON, L. E. Survey of vesicular-arbuscular mycorrhizae in lettuce production in relation to management and soil factors. **The Journal of Agricultural Science**, v. 130, n.2, p. 173-182, 1998.

MOÇO, M. K. Et al Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n, 29, p. 555-564, 2005.

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

MULETA, D. et al. Composition of coffee shade tree species and density of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) spores in Bonga natural coffee forest, southwestern Ethiopia. **Forest Ecology and Management**, v.241, n.1, p.145–154, 2007.

MULETA, D. et al. Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi spores in soils of smallholder agroforestry and monocultural coffee systems in southmestern Ethiopia. **Biological Fertility of Soil**, v. 44, n.4, p.653-659, 2008.

MYERS, C. V.; ANDEERSON, R. C. Seasonal variation in photosynthetic rates influences success of an invasive plant, garlic mustard (*Alliaria petiolata*). **The American Midland Naturalist Journal**, v.150, n. 2, p. 231-245, 2003.

NEWSHAM, K. K.; FITTER, A. H.; WATKINSON, A. R. Multifunctionality and biodiversity in arbuscular mycohrrizas. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 10, p. 407-411, 1995.

NOGUEIRA, M. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Produção de micélio externo por fungos micorrízicos arbusculares e crescimento de soja em função de doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 329-338, 2000.

OEHL F. et al. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. **Oecologia**, n. 138, p. 574-583, 2004.

OLIVEIRA JR, R. S. Introdução ao controle químico.. In: OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J. (Org.). **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba, RS: Livraria e Editora Agropecuária, 2001, p. 187-206. Disponível em: <www.esalq.usp.br/.../lpv/.../Leitura%2014%20-%20Controle%20quimico.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2010.

OLSSON, P. A. THINGSTRUP, I.; JAKOBSEN, I.; BAATH, E. Estimation of the biomass of arbuscular mycorrhizal fungi in a linseed field. **Soil Biology Biochemistry**, v. 31, p. 1879-1887, 1999.

PITELLI, R. A. Interferência das plantas daninhas nas culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, v. 11, n. 29, p. 16-27, 1985.

PITELLI, R. A. Competição e controle de plantas daninhas em áreas agrícolas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.4, n.12, p.1-24, Set. 1987.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2008). **R: A language and environment for statistical computing R Foundation for statistical computing**, Vienna, Austria: ISBN 3-90.0051-07-0. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>

RAMOS, A. C.; MARTINS, M. A. Fisiologia de micorrizas arbusculares In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A de.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Eds). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 133 – 153. 713 p.: il.

REIS, M. R. et al. Colonização micorrízica e atividade de fosfatases ácidas na rizosfera de cultivares de cana-de-açúcar após a aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, v. 27, p. 977-985, 2009. (Número Especial)

RIZZO, L. T. B. **Indicadores da resiliência do latossolo vermelho escuro cultivado com citros e eucalipto em Itapetinga – SP: recuperação de um solo degradado pela compactação**. 2000. 200p. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

RONCHI, C. P.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R. **Manejo de plantas daninhas em lavouras de café**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitopatologia, 94 p. 2001.

RONCHI, C. P.; SILVA, A. A. Tolerância de mudas de café a herbicidas aplicados em pós-emergência. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v. 21, n. 3, p. 421-426, 2003.

RONCHI, C. P.; SILVA, A. A. Effects of weed species competition on the growth of young coffee plants. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 415-423, 2006.

RONCHI, C. P.; TERRA, A. A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R. Acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro sob interferência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.21, n.2, p.219-227, 2003.

RONCHI, C. P.; TERRA, A. A.; SILVA, A. A. Growth and nutrient concentration in coffee root system under weed species competition. **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 679-687, 2007.

ROSA, V. G. C. da. **Modelo Agrometeorológico-espectral para Monitoramento e Estimativa da Produtividade do Café na Região Sul/Sudoeste do Estado de Minas Gerais**. 2007. 145 f. Dissertação Mestrado (Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos, 2007.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: SIQUEIRA, J. O. (Ed). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras, 1996. p. 203-254.

SANTOS, M. N. dos. **Método de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro e seus efeitos na agregação e em frações da matéria orgânica do solo**. 2005. 74p. Tese Doutorado (Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG.

SANTOS, J. C. F. **Procedimentos para aplicação de herbicida no café**. 2005. Disponível em: <<http://www.revistacafeicultura.com.br/index.php?tipo=ler&mat=3700>>. Acesso em: 05 jul. 2011.

SANTOS, E. A dos. **Microrganismos no solo e manejo integrado de plantas daninhas**. 2009. 56 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.

SANTOS, J. B. et al. Comportamento de estirpes de *Bradyrhizobium* sp. sob efeito de componentes do glyphosate potássico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 2, p. 201-206, 2003.

SANTOS, J. B. et al. Efeitos de diferentes formulações comerciais de glyphosate sobre estirpes de *Bradyrhizobium*. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 293-300, 2004.

SANTOS, J. B. et. al. Tolerance of *Brady rhizobium* strains to Glyphosate formulations. **Crop Protec**, v. 24, p. 543-547, 2005.

SCHENCK, N. C. & PÉREZ, Y. **Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi**. Gainesville, University of Florida, 1987. 242 p.

SCHREINER, R. P.; IVORS, K. L.; PINDERTON, J. N. Soil solarization reduces arbuscular mycorrhizal fungi as a consequence of weed suppression. **Mycorrhiza**, v.11, n.6, p.273-277, 2001.

SCHREINER, R. P. Spatial and temporal variation of roots, arbuscularmycorrhizal fungi, and plant and soil nutrients in a mature Pinot Noir (*Vitis vinifera* L.) vineyard in Oregon, USA. **Plant and Soil**, v.276, p.219-234, 2006.

SCHWAB, S. M.; MENGUE, J. A.; TINKER, P. B. Regulation of nutrient transfer between host and fungus in vesicular-arbuscular mycorrhizas. **New Phytologist**, v.117, n.3, p.387-398, 1991.

SEDIYAMA, G. C. et al. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p.501-509, 2001. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/revista/cap14.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2011.

SHENG, M. et al. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. **Mycorrhiza**, New York, v. 18, p. 287-296, 2008.

SIEVERDING, E.; LEIHNER, D. E. Effect of herbicides on population dynamics of VA-mycorrhiza with cassava. **Angewandte Botanik**, n. 58, p. 283-294, 1984.

SILVA, A. C. et al. Micorrização e épocas de dessecação de *Brachiaria brizantha* no desenvolvimento da soja. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 24, n. 2, p.271-277, 2006.

SILVA, A. A. et al. Manejo integrado de plantas daninhas em lavoura de café. In: TOMAZ, M. A. et al. (Eds.). **Seminário para a sustentabilidade da cafeicultura**. Alegre: UFES, 2008. p. 251-268.

SILVEIRA, A. P. D. Micorrizas. In: CARDOSO, E. J. B.N; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Ed.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.257-282.

SIQUEIRA, J.O.; COLOZZI FILHO, A. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro. II. Efeito do fósforo no estabelecimento e funcionamento da simbiose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, p.207-211, 1986.

SIQUEIRA, J.O.; ROCHA-JUNIOR, W. F.; OLIVEIRA, E.; COLOZZI FILHO, A. The relationship between vesicular arbuscular mycorrhiza and lime: associated effects on the growth and nutrition of *Brachiaria grass (Brachiaria decumbens)*. **Biology Fertility Soils**, v. 10, p. 65-71, 1990.

SCHÜSSLER, A.; SCHWARZOTT, D. & WALKER, C. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. **Mycological Research**, v. 105, p.1413-1421, 2001.

SOARES, W. L. **Uso dos agrotóxicos e seus impactos à saúde e ao ambiente: uma avaliação integrada entre a economia, a saúde pública, a ecologia e a agricultura**. 2010. 163 p. Tese Doutorado. Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro.

SOUZA, I. F.; VIEIRA NETO, J. C.; ABREU, C. U. Sistema integrado de controle de plantas daninhas em café (*Coffea arabica L.*) In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 1998. Poços de Caldas, MG. **Resumos**. RJ: SDR/PROcafé/PNEC, p. 261-264, 1998.

SOUZA, I. F. **Controle de Plantas Daninhas**. Apostila, FAEPE: Lavras, UFLA, 2001.

SOUZA, V. C. de; SILVA, R. A. da; CARDOSO, G. D.; BARRETI, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.612–618, 2006.

SOUZA, F. A.; STURMER, S. L.; CARRENHO, R.; TRUFEM, S. F. B. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A. de.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Eds). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 133 – 153. 713 p.: il.

THEODORO, V. C.A; ALVARENGA, M. I. N.; GUIMARÃES, R. J.; JÚNIOR, M. M. Carbono da biomassa microbiana e micorriza em solo sob mata nativa e agroecossistemas cafeeiros. **Acta Scientiarum: Agronomy**. Maringá, v. 25, n. 1, p. 147-153, 2003.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. **Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos**. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Tópicos em ciência do solo, v.2, p. 195-276, 2002.

VIEIRA, R. F.; SILVA, C. M. M. S.; SILVEIRA, A. P. D. Soil microbial biomass C and symbiotic processes associated with soybean after sulfentrazone herbicide application. **Plant and Soil**, v. 300, n. 1- 2, p. 91-103, 2007.

VIEIRA, V. C. S. **Avaliação do status micorrízico de cultivares de Oliveira, na Fazenda Experimental de Maria da Fé-MG**. 2010. 53p. Dissertação de mestrado (Meio ambiente e recursos hídricos). UNIFEI, Itajubá-MG.

VIERHEILIG, H.; COUGHLAN, A. P.; WYSS, U.; PICHE, Y. Ink and Vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. **Applied and Environmental Microbiology**. v. 64, n. 12, p. 5004- 5008. 1998.

YANG, Y.; WANG, H.; TANG, J.; CHEN, X. Effects of weed management practices on orchard soil biological and fertility properties in southeastern China. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, n.1, p. 179 – 185, Mar. 2007.

ANEXO A

Dados físicos e químicos do solo não publicados do ensaio de métodos de capina de São Sebastião do Paraíso em 2007, cedidos pelo pesquisador Dr. Elifas Nunes Alcântara

Tabela 1A. Médias de parâmetros físicos do solo, a camada de 0 a 15 cm, das entrelinhas de cafeeiros submetidos a diversos métodos de capina, 2007, São Sebastião do Paraíso, MG

Tratamentos	D.S. g/cm ³	D.P.	V.T.P. %	A.D.A. %	D.M.G. (mm)	D.M.P. (mm)
Roçadora	1,21 b	2,85 a	0,57 b	7,33 a	4,67 a	4,85 a
Grade	1,34 a	2,86 a	0,54 b	9,00 a	4,50 a	4,81 a
Enxada Rotativa	1,16 b	2,90 a	0,60 b	11,67 a	3,85 a	4,45 a
Herbicida pós-emergência	1,18 b	2,89 a	0,59 b	8,83 a	3,95 a	4,50 a
Herbicida pré-emergência	1,27 a	2,89 a	0,56 b	7,50 a	1,87 b	3,09 b
Capina manual	1,26 a	2,87 a	0,56 b	8,17 a	4,36 a	4,73 a
Sem Capina	1,09 c	2,82 a	0,61 a	9,00 a	3,89 a	4,45 a
CV	1,47	1,47	0,90	17,89	11,39	7,18

D.S.: Densidade do solo; D.P. : Densidade de partícula; V.T.P.: Volume total de poros; A.D.A.: Argila dispersa em água; D.M.G.: Diâmetro médio geométrico; D.M.P.: Diâmetro médio ponderado.

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste Scott – Knott a 5 %

Tabela 2A. Médias de parâmetros químicos do solo, camada de 0 a 15 cm, das entrelinhas de cafeeiros, submetidos a diversos métodos de capina, 2007, São Sebastião Paraíso, MG

Tratamentos	pH	P mg/dm ³	K	Ca	Mg c mol _c / dm ³	Al	H+Al
Roçadora	6,6 a	26,63 a	103,0 b	4,03 b	1,18 a	0,0 b	2,62 b
Grade	6,6 a	28,88 a	178,7 a	4,42 b	1,06 a	0,0 b	2,23 b
Enxada Rotativa	6,4 a	33,27 a	108,2 b	3,50 b	0,88 a	0,0 b	2,25 b
Herbicida pós-emergência	6,5 a	30,90 a	127,3 a	3,93 b	0,98 a	0,0 b	2,32 b
Herbicida pré-emergência	6,2 b	25,32 a	65,0 b	2,80 c	0,68 a	0,1 b	2,82 b
Capina manual	6,8 a	18,63 a	91,0 b	3,70 b	1,10 a	0,0 b	2,07 b
Sem Capina	7,1 a	55,18 a	83,0 b	6,33 a	1,62 a	0,0 b	1,32 c
Mata	5,7 c	1,00 b	71,0 b	1,40 d	1,20 a	0,3 a	4,03 a
Coefficiente Variação	2,00	19,71	15,85	8,35	8,05	2,25	5,36

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste Scott – Knott a 5 %

Tabela 3A. Médias de parâmetros químicos do solo, camada de 0 a 15 cm, das entrelinhas de cafeeiros, submetidos a diversos métodos de capina, 2007, FESP, São Sebastião Paraíso, MG

Tratamentos	SB	t c mol _c / dm ³	T	V	m - % -	M.O. dag/kg	P.rem mg/L
Roçadora	5,50 b	5,50 b	8,12 a	67,95 b	0,0 b	3,17 a	17,85 a
Grade	5,93 b	5,93 b	8,17 a	72,60 b	0,0 b	3,35 a	15,25 b
Enxada Rotativa	4,62 b	4,62 c	6,87 b	67,17 b	0,0 b	2,93 b	16,10 a
Herbicida pós-emergência	5,25 b	5,25 b	7,57 b	69,35 b	0,0 b	2,97 b	18,20 a
Herbicida pré-emergência	3,67 c	3,73 c	6,52 b	56,10 c	3,3 b	2,42 c	13,70 b
Capina manual	5,02 b	5,02 b	7,08 b	70,73 b	0,0 b	2,77 b	15,06 b
Sem Capina	8,17 a	8,17 a	9,48 a	84,18 a	0,0 b	3,48 a	14,18 b
CV	6,84	7,16	4,63	5,2	39,09	2,22	5,36

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste Scott – Knott a 5 %

ANEXO B

Tabela 1B. Variância entre os dados microbiológicos nos diferentes eixos (componentes principais).

AXIS	Eigenvalue	% de Variance Cum	% de Variance	Eigenvalue
1	4.695	46.950	46.950	2.929
2	2.427	24.272	71.221	1.929
3	1.453	14.525	85.747	1.429
4	725	7.248	92.995	1.096
5	463	4.632	97.627	846
6	237	2.373	100.000	646
7	000	000	100.000	479
8	000	000	100.000	336
9	000	000	100.000	211
10	000	000	100.000	100

Tabela 2B. Coeficientes de correlação entre os atributos microbiológicos.

Atributo	1	2	3	4	5	6
IC L	- 0,3675	0,2877	- 0,2058	- 0,0148	0,3939	- 0,3633
IC E	0,3082	0,0169	- 0,0071	0,8650	- 0,1019	0,1616
PC L	- 0,3374	- 0,2936	0,1063	0,1918	- 0,5397	- 0,5737
MEA L	- 0,4172	0,0285	0,3326	0,1485	- 0,0288	0,1237
MEA E	- 0,3747	0,0476	- 0,4108	0,3000	0,1496	0,2479
MET L	- 0,3725	- 0,3160	- 0,1037	0,2279	0,3346	- 0,0704
MET E	0,1024	- 0,4367	0,5420	0,0478	0,3451	- 0,1337
DE L	0,1665	- 0,3836	- 0,5686	- 0,0997	- 0,2529	- 0,1602
DE E	0,0842	- 0,5971	- 0,1735	- 0,0832	0,3065	0,1945
H' L	0,3969	0,1825	- 0,0945	0,1780	0,3619	- 0,5913

Tabela 3B. Variância entre os dados microbiológicos, físicos, químicos e produtividade nos diferentes eixos (componentes principais).

AXIS	Eigenvalue	% de Variance Cum	% de Variance	Eigenvalue
1	16.163	48.959	48.979	4.089
2	7.426	22.502	71.481	3.089
3	3.919	11.875	83.356	2.589
4	2.857	8.657	92.013	2.255
5	1.815	5.499	97.512	2.005
6	821	2.488	100.000	1.805
7	000	000	100.000	1.639
8	000	000	100.000	1.496
9	000	000	100.000	1.371
10	000	000	100.000	1.260

Tabela 4B. Coeficientes de correlação entre os atributos microbiológicos, físicos, químicos e produtividade.

Atributo	1	2	3	4	5	6
IC L	- 0,3675	0,2877	- 0,2058	- 0,0148	0,3939	- 0,3633
IC E	0,3082	0,0169	- 0,0071	0,8650	- 0,1019	0,1616
PC L	- 0,3374	- 0,2936	0,1063	0,1918	- 0,5397	- 0,5737
MEA L	- 0,4172	0,0285	0,3326	0,1485	- 0,0288	0,1237
MEA E	- 0,3747	0,0476	- 0,4108	0,3000	0,1496	0,2479
MET L	- 0,3725	- 0,3160	- 0,1037	0,2279	0,3346	- 0,0704
MET E	0,1024	- 0,4367	0,5420	0,0478	0,3451	- 0,1337
DE L	0,1665	- 0,3836	- 0,5686	- 0,0997	- 0,2529	- 0,1602
DE E	0,0842	- 0,5971	- 0,1735	- 0,0832	0,3065	0,1945
H' L	0,3969	0,1825	- 0,0945	0,1780	0,3619	- 0,5913
DS	- 0,1087	- 0,2403	- 0,1163	- 0,2621	- 0,2582	- 0,1091
DP	- 0,2008	- 0,0072	0,2939	- 0,0300	- 0,0413	- 0,0703
VTP	0,0887	0,2618	0,1837	0,2384	0,1896	0,0708
ADA	0,0377	0,1593	0,3808	- 0,0817	- 0,2854	0,2556
DMG	0,1848	- 0,2061	0,1730	- 0,0269	0,0239	0,1201
DMP	0,1876	- 0,1895	0,1969	- 0,0389	0,0187	0,0969
ph	0,2260	0,0454	- 0,0951	- 0,1300	0,2017	- 0,0402
P	0,1567	0,2535	- 0,0614	0,1593	- 0,1391	- 0,0649
K	0,0718	- 0,1934	0,1652	- 0,0624	- 0,4908	- 0,3198
Ca	0,2275	0,1090	- 0,1150	0,0328	- 0,0512	- 0,1364
Mg	0,2343	0,0550	- 0,1223	0,0264	0,1279	0,0114
Al	0,1991	0,1033	- 0,2653	0,0189	- 0,0321	- 0,0425
H + Al	0,2051	- 0,1736	- 0,0075	0,1680	- 0,0566	0,1069
SB	0,2332	0,0835	- 0,1107	0,0328	- 0,0441	- 0,1332
T	0,2321	0,0860	- 0,1161	0,0334	- 0,0450	- 0,1351
t	0,2245	0,0339	- 0,1603	0,1263	- 0,0928	- 0,1359
V	0,2409	0,0690	0,0017	- 0,0691	0,0029	- 0,1255
m	- 0,1991	0,1033	- 0,2653	0,0189	- 0,0321	- 0,0425
MO	0,2302	- 0,0247	- 0,0118	0,0944	- 0,2494	- 0,0180
Prem	0,0311	- 0,1913	0,2853	0,3505	0,1168	- 0,1472
PROD 2008	- 0,2383	0,0470	- 0,0368	- 0,1433	0,0251	- 0,0277
PROD 2009	- 0,2344	0,0035	- 0,0552	0,1358	0,1302	0,1408
PROD 2010	- 0,2352	- 0,0024	- 0,0840	- 0,1294	- 0,0931	- 0,1350