

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

TESE

**Matéria Orgânica e Indicadores Biológicos da
Qualidade do Solo na Cultura do Café sob
Manejo Agroflorestal e Orgânico**

María Antonieta Alfaro Villatoro

2004



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

**MATÉRIA ORGÂNICA E INDICADORES BIOLÓGICOS DA
QUALIDADE DO SOLO NA CULTURA DO CAFÉ SOB MANEJO
AGROFLORESTAL E ORGÂNICO**

MARÍA ANTONIETA ALFARO VILLATORO

Sob a Orientação do Professor
Ricardo Luis Louro Berbara

e Co-orientação dos Professores
Orivaldo José Saggin Júnior
Gabriel Araújo dos Santos

Tese submetida como requisito
parcial para obtenção do grau de
Doutor em Ciências em
Agronomia, Área de Concentração
em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ
Novembro de 2004

DEDICATÓRIA

*À memória do meu pai,
José Bernardo Alfaro Castillo
Com imenso amor e eterna saudade.*

*À minha querida mãe
Carmen Villatoro de Alfaro,
Às minhas sobrinhas
Silvita e Carmen Lucía,
Aos meus irmãos, irmãs, sobrinhos,
familiares e amigos,
Com amor, dedico.*

AGRADECIMENTOS

Dou graças a Deus por ter providenciado as circunstâncias que conduziram a realização deste projeto e de ter colocado no meu caminho tantas pessoas amigas, que no momento preciso, estiveram prontas a colaborar na realização do trabalho ou a me brindar com suas demonstrações de apoio. Portanto, desejo expressar meu agradecimento às instituições que facilitaram os recursos para a realização desta pesquisa e às pessoas que, de um modo ou de outro, participaram e me acompanharam na trajetória da minha formação.

Agradeço especialmente ao pessoal do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e a Embrapa Agrobiologia, por ter me dado a oportunidade de aprendizado, e à CAPES que através do Programa de Estudantes Convênio (PEC-PG) facilitou o financiamento para minha estada e formação no Brasil.

À Associação Nacional do Café (ANACAFÉ) e Instituto de Ciência e Tecnologia Agrícolas (ICTA) da Guatemala, pelos recursos proporcionados e pelo apoio incondicional para realizar parte da pesquisa na Guatemala.

Aos Professores Ricardo Berbara e Gabriel Araújo dos Santos pela sua amável orientação e apoio sempre que precisei.

Ao Dr. Orivaldo Saggin Júnior, por ter dedicado grande parte de seu valioso tempo para a exaustiva revisão, assim como, pelas correções e sugestões que em muito contribuíram para melhorar este trabalho. Obrigada por tudo.

À pesquisadora Marta dos Santos Freire Ricci, pelo apoio para as atividades desenvolvidas na Fazenda Santa Mônica e na Embrapa Agrobiologia.

Aos apreciados amigos de Laboratório de Micorrizas da Embrapa Agrobiologia, à Dra. Eliane Maria Ribeiro da Silva Ribeiro pela sempre calorosa receptividade e ao Técnico Itamar Garcia Ignácio pela amizade e ajuda para a identificação de fungos micorrízicos.

A Ana Lucy Caproni e Adriana Figueira Franca pela ajuda para identificação de FMAs e nematóides. A pesquisadora Janaína Ribeiro Costa pela orientação na análise estatística multivariada.

A todos os funcionários da Embrapa Agrobiologia que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho, especialmente ao pessoal da Biblioteca pelo amável atendimento, a Dorimar dos Santos Félix pela revisão das citações bibliográficas e atenção aos meus pedidos de material bibliográfico; ao pessoal da Informática, Fernando, Hugo e Jayme, sempre dispostos a ajudar, e ao pessoal técnico, especialmente a Claudinho e Joãozinho que colaboraram nas atividades de amostragem.

Ao pessoal da ANACAFÉ (Guatemala), Dr. Francisco Anzuetto, por ter atendido meu pedido de apoio institucional, e aos Agrónomos Edgar López, Humberto Jiménez e Byron Medina pela dedicação e interesse destinado ao meu trabalho. Obrigada pelo apoio incondicional e pelo constante estímulo para cumprir com a meta proposta.

Ao Técnico José Victor Galicia pela ajuda na extração dos nematóides, FMAs e por sua participação nas atividades de campo. Aos amigos Lucrecia de Palácios, Pablo Figueroa, Héctor Samayoa, Hector Chávez e Adolmiro de Leon pela grande ajuda nas análises das amostras

Aos amigos do ICTA, Maritza García, Luis Gerardo Molina, Héctor Sagastume, Luis A. Márquez, e ao ex-gerente Agrônomo Wotzbeli Mendez, pelas facilidades brindadas para fazer parte da pesquisa nessa instituição. A Marvin Perez, pela ajuda nas atividades de campo e laboratório.

Ao amigo Leonardo Contreras, pela ajuda e orientação para a realização de análises físicas e químicas de amostras de solo. A Guillermo Chocano por sua amável companhia, interessantes conversas e ajuda no trabalho de campo.

Muito obrigada aos proprietários das Fazendas incluídas neste estudo, que este trabalho possa ser útil para estimular e promover a conservação dos agrossistemas de cafeeiros e dos nossos já escassos fragmentos florestais:

Fazenda San Augustin Las Minas: a Don Roberto Herrera Ibargüen e a seu eficiente Administrador Agrônomo Edgar Ramírez.

Fazenda San Rafael Urias: Aos Sres. Raúl e Isidro Valdez, obrigada por me receber sempre com o delicioso cafezinho da fazenda.

Fazenda El Chorro: Sr. Juan Diem e Juan Jr, que amavelmente me permitiram ingressar em suas propriedades.

Fazenda Las Flores: ao Agrônomo Marco Túlio Duarte e Pessoal da Fazenda que além de permitir-me amostrar as parcelas experimentais, estiveram sempre prontos a colaborar com minhas atividades.

A todos os companheiros de curso, às amigas do alojamento da Pós-graduação da UFRRJ, e às amigas e amigos Elza Mika Suzuki, Rossana Milagre, Sandra Batista, Fabiana de Carvalho Dias, Ednaldo Da Silva Araújo, Conceição Rivoli Costa e Edson Souchie, pela amizade e constante apoio nos momentos difíceis.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	i
GENERAL ABSTRACT	ii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REVISÃO DE LITERATURA	3
1. Os Sistemas de Produção de Café	3
2. O Manejo Agroflorestal e sua Influência nos Cafeeiros.....	4
3. A Fertilidade do Solo nos Sistemas Agroflorestais com Café.....	6
4. Indicadores de Qualidade do Solo nos Sistemas Agroflorestais com Café.....	7
4.1. A matéria orgânica e as propriedades microbianas como indicadoras da qualidade do solo.	8
4.2. A mesofauna como indicadora da qualidade do solo	11
4.3. Os nematóides como indicadores da qualidade do solo	13
4.4. Os fungos micorrízicos arbusculares e sua importância na cultura do café.....	15
CAPÍTULO I – DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM CAFÉ E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DO SOLO	18
RESUMO	19
ABSTRACT	20
1. INTRODUÇÃO.....	21
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
2.1. Descrição das Áreas de Estudo.....	22
2.2. Descrição dos Sistemas Agroflorestais com Café.....	23
2.3. Metodologia para a Descrição dos Sistemas Agroflorestais	24
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
3.1. Composição Florística.....	26
3.2. Cobertura Arbórea.....	29
3.3. Estado Fitossanitário do Cafezal	30
3.4. Qualidade do Solo	33
4. CONCLUSÕES	37
CAPÍTULO II – MATÉRIA ORGÂNICA, BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM CAFÉ	38
RESUMO	39
ABSTRACTS	40
1. INTRODUÇÃO.....	41
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
2.1. Áreas de Estudo.....	42
2.2. Metodologia da Amostragem e Análises das Amostras	42
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
3.1. Propriedades Físicas do Solo.....	46
3.2. Teor de Nutrientes e pH do Solo	47
3.4. Carbono Orgânico do Solo	50
3.5. Nitrogênio do Solo	52

3.6. Relação Carbono:Nitrogênio	54
3.7. Carbono da Biomassa Microbiana do Solo	55
3.8. Quociente Microbiano	56
3.9. Respiração do Solo	58
3.10. Quociente Metabólico (qCO_2)	59
3.11. Fracionamento da Matéria Orgânica do Solo	61
3.12. Teores e Conteúdos de Nutrientes da Cobertura do Solo	64

CAPÍTULO III – MESOFAUNA DO SOLO, NEMATÓIDES E FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM CAFÉ	70
---	----

RESUMO	71
ABSTRACT	72
1. INTRODUÇÃO	73
2. MATERIAL E MÉTODOS	74
2.1. Áreas de Estudo	74
2.2. Metodologia para a Avaliação das Comunidades da Biota do Solo	74
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
3.1. A Mesofauna do Solo nos Sistemas Agroflorestais com Café	77
3.1.1. Número de indivíduos da mesofauna do solo e serapilheira	77
3.1.2. Composição da comunidade da mesofauna	79
3.1.3. Índices de Diversidade da Mesofauna	82
3.2. Nematóides do Solo	83
3.2.1. Número de nematóides	83
3.2.2. Estrutura da comunidade dos nematóides do solo	84
3.2.3. Índices de diversidade de nematóides	87
3.3. Fungos Micorrízicos Arbusculares	88
3.4. Agrupamento dos SAFs com Base nas Comunidades de Biota do Solo	90
4. CONCLUSÕES	92

CAPÍTULO IV – RELAÇÕES ENTRE OS INDICADORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS DA QUALIDADE DO SOLO NOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM CAFÉ	93
--	----

RESUMO	94
ABSTRACT	95
1. INTRODUÇÃO	96
2. MATERIAL E MÉTODOS	97
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	98
4. CONCLUSÕES	105

CAPÍTULO V – OCORRÊNCIA DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CAFÉ SOB MANEJO ORGÂNICO	106
---	-----

RESUMO	107
ABSTRACT	108
1. INTRODUÇÃO	109
2. MATERIAL E MÉTODOS	110

2.1. Experimentos 1 e 2: Ocorrência de Espécies de FMAs em Café Solteiro e Consorciado com Bananeiras sob Manejo Orgânico.....	110
2.1.1. Descrição da área.....	110
2.1.2. Estabelecimento e manejo dos experimentos	110
2.1.3. Amostragem dos experimentos	111
2.1.4. Processamento das amostras.....	111
2.2. Experimento 3: Ocorrência de Espécies de FMAs em Café Consorciado com Guandu sob Manejo Orgânico.....	111
2.2.2. Descrição da área e do experimento	111
2.2.2. Amostragem, processamento e análise dos resultados	112
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	113
3.1. Experimento de Café Solteiro sob Manejo Orgânico.....	113
3.2. Experimento de Café Consorciado com Bananeiras	119
3.3. Efeito da Adubação Verde sobre a Comunidade de FMAs.....	125
3.4. Experimento de Café Consorciado com Guandu	130
4. CONCLUSÕES.....	133
CONCLUSÕES FINAIS.....	134
CONSIDERAÇÕES FINAIS	135
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
ANEXO	158

RESUMO GERAL

ALFARO VILLATORO, María Antonieta. **Matéria orgânica e indicadores biológicos da qualidade do solo na cultura de café sob manejo agroflorestal e orgânico.** Seropédica: UFRRJ, 2004. 186 p. (Tese, Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo).

O estudo foi conduzido para avaliar a qualidade do solo na cultura de café sob manejo agroflorestal e orgânico, mediante uso de indicadores biológicos e da matéria orgânica do solo. Foram avaliados oito sistemas agroflorestais (SAFs) localizados no sudeste da Guatemala e três experimentos de cultura de café sob manejo orgânico, localizados no vale do Paraíba, no Brasil. Os SAFs são integrados por cafeeiros e pelas espécies *Erythrina poeppigiana*, *Inga sp.*, *Solanum banssii*, *Grevillea robusta* e bananeiras (*Musa sp.*). Registrou-se a composição florística, a cobertura arbórea, o estado fitossanitário da cultura e a qualidade do solo através de indicadores levantados no campo. Foram avaliadas diversas propriedades físico químicas do solo e da cobertura orgânica do solo. Entre os indicadores biológicos, avaliou-se o carbono da biomassa microbiana, a respiração do solo, os quocientes microbiano e metabólico, assim como, a mesofauna do solo e serapilheira, nematóides e fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Os SAFs apresentaram diferentes graus de complexidade florística e diferentes condições de manejo que influíram sobre o estado físico, condição fitossanitária e características de produtividade dos cafeeiros. A qualidade do solo foi influenciada pelas características intrínsecas do solo. Foi evidenciado que o manejo agroflorestal introduz alta quantidade de resíduos orgânicos e nutrientes para a cultura de café. Os indicadores microbiológicos foram sensíveis a sazonalidade de amostragem, indicando intensa atividade microbiana e sugerindo rápida ciclagem dos nutrientes. A mesofauna apresentou alta abundância de indivíduos e diversidade de grupos taxonômicos, sendo dominantes os artrópodes das ordens Collembola, Acari e Formicidae. As comunidades de nematóides foram dominados pelos bacteriófagos, demonstrando o papel destes organismos na regulação da decomposição da matéria orgânica. Os FMAs foram mais abundantes no sistema com cobertura viva de *Arachis pintoi*. Uma análise de Componentes Principais confirmou que o manejo orgânico e a cobertura viva de leguminosas contribuem para melhorar a qualidade do solo nos SAFs com café. Nos experimentos de café sob manejo orgânico, avaliou-se a ocorrência de FMAs em cafeeiros solteiros ou consorciados com bananeiras e com *Crotalaria juncea* e guandu (*Cajanus cajan*) para adubação verde. Os cafezais solteiros e os associados às bananeiras apresentaram alto número de esporos de FMAs que decresceu significativamente aos 40 meses após o plantio. A adubação verde com *Crotalaria juncea* não estimulou a esporulação de FMAs. No entanto, foi observada maior esporulação dos FMAs no experimento com guandu, quando a leguminosa foi plantada na densidade de três linhas nas entrelinhas do café. Um total de 30 espécies de FMAs foram identificadas nos experimentos sob manejo orgânico com predominância dos gêneros *Glomus* e *Acaulospora*. Foi concluído que o manejo agroflorestal e orgânico contribui para melhores condições de qualidade do solo, entretanto, práticas de manejo para melhorar o estado dos cafeeiros são essenciais para incrementar a produtividade e sustentabilidade da cultura de café.

Palavras chave: carbono orgânico, organismos do solo, fungos micorrízicos

GENERAL ABSTRACT

ALFARO VILLATORO, María Antonieta. **Organic matter and biological indicators of soil quality in coffee crop in agroforestry and organic management.** Seropédica: UFRRJ, 2004. 186 p. (Tese, Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo).

This study was conducted to assess soil quality in coffee crop in agroforestry and organic management through biological indicator and soil organic matter. Thus, eight agroforestry systems in Southeast Guatemala and three coffee experiments with organic management in Paraíba Valley, Brazil, were evaluated. Evaluated systems are integrated by coffee and the species *Erythrina poeppigiana*, *Inga sp.*, *Solanum banssii*, *Grevillea robusta* and banana (*Musa sp.*). Floristic composition, canopy cover, sanitary crop conditions and soil quality using field indicators were registered. Several soil physical and chemical properties and soil organic cover were evaluated. As biological indicators, microbial soil carbon, soil respiration and microbial and metabolic quotients were evaluated, as well as, mesofauna from soil and litter, nematode and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). Agroforestry systems had different levels of floristic complexity and management conditions that influenced physical status, health condition and productivity of coffee plants. Soil quality was influenced by inherent soil properties. It was evidenced that agroforestry management contributed to high amount of residues and nutrients to coffee crop. Microbial indicators were sensitive to sampling seasonality indicating intense microbial activity and suggesting fast nutrient cycling. Mesofauna presented high abundance and taxonomic group diversity with high abundance of Collembola, Acari and Formicidae. Nematode communities were dominated by bacterivorous indicating the role of these organisms in regulation of organic matter decomposition. AMF were more abundant on system with *Arachis pintoii* as cover crop. A Principal Component Analyses confirmed that organic management and maintenance of legume as cover crop are practices that contribute to improvement soil quality in coffee agroforestry systems. In coffee experiments with organic management, occurrence of species and spores of AMF were evaluated in monoculture coffee, associated with banana plants, *Crotalaria juncea* and *Cajanus cajan*, as green manure. Coffee monoculture and associated with bananas showed high AMF spores number that decrease significantly 40 months after coffee planting. Green manuring with *Crotalaria juncea* did not stimulate sporulation of AMF but in coffee experiment with *Cajanus cajan* was observed more sporulation in coffee plants when legume was planted in the high density of three rows between coffee interrows. A total of 30 AMF species were identified on coffee experiments with organic management with dominance of *Glomus* and *Acaulospora* species. It was concluded that coffee agroforestry systems and organic management contribute to better soil quality conditions but management practices to improve health coffee plants is essential to increase productivity and sustainability in coffee crop.

Key words: organic carbon, soil organisms, arbuscular mycorrhizal fungi

INTRODUÇÃO GERAL

Na América Latina a produção de café tem uma importância econômica de primeira ordem. Só no Brasil, em 2003, foram produzidas mais de 46 milhões de sacas (60 kg) de café beneficiado, em uma área de cultivo de 2,6 milhões de hectares (FNP, 2004). A quantidade de café produzido no Brasil é equivalente a um quarto da produção total de café no mundo (FAO, 2004), o que coloca a este país no primeiro lugar de produção e exportação.

Nos países restantes da América Latina, a produção em 2003, atingiu 34 milhões de sacas (ICO, 2004), produzidas em uma área que representa 44 % do total das terras destinadas a culturas permanentes (RICE e WARD, 1996). Com base nestes dados, deduz-se a importância da cultura em toda a região latino-americana.

As formas de produção de café no continente americano são muito variadas, devido não só às várias condições climáticas e edáficas que predominam nas áreas de cultivo, como também à diversidade cultural dos agricultores. Estas distintas formas de cultivo do café provocam diferentes impactos sobre os recursos naturais envolvidos na produção e dão origem as diferentes qualidades do café comercializadas no mundo.

No Brasil, as práticas do manejo tradicional de cultivo de cafeeiro associado com árvores foram substituídas, durante o século XX, por técnicas intensivas que permitiram incrementar os benefícios econômicos da cultura. Surgiram assim, os sistemas de monocultura superdensada existentes na atualidade. Estes sistemas de cafezal em monocultura, além de requerer grandes investimentos para manter a alta produtividade das lavouras comprometem a qualidade dos recursos naturais, especialmente solo, água, diversidade biológica e paisagem. O manejo tradicional se manteve ativo no Brasil apenas em algumas áreas como nas comunidades quilombolas. Atualmente há um interesse no manejo agroflorestal e orgânico visando aumentar a sustentabilidade da cultura.

Nos demais países da América Latina, com exceção de algumas áreas de cultivo, o sistema tradicional de cultivar café em associação com árvores é objeto de atenção de cientistas, ecologistas, produtores e consumidores de café, preocupados com a degradação ambiental provocado pela agricultura intensiva. Esta preocupação compartilhada por vários setores tem gerado maiores investimentos em linhas de pesquisa para estudar a diversidade das espécies associadas aos sistemas tradicionais, incrementar a produtividade da cultura sob estas condições e melhorar a qualidade de vida dos produtores. Dessa forma, também se contribui com a preservação de muitas áreas de reserva florestal, principalmente nos países com altas taxas de desmatamento.

Uma das características dos sistemas de produção de café sob manejo agroflorestal o constitui a diversidade de organismos que se desenvolvem na grossa camada de resíduos depositados sobre o solo. Esta diversidade é de uma importância relevante para a manutenção da fertilidade do solo e para funcionalidade dos sistemas, devido à participação dos organismos do solo nos diferentes processos de transformação da matéria orgânica. Assim, os pequenos invertebrados participam da desintegração e transformação química dos resíduos, como também, condicionando os substratos para o ataque microbiano. A atividade conjunta de microrganismos e invertebrados conduz finalmente, à liberação dos nutrientes, bem como à formação de compostos estáveis da matéria orgânica do solo.

Nos sistemas de cultivo de café, os nutrientes liberados a partir da decomposição da matéria orgânica ficam disponibilizados para os cafeeiros, podendo ser absorvidos

diretamente da solução do solo ou, como nos casos de alguns nutrientes de baixa mobilidade, pela atuação intermediária dos fungos micorrízicos arbusculares. Os FMAs facilitam a absorção e transferência dos nutrientes desde os microsítios no solo até as raízes, refletindo no melhor estado nutricional dos cafeeiros.

Assim, o marco geral deste trabalho foi definido em decorrência da importância da matéria orgânica e dos diferentes grupos de organismos sobre a qualidade do solo e funcionalidade dos sistemas agroflorestais (SAFs) e orgânicos para a produção de café. O objetivo foi contribuir para o estudo destes agroecossistemas, avaliando o impacto do componente arbóreo e do manejo orgânico da cultura sobre a deposição da matéria orgânica, a riqueza dos nutrientes, a atividade dos microrganismos, a diversidade da mesofauna do solo, nematóides e fungos micorrízicos arbusculares. Tentou-se identificar a partir deste estudo, práticas de manejo que favorecem a sustentabilidade econômica e ecológica da cultura, em longo prazo.

Para isso, no Capítulo I incluiu-se uma descrição dos SAFs com café estudados na Guatemala, dando ênfase à composição vegetativa de tais sistemas. Também se analisou a qualidade do solo e o estado fitossanitário dos cafezais, com base em indicadores relacionados com a produtividade da cultura. Esta descrição permitiu a interpretação de outros indicadores relacionados com a deposição e qualidade da matéria orgânica e atividade microbiana decompositora, tratados no Capítulo II, e com as características das populações da mesofauna do solo, nematóides e fungos micorrízicos arbusculares, tratadas no Capítulo III. Os resultados dos três capítulos foram integrados no Capítulo IV, em uma análise de Componentes Principais, cujo propósito foi identificar as práticas de manejo que favoreçam o equilíbrio do ecossistema e que permitam melhorar as condições de produtividade da cultura sob manejo agroflorestal.

Tanto nos SAFs, que geralmente funcionam com poucos ingressos de fertilização química, quanto nos sistemas de produção de café sob manejo estritamente orgânico, a funcionalidade da associação micorrízica pode significar, em termos práticos, uma importante economia no consumo dos fertilizantes fosfatados. Por esta razão, no Capítulo V avaliou-se a ocorrência dos FMAs em diferentes cultivares de cafeeiro quando plantados solteiros ou consorciados com bananeiras, sob manejo orgânico. Avaliou-se também o efeito de práticas de adubação verde com crotalaria e guandu sobre a ocorrência e diversidade destes fungos. Estes levantamentos consideram-se úteis para estabelecer possíveis interações existentes entre espécies de FMAs e cafeeiros que conduzam a um melhor aproveitamento da associação micorrízica.

REVISÃO DE LITERATURA

1. Os Sistemas de Produção de Café

O café é cultivado em uma extensão aproximada de 10,5 milhões de hectares, dos quais mais de 50% situam-se no continente americano (FAO, 2004). As diferentes zonas ecológicas, assim como as características sociais, econômicas e culturais que prevalecem nos países produtores determina diferentes formas de manejo da cultura (RICE & WARD, 1996). Assim, os sistemas de produção de café que atualmente existem no continente americano caracterizam-se por formar um *continuum* que varia desde as mais primitivas associações de cafeeiros com árvores para sombra até os mais modernos sistemas intensivos de monocultura (PERFECTO et al., 1996; MOGUEL & TOLEDO, 1999).

Os sistemas de cultivo de café sombreado são muito variados na sua composição vegetativa e estrutura vertical, apresentando geralmente mais de dois estratos. A caracterização das diferentes formas em que se combinam as árvores nos sistemas agroflorestais (SAFs) tem sido objeto de estudo, visando encontrar os melhores arranjos entre os componentes dos sistemas para melhorar a produção do café (MUSCHLER, 1999; STAVELAND et al., 2001).

LAGEMANN & HEUVELDOP (1983) estudando os sistemas agroflorestais da região Acosta-Puriscal na Costa Rica, mencionaram que uma estrutura vertical típica dos sistemas de café sombreado com múltiplas espécies consta de três estratos: o estrato inferior constituído pelos cafeeiros, o estrato médio formado pelas árvores para sombra como *Erythrina poeppigiana*, *Inga* spp. ou espécies frutíferas como *Citrus* spp., *Musa* spp., *Mangifera indica*, e o estrato superior com árvores madeireiras como *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Dyphisa robinoides*, e também algumas frutíferas. Estes autores destacaram que sob manejo agroflorestal tecnificado a distribuição horizontal das árvores é muito regular com poucas espécies associadas, enquanto que nos sistemas tradicionais existe uma maior diversidade, mas com irregularidade na distribuição espacial das árvores.

Na Venezuela, ESCALANTE (1997) classificou os diferentes SAFs para produção de café, observando que estes variam desde os mais simples resultantes da combinação de árvores para sombra ou madeiras com café, em uma estrutura vertical simples de dois estratos vegetativos, até outros mais complexos. Nestes últimos se combinam espécies para produção de sombra, com frutíferas, madeiráveis e bananeiras, formando estrutura de três ou mais estratos. Neste estudo, o autor encontrou espécies dos gêneros *Inga* e *Erythrina* como os componentes mais consistentes dos SAFs, presentes em 97,5 % das fazendas. Também foi importante a combinação, como cultivo secundário, de bananeiras (*Musa* spp.) como cultivo secundário em 70 % dos casos, e de outras frutíferas, em 34 %.

No México, MOGUEL & TOLEDO (1999) identificaram cinco sistemas de produção de café, formando um gradiente de complexidade estrutural segundo o nível de manejo e diversidade vegetativa. Em um dos extremos deste gradiente estão os sistemas rústicos ou de montanha, nos quais os cafeeiros substituem espécies que crescem no estrato baixo das florestas. Estes apresentam alta diversidade, pouco manejo agrônomico e baixa produtividade. No outro extremo, situam-se as monoculturas de cafeeiros que se caracterizam pelo uso de cultivares melhoradas, as quais são cultivadas ao pleno sol, com alta densidade de plantas, altos ingressos de insumos agrícolas,

tecnologia apropriada para colheita e processamento e, conseqüentemente, alta produtividade, representando um sistema de agricultura intensiva. Entre estes dois extremos, distinguem-se outros sistemas intermediários em relação ao uso dos recursos, exploração das árvores e manejo agrônômico.

Como conseqüência da diversidade e complexidade vegetativa dos SAFs, eles se tornam importantes para a conservação dos recursos naturais e da fauna e flora, constantemente ameaçada pelo avanço da agricultura intensiva. Estes sistemas são também importantes na geração de produtos adicionais que, muitas vezes, são indispensáveis para a sobrevivência dos habitantes das regiões onde se cultiva o café.

HERZOG (1994) destacou a importância dos SAFs com cacau e café na Costa do Marfim, pela grande quantidade de benefícios que as árvores promovem ao ambiente e, principalmente, porque os produtos obtidos do componente arbóreo permitem aliviar diversas necessidades dos produtores, como alimentos, lenha, medicamentos, madeira para construção, forragem, gomas, condimentos, produção para artesanatos e outros usos domésticos. Segundo o autor, promover sombra às culturas não é a única motivação para manter árvores na plantação, sendo evidente que a preferência por determinadas espécies que compõem os SAFs está ligada às condições sociais, econômicas e culturais dos produtores.

Outros autores (SOTO-PINTO et al., 2000; PETERS et al., 2003), mencionam que a complexidade vegetativa mantida pelos produtores para sombrear os cafeeiros, além de gerar produtos, permite que a presença de muitas espécies sirva como refúgio para aves migratórias e fauna terrestre.

Nos SAFs, a complexidade dos estratos e a diversidade de plantas associadas à cultura provocam diferentes impactos sobre os processos biológicos e ecológicos, tanto na escala microambiental (MONTEITH et al., 1991; PERFECTO & VANDERMEER, 1996), quanto na escala de ecossistemas regionais (NESTEL, 1995), refletindo os diferentes graus de manipulação do ambiente (BEER et al., 1998; SOTO-PINTO et al., 2000).

A influência do componente arbóreo nos sistemas de produção de café, decorrente das mudanças microclimáticas (BARRADAS & FANJUL, 1986; MIGUEL et al., 1995) e da deposição da matéria orgânica (ALPIZAR et al., 1985; BEER, 1988) afeta os processos físicos, químicos e biológicos do solo que determinam a sua qualidade, assim como, a fisiologia, produtividade e fitossanidade dos cafeeiros. O grau em que tais processos são afetados positivamente pela influência das árvores e pelo manejo, é determinante para que os SAFs com café mantenham sua sustentabilidade ao longo dos anos.

2. O Manejo Agroflorestal e sua Influência nos Cafeeiros

Nos SAFs, as estreitas relações entre plantas com diferentes características arquitetônicas e fisiológicas, dá origem a diversas interações que variam em intensidade, afetando o desenvolvimento das espécies (ONG et al., 1991). Tais interações são determinadas pela influência do componente arbóreo sobre as culturas e sobre o ambiente em que estas se desenvolvem, podendo ser quantificadas como respostas na fertilidade do solo, modificações no microclima, disponibilidade e utilização dos recursos, principalmente água, luz e nutrientes, assim como, na incidência de pragas, doenças e efeitos alelopáticos (RAO et al., 1998).

Nos SAFs, a influência das árvores sobre os cafeeiros depende em grande parte das características das espécies, sua distribuição espacial e manejo (BEER et al., 1998),

sendo estes fatores muito importantes para determinar a produtividade e qualidade do café (MUSCHLER,1999; 2001).

Entre os efeitos produzidos pelas árvores, o sombreamento é um dos mais importantes porque afeta diretamente a interceptação da radiação solar e a eficiência da atividade fotossintética e respiratória dos cafeeiros, podendo chegar a causar diminuição na produtividade. MUSCHLER (1999) menciona que os benefícios da sombra para os cafeeiros são mais evidentes quando existem limitações ambientais, como as relacionadas com fertilidade do solo, temperaturas extremas e estações secas bem definidas.

DA MATTA (2004) menciona que sob condições de sombreamento a produtividade dos cafeeiros diminui por várias causas, entre elas, menores taxas de assimilação de carbono num ambiente menos irradiado, maior estímulo ao crescimento vegetativo que ao reprodutivo, e menor número de nós e flores por ramo, sendo este último fator um dos componentes chaves na produtividade do café.

Sabe-se que o cafeeiro atinge a máxima taxa fotossintética em condições de irradiância moderada (KUMAR & TIESZEN, 1980). Altas irradiâncias reduzem a eficiência fotossintética por causar fotoinibição e dano no fotossistema II (NUNES et al., 1993; RAMALHO et al., 1998), incremento da temperatura da folha e conseqüente redução na condutância do mesófilo dificultando as trocas gasosas na folha (FREITAS et al, 2003). Portanto, é de esperar que os cafeeiros cultivados em associação com árvores se beneficiem com as modificações do microclima proporcionadas pela cobertura arbórea, especialmente em relação ao controle da irradiação e das flutuações extremas de temperatura.

Embora alguns trabalhos tenham demonstrado que o sombreamento excessivo causa um efeito negativo sobre a produtividade dos cafezais (MIRANDA et al., 1999; MORAIS et al., 2003), o manejo da vegetação arbórea para obter um nível moderado de sombra permite atingir rendimentos similares ou até superiores aos obtidos por cafeeiros cultivados ao sol (MATIELLO et al., 1989). Mas talvez, os principais benefícios do sombreamento moderado sejam obtidos pelo controle da bi-anualidade da produção e da redução na incidência da morte dos ramos e ponteiros (RENA & MAESTRI, 1985; DA MATTA, 2003), permitindo melhorar a estabilidade da produção.

SOTO-PINTO et al. (2000) avaliando o efeito da densidade da sombra sobre os rendimentos de café, demonstraram que níveis de sombreamento entre 38 e 48 % não reduzem significativamente a produtividade dos cafeeiros, enquanto que acima de 48 % há prejuízo. ESCALANTE (1997) demonstrou que existe uma correlação negativa entre número de árvores e rendimento de café, embora o autor tenha atribuído essa correlação ao efeito da competição entre plantas e não ao efeito da variação nas densidades de plantio e do sombreamento.

HERNÁNDEZ, et al. (1997) demonstraram que a espécie associada ao café pode ter influência sobre o rendimento dos cafezais. Estes autores observaram que a associação de cafeeiros com eritrina (*E. poeppigiana*) não causou diminuição do rendimento em nenhuma das densidades de árvores avaliadas (129 a 258 árvores ha⁻¹), enquanto que a associação com *Cordia alliodora* (107 a 348 árvores ha⁻¹), afetou negativamente a produtividade com o aumento na densidade. Assim, os resultados encontrados demonstraram a complexa relação entre sombreamento, densidades de árvores e espécies utilizadas na associação sobre o rendimento e produtividade dos cafeeiros.

SOTO-PINTO et al. (2000) mencionaram que o manejo da cobertura é mais importante que a densidade e a espécie utilizada na associação. Assim, uma alta densidade de árvores, com poda adequada para atingir o nível apropriado de sombra,

produz os mesmos rendimentos que uma baixa densidade de árvores com maior cobertura aérea. Esses autores também mencionaram que a estrutura da cobertura arbórea (forma e densidade da copa) pode ser mais importante que a própria espécie utilizada na associação.

3. A Fertilidade do Solo nos Sistemas Agroflorestais com Café

Nos SAFs o ciclo da matéria orgânica é o evento mais importante para a manutenção da fertilidade e da qualidade do solo. O fornecimento de nutrientes para a cultura é realizado por processos dinâmicos de transferência através dos quais os nutrientes contidos na matéria orgânica mineralizam-se e são imobilizados dentro dos vários componentes bióticos, ou são fixados ou perdidos dos compartimentos do ecossistema (FASSBENDER, 1993).

No ciclo da matéria orgânica os ingressos de nutrientes ao sistema ocorrem via precipitação / deposição, adição de fertilizantes, fixação atmosférica e intemperismo de minerais. A saída dos nutrientes ocorre principalmente devido à remoção pelas colheitas, pelas perdas ocasionadas durante o preparo do solo e pela lixiviação. O fluxo e a transferência dos nutrientes para as culturas associadas aos SAFs ocorre via decomposição dos resíduos arbóreos adicionados ao solo (KHANNA, 1998).

PALM (1995) menciona que a quantidade com que os nutrientes se disponibilizam para as culturas é consequência da taxa de produção dos resíduos e da sua concentração de nutrientes, dependendo estes fatores do clima, tipo de solo, espécie arbórea, densidade de árvores e regime de poda. A velocidade do fluxo dos nutrientes depende de fatores relacionados à qualidade dos resíduos (TIANG et al., 1992), às condições ambientais, principalmente temperatura e umidade (AERTS, 1997) e à atividade dos organismos (SWIFT et al., 1979). As propriedades de solo como pH, textura e mineralogia são também fatores que influem na taxa de decomposição e na disponibilidade dos nutrientes devido às interações entre os compostos liberados e as superfícies de adsorção (PARFITT et al., 1997).

Nos SAFs as espécies arbóreas consorciadas com os cafeeiros podem produzir altas quantidades de resíduos, especialmente se elas permitem o manejo mediante podas. Segundo BEER et al. (1998) os SAFs com café podem chegar a acumular até 14 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de serapilheira proveniente da queda de folhas e de material podado. As raízes senescentes representam também uma significativa contribuição na biomassa total dos SAFs, embora pouco estimada devido às dificuldades metodológicas para sua quantificação (NAIR et al. 1999).

ARATO et al. (2003) estimaram em um SAF constituído por diversas espécies arbóreas e frutíferas consorciadas com cafeeiros e bananeiras, que a produção anual de serapilheira atingiu 10.165 kg ha⁻¹ dos quais 67% eram folhas. As maiores deposições ocorreram durante o final da estação seca, quando a queda das folhas se acentuou como consequência do menor teor de umidade no solo. Este comportamento também foi observado por CORRÊA NETO et al. (2001) em áreas de floresta secundária e em plantio de eucalipto, onde a maior contribuição para a serapilheira esteve constituída por folhas. ARATO et al., (2003) determinaram que 50 % do material depositado foi decomposto em 215 dias, indicando uma rápida liberação e reaproveitamento dos nutrientes contidos na serapilheira.

Em SAFs com café e ingá e café, ingá e bananeiras, SEVERINO & OLIVEIRA (1999) estimaram deposições de resíduos que atingiram 3.595 e 2.745 kg ha⁻¹, respectivamente, em um período de coleta de quatro meses. Em ambos sistemas a contribuição dos nutrientes via serapilheira excedeu os níveis de nutrientes extraídos

pelas colheitas. Além disso, a área de café e ingá superou áreas de vegetação nativa nos teores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e potássio, indicando que os SAFs contribuem para a melhoria da fertilidade do solo.

PEREZ MARIN (2002) determinou que a quantidade de resíduos formando a manta orgânica do solo em SAF com café superou até em 95% à depositada em sistema de monocultura, permitindo incrementos de nutrientes de até 82 % de nitrogênio, 119 % de fósforo, 175 % de potássio, 6 % de cálcio, 34 % de magnésio e 75 % de enxofre com relação à monocultura. Isto demonstra a potencialidade dos resíduos arbóreos no fornecimento de nutrientes para os cafeeiros.

CUEVAS & LUGO (2003) estudaram a quantidade de resíduos produzidos por diversas espécies florestais dos trópicos, algumas das quais são freqüentemente utilizadas no sombreamento de cafeeiros. Sob similares condições de solo e clima, as espécies estudadas diferiram marcadamente na sua capacidade de produzir resíduo (entre 8,1 e 14,3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), demonstrando diferentes respostas fisiológicas a fatores ambientais responsáveis pela senescência das folhas, como limitações de água, duração do dia e temperatura.

MENDONÇA & STOTT (2003) determinaram lentas taxas de decomposição de resíduos arbóreos provenientes de sistemas de café sombreado em decorrência de altos teores de lignina e polifenóis, altas relações C:N e C:P e baixos conteúdos de Ca, Mg e K. Por outro lado, TEKLAY & MALMER (2004) observaram rápida liberação de nutrientes a partir de resíduos de espécies arbóreas associadas a cafeeiros e concluíram que a natureza e o modo de liberação dos polifenóis e taninos pode ser mais importante que a quantidade desses compostos.

Devido às significativas variações nas taxas de decomposição de resíduos provenientes de diferentes espécies arbóreas (TIANG et al., 1992; HANDAYANTO et al., 1994; SENEVIRATNE et al., 1998), assim como entre diferentes partes de uma mesma espécie (PALM & SANCHEZ, 1991; CONSTANTINIDES & FOWNES, 1994), a seleção de espécies com diferentes composições químicas e com potencial de rápida regeneração é uma estratégia importante para o manejo da fertilidade nos SAFs. CHAPMAN et al. (1988) sugeriram que combinar espécies que produzem resíduos com alta concentração de nutrientes com espécies que produzem resíduos de baixa qualidade pode incrementar a decomposição e liberação dos nutrientes da serapilheira.

CUEVAS & LUGO (2003) mencionam que a seleção de espécies arbóreas pode fazer a diferença nas estratégias de manejo para uma boa disponibilidade de nutrientes e melhoramento da fertilidade desde que o fornecimento de nutrientes via serapilheira possa ser regulado pela combinação de espécies arbóreas. Assim, a mistura de espécies que produzem alta biomassa e média ou baixa concentração de nutrientes com espécies produtoras de baixa biomassa e alta concentração de nutrientes, provocará um impacto mensurável sobre as características de fertilidade do solo, especialmente nas camadas superficiais.

Segundo MAFONGOYA et al. (1998) as estratégias utilizadas para manipular a decomposição de resíduos de diferentes qualidades estariam dirigidas à regulação das taxas de liberação dos nutrientes em sincronia com a demanda das culturas, provendo um ambiente mais favorável para o desenvolvimento radicular. Isto se traduziria em maior capacidade para absorção e eficiência de uso dos nutrientes liberados.

4. Indicadores de Qualidade do Solo nos Sistemas Agroflorestais com Café

Nos SAFs com café, a influência das árvores sobre as propriedades que determinam a qualidade do solo tem sido amplamente documentada (BORNEMISZA,

1982; CUENCA et al., 1983; BEER, 1987; FERNANDEZ & MUSCHLER, 1999; SCHROTH et al., 2001).

Destaca-se nessas revisões a importância da cobertura arbórea e da atividade dos sistemas radiculares perenes sobre as adições de matéria orgânica ao solo, que por sua vez, reflete nas condições físicas e químicas favoráveis à manutenção da fertilidade, à proteção e à atividade biológica do solo. Por outro lado, MUSCHLER (1999) também menciona alguns efeitos desfavoráveis da presença de árvores, como acidificação devido à absorção de bases, acumulação de substâncias tóxicas e competição por água e nutrientes.

Segundo SCHOENHOLTZ et al. (2000) o conceito de qualidade do solo envolve a avaliação das propriedades e dos processos que nele ocorrem e que permitem que o mesmo funcione efetivamente como um componente saudável do ecossistema.

Nos SAFs com café, como em outros sistemas agrícolas ou florestais, avaliar a qualidade do solo implica monitorar ou medir sua condição atual e potencial através de indicadores. A comparação da condição real de tais indicadores entre diferentes sistemas de cultivo, numa escala temporal ou espacial, permite verificar se o solo está sendo afetado positiva ou negativamente pelas práticas de manejo (KARLEN et al., 1997; MEZQUITA et al., 2000; ARSHAD & MARTIN, 2002).

Devido à complexidade e natureza dinâmica dos processos que ocorrem no solo medir a qualidade e a sustentabilidade de um agroecossistema não é tarefa fácil pelas numerosas propriedades do solo e do estado fitossanitário da cultura que poderiam ser utilizadas como indicadores (ALTIERI, 2002). Considerando as dificuldades de integrar as diferentes propriedades do solo num único valor que expresse a sua qualidade, ALTIERI & NICHOLLS (2002) desenvolveram uma metodologia de baixo custo que permite medir a sustentabilidade em cafezais. Esta metodologia é baseada na observação de indicadores fáceis e práticos de registrar e interpretar, inclusive pelos próprios agricultores. NORTCLIFF (2002) sugere que os indicadores sejam selecionados de acordo com os objetivos do estudo e que os métodos utilizados na amostragem, pré-tratamentos e análise, sejam apropriados à avaliação.

A um nível mais detalhado, diversas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo podem ser utilizadas como indicadores do impacto causado pelas práticas de manejo. Em sistemas florestais, SCHOENHOLTZ et al. (2000) mencionam que a matéria orgânica, juntamente com indicadores microbiológicos, são chaves para avaliar a qualidade do solo devido a seu papel na ciclagem dos nutrientes e nos processos que determinam a sustentabilidade dos ecossistemas.

4.1. A matéria orgânica e as propriedades microbianas como indicadores da qualidade do solo.

Características químicas e biológicas relacionadas à matéria orgânica do solo são mencionadas como indicadores adequados para avaliar a qualidade do solo (DORAN & PARKIN, 1994; DORAN & ZEISS, 2000). A matéria orgânica é um componente altamente heterogêneo constituído por diversas frações que apresentam diferentes graus de resistência aos processos de decomposição (CAMARGO et al., 1999) e que, portanto, são alteradas diferentemente em resposta ao manejo e às variações ambientais.

Entre os constituintes da matéria orgânica, as frações leves e as frações químicas do carbono orgânico extraídas em gradientes de oxidação decrescente mostraram-se úteis como indicadores de qualidade do solo em resposta ao manejo (PEREZ MARIN, 2002). Ao contrário, as frações húmicas e o carbono total do solo são menos apropriados para serem utilizados como indicadores por sofrerem variações apenas em

longo prazo, devido à recalcitrância química de alguns compostos e de sua resistência ao ataque biológico (MELE & CARTER, 1993). Mesmo assim, a evolução do carbono para a formação das diferentes substâncias húmicas pode ser utilizada como indicadora em estudos em longo prazo, devido à importância do húmus na estabilização da matéria orgânica do solo (MASCIANDARO et al., 1998; NARDI et al., 2004).

A atividade biológica que acompanha a decomposição da matéria orgânica no solo é considerada ainda mais sensível às perturbações ambientais do que os teores de matéria orgânica do solo e suas frações (MELE & CARTER, 1993). Macro e microorganismos são sensivelmente afetados pelo manejo, refletindo-se tais efeitos em mudanças nas taxas de crescimento, estrutura das comunidades e atividades metabólicas. Portanto, os teores de carbono e nitrogênio microbiano como medida da biomassa dos organismos decompositores, torna-se uma ferramenta muito útil na avaliação da qualidade do solo em diferentes sistemas florestais e agroflorestais (MAZZARINO et al., 1993; GAMMA RODRIGUES et al., 1997; BAUHUS et al., 1998; CHANDER et al., 1998).

A biomassa microbiana é uma propriedade fundamental para o estudo da ciclagem dos nutrientes desde que sua atividade determina a intensidade do fluxo de energia e nutrientes no solo (WANG et al., 2003). Porém, a eficiência da ciclagem é afetada por fatores relacionados com a qualidade e quantidade do substrato e condições edáficas e ambientais (CATTELAN & VIDOR, 1990). Por este motivo se recomenda que a biomassa microbiana seja estudada conjuntamente com outros processos indicadores de sua atividade metabólica (GAMA-RODRIGUES & DE POLLI, 2000; BENDING et al., 2004). A avaliação da taxa de respiração, atividade respiratória específica, atividade enzimática e mineralização dos nutrientes, conjuntamente com os teores de C e N microbiano, contribuem para uma melhor compreensão dos processos envolvidos na decomposição da matéria orgânica e liberação dos nutrientes (GAMA-RODRIGUES & DE-POLLI, 2000).

A respiração microbiana é a produção e liberação de CO₂ ocorrida quando os microrganismos decompõem os substratos orgânicos para obter energia para seu crescimento e atividade. A respiração microbiana é afetada pela qualidade do substrato mais do que pela magnitude da biomassa microbiana, mas a intensidade do fluxo do carbono pode ser afetada também por outros fatores como a química da matéria orgânica, atividade dos microrganismos, grau de proteção da matriz do solo e pH, entre outros, que influenciam a mineralização dos compostos orgânicos (WANG et al., 2003).

A atividade respiratória específica, chamada também de quociente metabólico ou qCO_2 é definida como a taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana. Este parâmetro indica a eficiência em incorporar o carbono orgânico à biomassa microbiana e à intensidade da mineralização (DILLY & MUNCH, 1998). Isto significa que na medida em que a biomassa microbiana se torna mais eficiente para utilizar o carbono, menos CO₂ é perdido pela respiração e maior fração do C orgânico é incorporada ao tecido microbiano, apresentando, portanto, menor qCO_2 que uma biomassa ineficiente (GAMA RODRIGUES & DE-POLLI, 2000).

A interpretação dos valores do qCO_2 permite avaliar o estado fisiológico das comunidades microbianas do solo. Valores baixos e constantes de qCO_2 encontram-se em ecossistemas estáveis (ANDERSON, 2003). Incrementos deste parâmetro estão relacionados a situações estressantes ou condições desfavoráveis para a biota do solo, as que geralmente, alteram o metabolismo da comunidade de microrganismos, provocando aumento da respiração (BENDING et al., 2000).

Os resultados de indicadores envolvendo a atividade microbiana do solo são, às vezes, difíceis de interpretar devido às múltiplas interações entre os componentes físicos

e químicos do solo, a qualidade dos substratos de carbono disponíveis e as características da população microbiana, assim como, pelas condições ambientais e de manejo que afetam os agroecossistemas. WANG et al. (2003) mencionam que as interações da biomassa microbiana com a matriz do solo e com a qualidade do substrato determinam a taxa do fluxo de C. Estes autores não observaram um efeito inicial significativo do teor de argila sobre a taxa de produção de CO₂, a taxa de mineralização relativa do C e a atividade respiratória específica ($q\text{CO}_2$) em amostras de solo. Mas, o efeito da argila sobre a mineralização do carbono se tornou significativa, aumentando positivamente a taxa respiratória só depois de um período de incubação das amostras, conforme a atividade microbiana se aproximou a um estado de equilíbrio.

MÜLLER & HÖPER (2004), encontraram relações positivas entre biomassa microbiana e teor de argila do solo, e de igual maneira, LI et al. (2004) relataram relações positivas entre a biomassa microbiana e o teor de carbono e nitrogênio do solo.

Outro indicador útil para avaliar a atividade microbiana é a relação entre carbono da biomassa microbiana e carbono orgânico total, conhecido como quociente microbiano. Tanto a relação entre C microbiano e C total, quanto a relação N microbiano e N total, expressam índices de qualidade nutricional e disponibilidade da matéria orgânica para a biomassa microbiana (GAMMA RODRIGUES & DE-POLLI, 2000). ANDERSON (2003) menciona que o quociente microbiano deve ser utilizado juntamente com o $q\text{CO}_2$ desde que ambos constituem ferramentas potencialmente úteis para avaliar a resposta da biomassa microbiana às condições estressantes ou de adaptação a mudanças ambientais.

A atividade microbiana pode ser avaliada também quanto à presença de enzimas no solo (OADES & JENKINSON, 1979; CHANDER et al., 1998) ou analisando as comunidades microbianas (KENNEDY, 1999), desde que a preferência de diferentes grupos de organismos para os distintos tipos de resíduos encontrados no solo pode mudar a composição e estrutura de tais comunidades.

A avaliação da qualidade do solo nos SAFs tem demonstrado que a combinação de diferentes espécies arbóreas e de cultivos permite que estes sistemas sejam mais eficientes na acumulação de matéria orgânica do solo, na magnitude da biomassa microbiana e na atividade biológica do solo, do que sistemas de monocultura. CHANDER et al. (1998) observaram que a adoção de práticas agroflorestais em combinação com cultivos anuais, conduziu a um melhor estado da matéria orgânica do solo, com maiores valores de carbono orgânico, nitrogênio, biomassa microbiana, respiração e atividade enzimática do solo.

A influência de práticas agroecológicas, como a combinação de cultivos de leguminosas de verão nas entrelinhas de cafeeiros, estimulou a biomassa microbiana e a população micorrízica (COLOZZI FILHO et al., 2000). MURAGE et al. (2000) encontraram que sobre solo de similares propriedades físicas, os incrementos no carbono total do solo, na biomassa microbiana e na mineralização de N, estiveram associados ao manejo dos resíduos em parcelas de alta produtividade.

CASTILLO & JOERGENSEN (2001) encontraram que diferentes sistemas de manejo de solos influenciaram significativamente vários indicadores de atividade microbiana e fúngica. Neste estudo foram observados incrementos de 62 % na respiração do solo, 46 % no carbono da biomassa microbiana, 60 % no ergosterol, 59 % na relação C-microbiano/C total e 53% na relação C-microbiano/P, em solos manejados ecologicamente comparados com solos sob manejo convencional. Entretanto, não foram observadas diferenças no $q\text{CO}_2$ como resposta ao manejo. Estes indicadores foram também sensíveis ao tipo de solo, tendo sido observado maiores valores em solos siltosos do que em arenosos, onde existiu uma marcante tendência à perda de C do solo.

JOERGENSEN & CASTILLO (2001) encontraram valores relativamente baixos de C e P da biomassa microbiana e na relação $C_{\text{microbiano}}/C_{\text{total}}$, em solos vulcânicos com baixo teor de matéria orgânica. Por outro lado, os altos valores de $q\text{CO}_2$ encontrados indicaram baixa eficiência microbiana na transformação dos resíduos. Nesse estudo observou-se uma relação direta entre os indicadores microbianos, o teor de argila e o regime de umidade. A formação de complexos organo-minerais e a alta capacidade de fixação do P dos solos vulcânicos estudados foram dados como responsáveis pelos baixos valores dos indicadores microbianos.

A biomassa microbiana apresenta também grande flutuação sazonal como resposta às condições climáticas que afetam a decomposição dos resíduos (DIAZ RAVIÑA et al., 1994). ESPÍNDOLA et al. (2001) observaram maiores valores de biomassa microbiana durante o outono, associado com alta deposição de resíduos, e na primavera, associada a condições de temperatura e umidade do solo mais favorável que durante os meses de inverno e verão.

As mudanças sazonais na produção dos resíduos arbóreos e na magnitude da população e atividade microbiana têm importantes implicações na disponibilidade dos nutrientes liberados a partir da matéria orgânica do solo. Os SAFs que dependem exclusivamente deste ingresso para satisfazer os requerimentos nutricionais da cultura, podem ter sua produtividade afetada. Portanto, a combinação de práticas de fertilização química e orgânica, de podas da vegetação arbórea oportunamente realizadas, assim como de outras práticas de manejo agroecológico, são desejáveis para otimizar a ciclagem dos nutrientes.

4.2. A mesofauna como indicadora da qualidade do solo

A mesofauna é constituída por pequenos invertebrados do solo cujo tamanho corporal não excede 200 μm de diâmetro (SWIFT et al., 1979). Numericamente, este grupo constitui o componente mais abundante da fauna do solo na maioria dos ecossistemas. A densidade da mesofauna em áreas de pastagem pode atingir até 300.000 indivíduos m^{-2} (BARDGETT & COOK, 1998).

Além de sua abundância, a mesofauna do solo é constituída por um grupo muito diverso de espécies. Segundo BARDGETT & COOK (1998) podem-se encontrar até 108 espécies diferentes em apenas 500 g de solo. Dos grupos que integram a mesofauna, Acari e Collembola apresentam a maior abundância e geralmente encontram-se ocupando os primeiros centímetros da camada do solo e da serapilheira (BARDGETT et al., 1993).

Da mesma forma que outros grupos da fauna, a distribuição da mesofauna no solo mostra grande variação espacial e temporal (ETTEMA & WARDLE, 2002) causada por diversos fatores que afetam a condição do habitat (HARTE et al., 1996). As condições climáticas, principalmente temperatura e precipitação (GONZÁLEZ et al., 2001), tipo de solo e manejo (FROMM et al., 1993), vegetação (THOMAS & MARSHALL, 1999), distribuição e qualidade dos recursos (HENEGHAN et al., 1998), assim como, diversas intervenções humanas nos ecossistemas (KLADIVKO, 2001), são os principais fatores que afetam a distribuição, estrutura e composição das comunidades da mesofauna.

Dentro do solo, a mesofauna exerce um papel primário sobre os processos de transformação da matéria orgânica e ciclagem dos nutrientes. Juntamente com a microfauna forma parte dos decompositores (BRUSSAARD, 1998). Participa ativamente nos processos de mineralização, imobilização e disponibilidade dos nutrientes e exercendo um forte impacto sobre os fluxos de carbono e nitrogênio e na

estabilização da matéria orgânica (WOLTERS, 2000). Junto com a macrofauna, a mesofauna participa dos processos de estruturação do solo mediante a contribuição com pequenos *pellets* fecais e no controle da área superficial e distribuição das partículas do solo (LEE & FOSTER, 1991).

Ao participar dos processos de mineralização da matéria orgânica a mesofauna influencia a disponibilidade e absorção dos nutrientes pelas plantas contribuindo para o seu crescimento e produtividade (SETÄLÄ et al., 1998). Sua participação nestes processos surge das complexas interações com outros organismos integrantes da micro ou macrofauna, das comunidades microbianas e fúngicas do solo (BONKOWSKI et al., 2000), e ainda, das comunidades de plantas que por sua vez, determinam a quantidade e qualidade dos resíduos a serem transformados (KOEHLER, 2000).

As interações da mesofauna com os microrganismos do solo surgem diretamente da alimentação seletiva por fungos ou por outros microrganismos produzindo modificações na biomassa, metabolismo e estrutura das comunidades microbianas. Indiretamente, a mesofauna afeta estas comunidades ao facilitar a disseminação de propágulos e ao modificar fisicamente os resíduos orgânicos e as condições ambientais para a atividade dos microrganismos (ANDERSON, 1988).

Quando algum fator de estresse altera a comunidade da mesofauna do solo, os processos em que participa são também afetados em diferente medida. Em condições experimentais, a alteração na estrutura das comunidades da fauna e mesofauna do solo se traduz em alterações nas taxas de decomposição e nos fluxos do carbono e nitrogênio (VEDDER et al., 1996; CRAGG & BARDGETT, 2001; VETTER et al., 2004; SETÄLÄ et al., 1996 e 1998). Em condições naturais (KOEHLER, 1998) e de manejo de sistemas agrícolas (COLEMAN et al., 2002; KLADIVKO, 2001), as alterações na comunidade da mesofauna do solo ou de grupos específicos que a compõem podem fornecer informação sobre o estado de qualidade e funcionalidade do solo (BRUSSAARD, 1998).

Os SAFs, pela sua semelhança aos sistemas naturais e florestais e por apresentar uma bem desenvolvida camada orgânica, caracterizam-se por abrigar alta diversidade de espécies da fauna do solo (NEHER, 1999), podendo estas serem indicadoras dos processos que determinam a sua sustentabilidade.

Segundo VAN STRAALLEN (1998), os artrópodes do solo podem ser utilizados como indicadores seguindo diversos critérios, seja selecionando uma única espécie ou a diversidade e estrutura de toda a comunidade. Também podem ser considerados como indicadores diferentes atributos ecológicos das espécies como história de vida, hábitos de alimentação, grupos funcionais e tipos ecofisiológicos. Cada um destes critérios tem diferentes níveis de especificidade e resolução, ou seja, variam na sua sensibilidade como indicadores dos efeitos da perturbação ambiental.

Resultados da avaliação da comunidade de artrópodes como indicadores de qualidade do solo em florestas tem demonstrado maior densidade da fauna do solo em ambientes tropicais úmidos do que em florestas secas e subalpinas, demonstrando interações muito diferentes entre fauna e microrganismos em diferentes ambientes (GONZÁLEZ et al., 2001).

THOMAS & MARSHALL (1999) demonstraram que a diversidade dos artrópodes foi correlacionada positivamente com maior complexidade estrutural e diversidade da flora e concluíram que a diversidade e abundância dos insetos podem ser incrementadas ao diversificar a vegetação. No entanto, os efeitos das diferentes espécies de planta e sua estrutura sobre as condições favoráveis para os artrópodes precisam ser estudados.

Os diversos estudos desenvolvidos para avaliar a diversidade dos artrópodes do solo na cultura de café demonstram que nos sistemas de café em monocultura tal diversidade não é comparável à encontrada nos sistemas naturais de mata nativa (NUNES et al., 2004). A fauna do solo é ainda mais diversa em cafezais com múltiplas espécies arbóreas em comparação com sistemas sombreados simplificados (ARMBRECHT & PERFECTO, 2003).

GALLINA et al. (1996) também concorda que em sistemas de cultivo de café sob manejo agroflorestal a diversidade dos artrópodes está relacionada com a complexidade da vegetação. Estes autores relataram que conforme se simplifica a diversidade de plantas que compõem os sistemas de café sombreados, o microclima se modifica e os nichos ecológicos para aves, mamíferos, artrópodes, anfíbios e outros animais se reduzem.

Apesar de que as áreas de café sombreado não se comparam em biodiversidade às áreas de floresta original, estas ainda são preferíveis aos sistemas de café sem sombra para a conservação e preservação das espécies (DONALD, 2004). Exemplos da grande diversidade de artrópodes que se abrigam nos sistemas de café sombreado foram relatados por MORÓN & LÓPEZ-MENDEZ (1985), que encontraram, somente no solo, 27.000 artrópodes, correspondendo a 78 famílias de insetos, aracnídeos, miriápodes e ácaros, e por IBARRA-NUÑEZ & GARCIA-BALLINAS (1998) que reportaram ter encontrado 87 espécies de aracnídeos e maior abundância de insetos benéficos no manejo orgânico do café.

4.3. Os nematóides como indicadores da qualidade do solo

Os nematóides são um grupo de organismos muito abundante e diverso na natureza. Aproximadamente 20.000 espécies de nematóides tem sido descritas (BONGERS & FERRIS, 1999), sendo freqüente encontrar no solo vários milhões de indivíduos em um metro quadrado e até 200 espécies em um mesmo local (YEATES & BONGERS, 1999; YEATES, 2003).

Os nematóides possuem várias características que os fazem úteis indicadores ecológicos. BONGERS & FERRIS (1999) mencionam que os nematóides ocorrem em todos os ambientes que possuem fontes de carbono orgânico, em todo tipo de solo e condição climática, até nos ambientes extremamente poluídos. Isso, além de outros atributos, como possuir uma cutícula em contato com seu microambiente e sua posição em diferentes níveis da cadeia trófica, permite estabelecer uma clara relação entre a estrutura da comunidade e sua função no ecossistema.

O papel dos nematóides no solo acha-se relacionado com os processos de decomposição da matéria orgânica e ciclagem dos nutrientes, embora eles não se alimentem diretamente da matéria orgânica, mas sem de bactérias e fungos que participam deste processo (FRECKMAN & CASWELL, 1985). Alimentam-se também dos substratos produzidos durante a decomposição da matéria orgânica e de outros organismos do solo incluindo os vegetais.

Os nematóides que se alimentam de microrganismos regulam a ciclagem da biomassa microbiana e a disponibilidade dos nutrientes de forma direta mediante a excreção de subprodutos do metabolismo. Indiretamente, regulam as populações microbianas mantendo-as em fase logarítmica de crescimento (YEATES, 2003). Ao afetar o crescimento e as atividades metabólicas microbianas os nematóides alteram a estrutura das comunidades e conseqüentemente, as taxas de decomposição (NEHER, 2001).

YEATES (2003) menciona que quase 40 % da mineralização dos nutrientes é devida a nematóides e a outros organismos da fauna do solo que se alimentam de microrganismos. BEARE (1997) estimou que a contribuição dos nematóides na mineralização do nitrogênio varia entre 8 e 19 % em sistemas de manejo convencional e manejo integrado, respectivamente.

Outros grupos de nematóides estabelecem relações com fungos e plantas. Os que interagem com fungos podem reduzir o número de hifas e esporos de fungos micorrízicos reduzindo os efeitos benéficos da associação sobre o crescimento das plantas. Os que estabelecem relações parasíticas com plantas provocam diminuição na produtividade das culturas pelos danos radiculares que causam, servindo de ponto de entrada para outros organismos patogênicos (BONKOWSKI et al, 2000). Os nematóides também interagem com grupos da fauna do solo em uma grande amplitude de níveis tróficos influenciando o fluxo dos nutrientes (BAMFORTH, 1988; FRECKMAN, 1988).

O uso dos nematóides como indicadores de manejo pode ser baseada na avaliação de abundância de determinadas espécies ou gêneros, assim como na dinâmica da estrutura da população. Nos sistemas agrícolas, o monitoramento de algumas espécies ou gêneros parasíticos é realizado com o propósito de estabelecer práticas de controle e diminuir as perdas econômicas das culturas, embora este enfoque não seja aplicável ao conhecimento dos processos que ocorrem nos ecossistemas (NEHER, 2001). Já o reconhecimento dos hábitos alimentares dos nematóides, da posição que ocupam dentro das cadeias alimentares e de diferentes estratégias de vida, são aspectos cada vez mais utilizados como indicadores do estado de qualidade do solo (YEATES & BONGERS, 1999).

Com relação aos hábitos alimentares dos nematóides, YEATES et al. (1993) classificaram diversos gêneros e famílias de nematóides em oito grupos alimentares, sendo estes: algívoros, bacterívoros, fungívoros, onívoros, herbívoros, parasitas de plantas, consumidores de substratos e predadores. A análise destes grupos alimentares permite avaliar e monitorar perturbações nos ecossistemas causados pela intervenção humana. Assim, por exemplo, mudanças nas populações de bacteriófagos foram encontradas em áreas poluídas por metais pesados (BONGERS & BONGERS, 1998), pela chuva ácida (WASILEWSKA, 1998) e também nos estados sucessionais dos ecossistemas (ETTEMA & BONGERS, 1993; WASILEWSKA, 1998). Também foram observadas mudanças na estrutura da comunidade de nematóides em sistemas naturais degradados e em áreas similares submetidas a processos de reabilitação (LOPEZ-FANDO & BELLO, 1995).

FU et al. (2000) avaliaram sistemas de manejo convencional e de plantio direto, observando incrementos rápidos e abundantes de bacteriófagos depois da adição de resíduos. Já os nematóides fungívoros responderam mais lentamente à deposição dos resíduos orgânicos. A relação entre fungívoros e bacteriófagos aumentou com o tempo, principalmente no sistema convencional, indicando que a importância dos fungívoros incrementa com o progresso da decomposição, que é mais acelerado no sistema convencional.

Uma outra forma de avaliar as populações dos nematóides do solo é através da estimativa de índices ecológicos. Alguns desses índices são: os índices de diversidade de Shannon, de dominância de Simpson, de uniformidade de Pielou, aplicados sobre a abundância de espécies, gêneros, famílias ou grupos tróficos (YEATES & BONGERS, 1999). Além disso, índices específicos têm sido desenvolvido para estudar as comunidades de nematóides baseados nas estratégias de vida e habilidade para colonizar novos ambientes, entre eles o índice de Maturidade (BONGERS, 1990).

O índice de maturidade (MI) agrupa os nematóides em cinco grupos que representam diferentes estratégias de vida, dependendo de sua atuação como colonizadores ou habitantes permanentes em um ecossistema (persistentes). O índice de maturidade não inclui o grupo dos nematóides parasitas, sendo estes avaliados em outro índice designado como PPI (Plant Parasite Index). YEATES (1994), agrupou os dois índices anteriores no índice de maturidade total (TMI). Em quanto mais alto sejam estes índices, mais maduro e estável será o ecossistema (PORAZINSKA et al., 1999).

Outros índices utilizados para avaliar as comunidades de nematóides referem-se à relação entre fungívoros e bacteriófagos (FRECKMAN & ETTEMA, 1993) e à relação entre fungívoros, bacteriófagos e parasitas (WASILEWSKA, 1994), desenvolvidos para estimar processos de decomposição e produção primária.

A utilização dos diferentes índices de diversidade e maturidade tem permitido avaliar a estrutura da comunidade de nematóides em ecossistemas naturais (URZELAI et al., 2000; IMAZ et al., 2002), assim como o estado de processos do solo em resposta a fatores climáticos (McSORLEY, 1997), fatores edáficos (McSORLEY & FREDERICK, 2002) e situações de manejo agrícola (PORAZINSKA et al., 1999).

Assim como no caso dos artrópodes do solo, é de esperar que a diversidade dos nematóides seja maior em sistemas de cultivos associados do que em monoculturas, o que pode contribuir para o controle biológico de nematóides parasitas. No caso da cultura de café, ARAYA (1994), menciona que o manejo intensivo dos cafezais ao pleno sol, aumenta os problemas com nematóides fitopatogênicos e que uma maior diversidade florística seria desejável para atingir o equilíbrio entre as populações destes organismos do solo. Na presente revisão bibliográfica não se encontraram pesquisas relacionadas ao estudo das comunidades de nematóides em SAFs com café, como indicadores de qualidade do solo.

4.4. Os fungos micorrízicos arbusculares e sua importância na cultura do café

A associação entre FMAs e numerosas espécies vegetais é uma das mais importantes relações simbióticas que ocorrem na natureza. Estima-se que cerca de 250.000 espécies vegetais estabelecem esta simbiose com relativamente poucas espécies de fungos da ordem Glomales (JOHANSSON et al., 2004). Estas relações ocorrem sem nenhuma ou com muito baixa especificidade entre os simbiosistas (HODGE, 2000).

Os FMAs são simbiosistas obrigatórios incapazes de crescer na ausência de um tecido radicular metabolicamente ativo. A colonização das raízes por um FMA ocorre através de uma série de eventos morfológicamente bem definidos que se iniciam com a formação de um apressório sobre a superfície radicular e penetração de uma hifa infectiva, e culminam com a intensa proliferação de micélio no parênquima cortical e a formação de arbuscúlos dentro das células. Complexas interações celulares e moleculares conduzem ao estabelecimento de uma simbiose micorrízica funcional (GIANINAZZI-PEARSON et al., 1996).

Na associação micorrízica, a planta hospedeira cede ao fungo fontes de carbono solúvel (BAGO et al., 2000), podendo fornecer até 20 % do seu carbono fixado fotossinteticamente (JOHNSON et al., 2002). Já o fungo melhora o estado nutricional das plantas mediante processos de transferência de nutrientes que ocorrem entre as interfaces do fungo e da planta. Tem-se corroborado eficiência na absorção de nutrientes pouco móveis ou de baixa disponibilidade como fósforo, enxofre, zinco, cobre, cálcio e sódio, entre outros, por meio da associação micorrízica (SMITH et al., 1994).

O papel dos FMAs em incrementar a capacidade de absorção de nutrientes (MARSCHENER, 1998; BAGO et al, 2000), melhorar as relações hídricas das plantas (AUGÉ, 2001) e contribuir para o desenvolvimento vegetal ainda em condições adversas do ambiente (ENTRY et al., 2002), tem conduzido à utilização da associação micorrízica na reabilitação de áreas degradadas (CAPRONI, 2001), assim como para melhorar a sustentabilidade de sistemas agrícolas (JOHANSSON et al., 2004). Destaca-se também a importância das associações micorrízicas para uso em florestas (JANOS, 1988) e agroflorestas (HASELWANDTER & BOWEN, 1996) especialmente nas regiões tropicais, cujos solos são deficientes em fósforo.

As associações micorrízicas e suas interações com outros organismos do solo provocam diferentes impactos sobre os processos dos ecossistemas (RABATIN & STINNER, 1988) e sobre a composição das comunidades vegetais (FRANCIS & READ, 1994). Portanto, a avaliação das populações dos FMAs e suas funções dentro dos ecossistemas pode ser utilizada para monitorar o impacto ecológico de diferentes práticas de manejo (PEDERSEN & SYLVIA, 1996; MUNYANZIZA et al., 1997; DODD, 1999).

A ocorrência de espécies de FMAs em cafeeiros foi avaliada por LOPES et al. (1983) em cafezais do Estado de São Paulo tendo sido identificadas 22 espécies de FMAs e 20 ainda não descritas até o momento do estudo. As espécies predominantes pertenciam aos gêneros *Acaulospora* e *Glomus*, este último com 81 % de ocorrência em todos os locais avaliados. A colonização de raízes variou entre 4 e 46 % e o número de esporos coletados foi baixo, com densidades variando entre 2 a 41 esporos em 50 ml de solo.

Em outro estudo BALOTA & LOPES (1996a) encontraram seis espécies nativas associadas aos cafeeiros, com densidade de esporos entre 0,2 a 211 em 100 ml de solo. Espécies do gênero *Acaulospora* apresentaram ocorrência de 94,5 % nas amostras avaliadas. A colonização apresentou valores médios em torno de 35 %. *Gigaspora margarita*, espécie introduzida durante o transplante dos cafeeiros, interferiu na esporulação de fungos nativos, embora a ocorrência de esporos foi baixa. Foi mencionado que a introdução de espécies apresenta limitações relacionadas ao seu estabelecimento, persistência e disseminação no solo, por causa das relações de competição com fungos nativos. Entretanto, esta resposta pode variar em função das condições do meio, observando-se incremento na esporulação em decorrência da adubação com fosfato de rocha.

Também foi observada variação sazonal dos FMAs associados aos cafeeiros (BALOTA & LOPES, 1996b) com menores valores de colonização no período de setembro a janeiro e com maior densidade de esporos logo após do período de baixas temperaturas e precipitação em setembro. A densidade média de esporos foi de 406 em 100 ml de solo, sendo superiores aos relatados por LOPES et al. (1983).

Os estudos mencionados anteriormente demonstram que a esporulação de espécies de FMAs associadas aos cafeeiros é muito variável e que não necessariamente reflete o grau de colonização das raízes pelos FMAs. Segundo BALOTA & LOPES (1996b) a sazonalidade na esporulação de FMAs estaria relacionada com o período de menor disponibilidade de fontes de carbono para o fungo, que corresponderia com a frutificação do cafeeiro, quando os carboidratos são utilizados em maior intensidade pela planta.

SAGGIN JÚNIOR & SIQUEIRA (1996) mencionam que a colonização de raízes de cafeeiro no campo apresenta ampla variação, sendo influenciada pelas características do local, idade da planta e manejo da cultura sem muita influência da variedade ou fator genético da planta. Assim também, a diversidade de espécies e a

composição da comunidade de FMAs está relacionado com o número de espécies vegetais presentes no cafezal (COLOZZI FILHO & CARDOSO, 2000).

COLOZZI FILHO et al., (2000) observaram que a densidade de esporos e colonização micorrízica foram maiores em cafeeiros com leguminosas cultivadas nas entrelinhas. O maior número de esporos foi coletado na projeção da copa dos cafeeiros cultivados com mucuna cinzenta e caupí nas entrelinhas.

Em cafezais associados com leguminosas para adubação verde, COLOZZI FILHO & CARDOSO (2000) observaram que as espécies de FMAs no cafeeiro foram diferentes das 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 ervas invasoras que crescem nas entrelinhas e que, possivelmente modificam a população de FMAs.

Também foram observadas diferenças na composição e esporulação de espécies de FMAs em cafezais sob manejo agroflorestal. Em cafeeiros sombreados do estado de Rondônia observaram-se incrementos na esporulação de FMAs com a introdução de essências florestais nos cafezais. A maior densidade de esporos foi encontrada em cafeeiros sombreados com teca (*Tectona grandis*), pinho cuiabano (*Parkia* sp.) e bandarra (*Schizolobium* sp.). A menor ocorrência de esporos foi encontrada no café solteiro (CARMO et al. 2003). SCHERER et al. (2004) observaram que o manejo orgânico de cafezais solteiros estimulou maior esporulação e colonização de FMAs quando comparados a cafeeiros orgânicos arborizados e sob manejo convencional.

MUTHUKUMAR et al. (2003) mencionam que diferenças na composição de espécies, estrutura, perturbação e níveis de competição entre plantas determinam os padrões de crescimento e distribuição de raízes, que por sua vez, afetam a associação micorrízica. Estes autores encontraram alta colonização de raízes e baixo número de esporos em sistemas florestais e mencionaram que em sistemas diversificados os esporos poderiam ter pouca importância como propágulos, sendo mais importante a rede micelial e as raízes micorrizadas senescentes como médios de propagação.

Comparando a ocorrência de espécies de FMAs em diferentes ecossistemas, MACÊDO et al. (2004) encontraram na cultura de café maior densidade de esporos (137 em 100 g de solo), do que em áreas de pastagem, mata nativa e 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 esse fato à menor dominância de FMAs em sistemas que apresentam alta diversidade de organismos no solo.

CAPÍTULO I
DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM CAFÉ E
SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DO SOLO

RESUMO

Nos SAFs com café a combinação de diferentes espécies arbóreas com o café causa diversos impactos sobre o desenvolvimento e produtividade da cultura. O conhecimento da estrutura vegetativa destes sistemas pode conduzir à manipulação e ao melhor aproveitamento das interações entre espécies para incrementar a sustentabilidade dos cafezais. Neste capítulo descrevem-se diversas características de oito SAFs com café, localizados na região sudeste da Guatemala. Os sistemas avaliados foram: sobre solo franco-arenoso: café e eritrina (FrAre CE) e café e ingazeiros (FrAre CI); sobre solo franco: café e grevileas (Fr CG); sobre solo franco-argiloso: café, ingazeiros e *cuernavaca* (*Solanum banssii*) (FrArg CIC) e café, bananeiras e diversas arbóreas (FrArg CBA); sobre solo argiloso: café, ingazeiros e cobertura de *Arachis pintoii* (Arg CLAr), café e ingazeiros (Arg CI), e café, ingazeiros e bananeiras (Arg CIB). Em cada sistema foram registrados: número, espécies, altura e diâmetro à altura do peito das árvores, bem como, cultivares de café, distâncias entre árvores e cafeeiros, percentagem da cobertura arbórea sobre os cafezais, estado físico e de produtividade dos cafeeiros, incidência de pragas, doenças, e ervas invasoras. Avaliaram-se também diferentes indicadores da qualidade do solo, relacionados com a estrutura, compactação, profundidade, cor, odor e presença de matéria orgânica, umidade, susceptibilidade a erosão, estado dos resíduos orgânicos, desenvolvimento de raízes e atividade biológica. Os resultados demonstraram que os SAFs variaram em complexidade vegetativa, no estado fitossanitário da cultura e nas características da qualidade de solo. Assim, os SAFs mais simples, com uma única espécie arbórea, foram identificados sobre solo franco e franco-arenoso. Os sistemas sobre solo franco-argiloso apresentaram entre cinco a dez espécies associadas, apresentando estrutura vegetativa complexas, com doseis quase contínuos da cobertura arbórea. Os sistemas sobre solo argiloso apresentaram entre dois a sete espécies, mas sua estrutura vegetativa foi simples devido à maior uniformidade no desenvolvimento arbóreo. A diferença na composição dos SAFs pode resultar em diferentes influências da cobertura arbórea sobre os cafeeiros e sobre os processos biológicos do solo, afetando distintamente a funcionalidade dos agroecossistemas. Com exceção dos SAFs sobre solo argiloso, a avaliação do estado físico dos cafeeiros demonstrou deficiências no manejo dos cafezais, em relação com a aplicação de práticas de poda e renovação de plantas. Entretanto, a baixa incidência de pragas, doenças e ervas invasoras evidenciou a eficiência do manejo agroflorestal no controle fitossanitário da cultura. Foi observado que o manejo orgânico no sistema FrArg CIC e a manutenção da cobertura de *Arachis pintoii* no sistema Arg CLAr favoreceram melhores condições de qualidade do solo, em comparação com os demais sistemas. Em todos os sistemas, as principais limitações à qualidade do solo estiveram relacionadas com a capacidade de retenção de umidade, que afeta o desenvolvimento radicular e a atividade biológica. As deficiências no manejo dos cafezais evidenciaram a necessidade de monitorar freqüentemente as condições físicas e fitossanitárias da cultura, bem como as propriedades de solo indicadoras da sua qualidade, com o propósito de aplicar práticas corretivas que contribuam para melhorar a produtividade dos SAFs com café.

Palavras chave: espécies arbóreas, manejo dos cafezais, cobertura do solo

ABSTRACT

In coffee agroforestry systems, combination of different tree species with coffee plants cause diverse impact crop development and productivity. Knowledge of vegetative structure of these systems can drive to manipulation and take advantage of interactions between species to improve coffee crop sustainability. In this chapter, it was described several characteristics from eight coffee agroforestry systems, located in southeast region of Guatemala. Systems were: on sandy loamy soil: coffee and *Erythrina poeppigiana* (FrAre CE) and coffee and *Inga sp.* (FrAre CI); on loamy soil: coffee and *Grevillea robusta* (Fr CG); on loamy clay soil: coffee, *Inga sp.* and *Solanum banssii* (FrArg CIC) and coffee, banana and diverse trees (FrArg CBA); on clay soil: coffee, *Inga sp.* and *Arachis pintoii* as cover crop (Arg CIAra), coffee and *Inga sp.* (Arg CI) and coffee, *Inga sp.* and banana (Arg CIB). In each system, it was determined floristic composition, canopy cover on coffee plants, crop health status and soil quality indicators, regarding the importance of these aspects to posterior results interpretation on soil biological activity. Thus, number, species, height and basal height diameter of trees, coffee cultivars, distances between coffee plants and trees, canopy cover on coffee plants percentage, physical aspect and plant productivity indicators, diseases and pest incidence, weeds and soil cover were registered. Also, it was evaluated different soil quality indicators, related to structure, compaction, profundity, color, odor, organic matter, soil humidity, erosion susceptibility, organic residues status, root development and biological activity. Results indicate that agroforestry systems showed diverse vegetative complexity, different coffee plant health and soil quality characteristics. So, simplest agroforestry systems, with one tree specie, were identified on loamy and sandy loamy soils. Systems on loamy clay presented five to ten associated species, showing complex vegetative structure, with a cover tree forming a canopy continuum. System on clay soil presented two to seven species, but vegetative structure was simplest because uniformity on tree development. Differences on agroforestry composition can result on different canopy tree influences on coffee plants and on soil biological processes affecting distinctly the agroecosystem functionality. Except by agroforestry systems on clay soil, the physical evaluation of coffee plants showed deficiencies on plantation management, related to application of practices as pruning and replanting. Meanwhile, low incidence of pests, diseases and herbs evidenced efficiency of agroforestry management to maintain crop health conditions. It was observed that organic management in FrArg CIC system and cover crop *Arachis pintoii* in Arg CIAra system favored better conditions of soil quality, as compared to the others systems. In all others systems, major limitations to soil quality were related to water retention capacity that affect root development and biological activity. Deficiencies on coffee crop management evidenced necessity to monitoring plant physical and health crop conditions, as well as, soil quality indicators, with the aim to apply corrective practices to enhance coffee productivity under agroforestry management.

Key words: Tree species, coffee crop management, soil cover

1. INTRODUÇÃO

A diversidade e riqueza biológica que caracteriza os sistemas de café sombreado, assim como, o longo período de permanência da cultura sem produzir evidente depauperação do solo nas áreas de cultivo, demonstra que estes sistemas produzem menos impactos negativos do que aqueles causados pela cafeicultura intensiva (DONALD, 2004). Entretanto, os sistemas de café sombreado são muito variados e nem todos representam formas de uso sustentável da terra.

Os SAFs mais simples, formados pela associação de uma única espécie arbórea com os cafeeiros, caracterizam formas mais tecnificadas da cultura e geralmente empregam maiores quantidades de pesticidas e fertilizantes químicos que permitem elevar a quantidade e qualidade do produto obtido. Por outro lado, sistemas muito complexos, abrigando grande diversidade de flora e fauna, caracterizam-se por ter baixa produtividade, não garantindo um retorno econômico apropriado aos agricultores. Em ambos casos, a sustentabilidade da cultura é comprometida, com conseqüências variadas para a qualidade de vida dos agricultores.

A otimização do uso dos recursos nos SAFs depende em grande parte do conhecimento das diversas interações entre os componentes arbóreos, os cafeeiros e os recursos que participam na produção, especialmente solo e água (RAO et al., 1998). As interações resultam da influência de um componente do sistema sobre o desenvolvimento do outro ou do sistema completo (NAIR, 1993). Assim, as árvores exercem influências diversas sobre o desenvolvimento dos cafeeiros pela interação entre as partes aéreas e subterrâneas das espécies. Por sua vez, os cafeeiros influenciam o ambiente das árvores, originando relações de sinergismo e competição que determinam a eficiência de uso dos nutrientes e da água por ambas as espécies.

Nos SAFs com café a qualidade do solo se modifica pelas constantes deposições de resíduos arbóreos e pela contínua exploração dos cafeeiros, de modo que, do equilíbrio entre as interações dependerá o sucesso de tais sistemas.

A composição vegetativa dos SAFs faz com que eles se comportem de forma diferente que as culturas anuais e é de se esperar que, conforme a complexidade do sistema aumenta, as relações entre as espécies arbóreas e os cafeeiros se tornam também mais complexas. Portanto, o conhecimento da composição florística, da estrutura arquitetônica e do arranjo espacial entre os componentes, pode levar a uma melhor compreensão dos processos físicos, químicos e biológicos que determinam a funcionalidade do sistema e que contribuem para a sua sustentabilidade.

Assim, este capítulo contém uma descrição de diferentes sistemas de produção de café sob manejo agroflorestal, encontrados na região sudeste da Guatemala, caracterizando a sua composição florística, a cobertura arbórea e sua influência sobre a fitossanidade dos cafeeiros e sobre a qualidade do solo, em uma tentativa por identificar práticas de manejo apropriadas ao incremento da produtividade. Estas observações também serão úteis nos capítulos seguintes, para melhorar a nossa compreensão sobre a influência do manejo agroflorestal sobre as propriedades relacionadas com a matéria orgânica e a diversidade e atividade biológica, como indicadores da qualidade do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição das Áreas de Estudo

Em setembro de 2002 foram visitadas várias fazendas da região sudeste da Guatemala, onde tradicionalmente cultiva-se o café em associação com diferentes espécies arbóreas e frutíferas. Para o estudo, foram selecionadas quatro fazendas dentro das quais se identificaram oito SAFs, diferentes quanto ao manejo e às espécies arbóreas utilizadas para o sombreamento dos cafeeiros.

Os cafezais foram plantados há mais de 10 anos, representando, portanto, sistemas bem estabelecidos onde eventualmente se faz a reposição dos cafeeiros improdutivos. Os solos da região são de origem vulcânica e os locais selecionados apresentaram relevo plano a levemente inclinado apresentando baixa susceptibilidade a erosão. As características climáticas e edáficas das áreas selecionadas são descritas a seguir.

Fazenda San Agustín Las Minas:

Localizada no Município de Villa Canales, Departamento de Guatemala, distante 15 km a Sudeste da Cidade da Guatemala. Encontra-se à altitude de 1380 metros sobre o nível do mar, com temperaturas que variam entre 16 a 31 °C durante o ano, precipitação anual média de 2000 mm, distribuída principalmente entre os meses de maio a outubro. Os solos foram desenvolvidos sobre cinza vulcânica, em relevo ondulado a inclinado, apresentando boa drenagem (SIMMONS et al., 1959; SUMMER et al., 1992). O solo superficial alcança uma profundidade de 30 a 40 centímetros, com textura arenosa, pedregosidade moderada, cor marrom muito escura, estrutura granular, pH ligeiramente ácido, ao redor de 6. Neste local foram selecionados dois sistemas desenvolvidos sobre solo franco-arenoso: café e eritrinas; e café e ingazeiros.

Fazenda San Rafael Urias:

Localizada no Município de San Miguel Dueñas, Departamento de Sacatepéquez, distante a 50 km a Sudoeste da Cidade da Guatemala, a uma altitude de 1460 metros sobre o nível do mar, com temperaturas anuais entre 14 a 30 °C e precipitação anual média de 2100 mm, distribuída principalmente entre os meses de maio a novembro. Os solos são profundos, bem drenados, desenvolvidos sobre cinza vulcânica, de deposição recente, solta e de coloração escura (SIMMONS et al., 1959; SUMMER et al., 1992). O solo superficial apresenta-se com uma profundidade de 75 até 100 centímetros, de textura franca, com pH ligeiramente ácido, ao redor de 6. Neste local selecionou-se um sistema representativo da região que combina cafeeiros com grevileas.

Fazenda El Chorro:

Localizada no município de Barberena, Departamento de Santa Rosa, distante 45 km a Leste da Cidade da Guatemala, a uma altitude de 1300 metros sobre o nível do mar, com temperaturas anuais que variam entre 18 a 33 °C e precipitação media anual de 1500 mm distribuída principalmente entre os meses de maio a outubro. Os solos são de origem vulcânica, desenvolvidos sobre material pedregoso (SIMMONS et al., 1959; SUMMER et al., 1992). A textura varia de franco argilosa a argilosa, com pH neutro a ligeiramente ácido, ao redor de 6. Neste local foram selecionados dois sistemas:

cafeeiros, ingazeiros e *Solanum banssii* (localmente conhecida como *cuernavaca*), sob manejo orgânico; e cafeeiros, bananeiras e diferentes espécies arbóreas.

Fazenda Las Flores – ANACAFÉ:

Localizada no Município de Barberena, Departamento de Santa Rosa, distante 50 km a Leste da Cidade da Guatemala, a uma altitude de 1200 metros sobre o nível do mar, com temperaturas que variam entre 18 a 33 °C durante o ano, precipitação média anual de 1900 mm, distribuídas principalmente entre os meses de maio a outubro. Os solos são de origem vulcânica, desenvolvidos sobre material pedregoso, com boa drenagem e com relevos ondulados a inclinados (SIMMONS et al., 1959; SUMMER et al., 1992). O solo superficial apresenta uma profundidade de 50 centímetros ou mais, de textura argilosa a franco-argilosa, friável, coloração marrom escura, estrutura granular na parte superior e cúbica na inferior, ligeiramente ácido, com pH entre 6 a 6,5. Neste local foram selecionados três sistemas desenvolvidos sobre solo argiloso: café, ingazeiros com cobertura viva de *Arachis pintoi*; café e ingazeiros; e café, bananeiras e ingazeiros.

Os Anexos 1 e 2 mostram a localização geográfica dos locais incluídos neste estudo e as condições climáticas de precipitação e temperatura média que predominaram nos anos de 2002 e 2003, baseadas em dados coletados na Fazenda Las Flores.

2.2. Descrição dos Sistemas Agroflorestais com Café

A seguir listam-se os SAFs agrupados com base na textura do solo e nas diferentes espécies arbóreas associadas ao café, assim como, os códigos com que serão identificados no texto. Cada sistema constituiu um tratamento do estudo:

Sobre solo Franco Arenoso:

- 1) FrAre CE: Café – Eritrina
- 2) FrAre CI: Café – Ingazeiros

Sobre solo Franco

- 3) Fr CG: Café – Grevíleas

Sobre solo Franco Argiloso:

- 4) FrArg CIC: Café – Ingazeiros – Cuernavaca, com manejo orgânico
- 5) FrArg CBA: Café – Bananeiras – Diversas arbóreas

Sobre solo Argiloso:

- 6) Arg CIAra: Café – Ingazeiros e cobertura de solo com *Arachis pintoi*
- 7) Arg CI: Café – Ingazeiros
- 8) Arg CIB: Café – Ingazeiros – Bananeiras

Os sistemas localizados sobre solo franco, franco arenoso e argiloso são manejados convencionalmente, sendo este manejo caracterizado pela utilização de fertilizantes químicos em doses que variam entre 100 a 300 kg de fertilizantes por hectare. Realiza-se o controle químico de doenças e pragas e as espécies arbóreas são selecionadas e plantadas especificamente para sombrear os cafezais. Com exceção do sistema de café com grevíleas, nos outros sistemas realiza-se o manejo da cobertura arbórea mediante podas para regular o nível de sombreamento para os cafeeiros. Dentre os sistemas localizados sobre solo franco-argiloso, o sistema FrArg CBA representa a forma mais tradicional de cultivo de café, com baixo uso de fertilizantes e pesticidas e pouco manejo da cobertura arbórea. Neste sistema as espécies associadas ao café têm diversos propósitos adicionais ao sombreamento dos cafeeiros. No sistema FrArg CIC,

o manejo realizado é orgânico e a cobertura arbórea é submetida a podas anuais para regular o sombreamento.

2.3. Metodologia para a Descrição dos Sistemas Agroflorestais

Durante o período compreendido entre setembro de 2002 e julho de 2003, foram realizadas várias visitas às áreas de estudo, com o propósito de caracterizar os sistemas de produção de café através da coleta de dados em campo. Em cada sistema avaliou-se a composição florística, a cobertura arbórea sobre os cafeeiros, a fitossanidade da cultura, assim como parâmetros de campo utilizados como indicadores da qualidade do solo, descritos por ALTIERI & NICHOLLS (2002).

As observações foram realizadas sobre uma área de amostragem representativa de cada sistema medindo 12 x 50 metros (600 m²). Foram utilizadas metodologias desenvolvidas pelo *Centro Agronómico Tropical para la Investigación y Enseñanza* (CATIE, Costa Rica) e aplicadas na avaliação da sustentabilidade de cafezais na América Central. (MONTERROSO SALVATIERRA & CALDERON VEGA, 1995; HAGGAR et al., 2001; STAVAR, 2001; AGUILAR & GUHARAY, 2002; VIRGINIO FILHO & HAGGAR, 2004). As variáveis avaliadas em cada sistema são descritas a seguir:

- Número e espécies de árvores:

As árvores foram contadas e identificadas no campo pelo seu nome comum e posteriormente foram identificadas no laboratório com base em chaves taxonômicas especificamente elaboradas para identificar árvores para sombreamento em cafezais (ZAMORA & PENNINGTON, 2001; MONRO et al., 2001).

- Cultivares de café

- Distâncias entre cafeeiros

- Distâncias entre árvores

- Alturas das árvores

- Diâmetros a altura do peito (DAP) das árvores

Para a coleta das variáveis acima mencionadas utilizou-se a planilha apresentada no Anexo 3.

- Porcentagem de cobertura arbórea:

Estimou-se a projeção da copa arbórea sobre 100 pés de café, utilizando a figura e o procedimento detalhado no Anexo 4 (HAGGAR et al., 2001). Esta metodologia tem como finalidade determinar a porcentagem de cafeeiros que ficam sob a copa das árvores sendo uma forma indireta de medir o nível de sombreamento que atinge aos cafeeiros.

- Estado físico e potencial produtivo dos cafeeiros:

Em uma linha selecionada aleatoriamente avaliaram-se 25 plantas determinando-se a porcentagem de plantas normais, plantas com necessidade de poda, de recepa ou de renovação, plantas renovadas e espaços sem planta (AGUILAR & GUHARAY, 2002). Utilizou-se a planilha apresentada no Anexo 5.

- Incidência de pragas e doenças:

Em 5 linhas selecionadas aleatoriamente, avaliaram-se 10 ramos laterais de distintas plantas, registrando a incidência de pragas e doenças conforme MONTERROSO SALVATIERRA & CALDERON VEGA (1995). Os resultados foram registrados na planilha apresentada no Anexo 6

- Incidência de ervas invasoras e cobertura de solo:

O procedimento consistiu em fazer uma marca de referência no sapato. Caminhar em três linhas do cafezal e a cada 25 passos anotar o tipo de cobertura que coincide com a marca no sapato. Os resultados são expressos em porcentagem. Utilizou-se a planilha apresentada no Anexo 7 (STAVER, 2001).

- Indicadores de qualidade do solo:

A qualidade do solo foi estimada segundo a metodologia proposta por ALTIERI & NICHOLLS (2002) para avaliar a sustentabilidade dos cafezais, utilizando os mesmos indicadores de qualidade definidos por estes autores, mostrados na planilha apresentada no Anexo 8. De acordo com esta metodologia, para cada indicador avaliado foram atribuídas notas de 1 a 10 segundo o seu estado. As notas dadas a cada indicador foram dadas segundo a apreciação de três avaliadores. Para avaliar a atividade biológica fizeram-se observações da abundância de artrópodes sobre o solo e sobre a vegetação, assim como, a contagem de minhocas em amostras de solo retiradas com quadrado metálico de 25 x 25 cm, até 10 cm de profundidade, em diferentes pontos da parcela (média de quatro repetições). Quanto melhor a condição do indicador, maior foi o valor da nota dada a essa condição. Com o total das notas obtém-se um valor médio que representa o estado da qualidade do solo. As notas estimadas nesta avaliação foram plotadas em uma figura do tipo “ameba” para melhor visualização dos resultados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Composição Florística

A Tabela 1 mostra os cultivares de café e as diferentes espécies de árvores encontradas nos locais estudados, bem como o número, a altura e o diâmetro das árvores.

Os sistemas localizados nas fazendas San Augustin Las Minas sobre solo franco-arenoso e San Rafael Urias, sobre solo franco, apresentaram uma composição florística mais simples, envolvendo uma única espécie arbórea associada aos cafeeiros. Os estratos arbóreos dos sistemas FrAre CE e FrAre CI atingiram uma altura média de 6,1 e 8 metros, respectivamente, enquanto que no sistema Fr CG as grevileas atingiram 22 metros de altura, por causa da exploração comercial desta espécie. Estas diferenças de altura entre os cafeeiros e o estrato arbóreo, além da simplicidade da composição florística, podem ter conseqüências diferentes às observadas em sistemas mais complexos, relacionadas com a deposição de resíduos, a diversidade da fauna do solo e os processos de mineralização da matéria orgânica,

No sistema FrAre CE, as árvores normalmente apresentaram um caule simples que se divide, até os dois metros de altura, em três ou quatro ramos que conformam a copa. O DAP das árvores variou entre 12 a 38 cm. Os ingazeiros do sistema FrAre CI apresentaram 2 a 3 caules secundários a partir de 1 metro de altura com DAP variando entre 12 a 30 cm, apresentando copas bem estendidas formadas propositalmente por causa da maior distância entre as árvores. Já as grevileas apresentaram um único caule com DAP variando entre 16 a 44 cm. Como esta espécie apresenta a copa com menor extensão horizontal, às árvores são comumente plantadas a distâncias menores do que as observadas entre os ingazeiros.

No sistema FrArg CIC sob manejo orgânico localizado na Fazenda El Chorro houve predominância das espécies *Solanum banssii* e *Inga acrocephala*, atingindo alturas entre 3,7 e 9,0 metros. Também foram encontradas associadas ao sistema palmeiras da espécie *Elaeis guineensis*. Este sistema, apesar de não apresentar grande número de espécies associadas aos cafeeiros (5), o número total de plantas sombreadoras na parcela (42) superou ao encontrado nos outros sistemas. Neste sistema, a maior variação em alturas e nos DAPs (7 a 30 cm), indica uma estratificação quase contínua do dossel.

O sistema FrArg CBA, localizado na mesma fazenda, apresentou maior número de espécies, sendo oito arbóreas e uma arbustiva (*Ricinus comunis*), além das bananeiras. Fora da parcela de amostragem, mas também associadas ao café, encontraram-se também outras espécies como casuarina, cítricos, mamoeiros e palmeiras, que além de proporcionarem sombra aos cafeeiros, tem a finalidade de fornecer produtos alimentícios, medicinais, madeiráveis ou simplesmente, lenha.

O número de espécies sombreadoras encontradas nos sistemas localizados sobre solo argiloso, na Fazenda Las Flores, variaram de 2 a 8. O sistema Arg CI_{Ara} e ArgCIB foram os mais simples em relação ao número de espécies arbóreas (2) e ao número total de árvores (12 em cada parcela), entretanto, no sistema Arg CIB inclui as bananeiras como um componente importante. No sistema Arg CI encontrou-se maior número de espécies arbóreas (7), e uma arbustiva (*Yuca elephantipes*), apresentando também o maior número de plantas sombreadoras na parcela (19).

Tabela 1. Composição e características das espécies vegetais presentes nos SAFs com café avaliados no sudeste da Guatemala.

Sistema Agroflorestal	Cultivar de Café	Espécies sombreadoras					
		Nome científico	Altura média	DAP* médio	Indivíduos		
			m	cm	No./600 m ²		
FrAre CE	Catuaí	<i>Erythrina poeppigiana</i>	6,1	21,6	19		
FrAre CI	Catuaí	<i>Inga vera</i>	8,0	19,6	12		
Fr CG	Catuaí	<i>Grevillea robusta</i>	22,0	29,0	20		
FrArg CIC	Catuaí	<i>Solanum banssii</i>	7,3	24,9	18		
		<i>Inga acrocephala</i>	5,5	13,0	13		
		<i>Inga oerstediana</i>	3,75	7,0	8		
		<i>Elaeis guineensis</i>	6,5	11,0	2		
		<i>Inga vera</i>	9,0	30,0	1		
		FrArgCBA	Catuaí	<i>Musa sp.</i>	3,0	-	26
				<i>Ricinus communis</i>	6,2	5,1	5
<i>Perymenium grande</i>	4,6			7,0	4		
<i>Inga acrocephala</i>	7,0			16,8	3		
<i>Inga vera</i>	7,5			26,5	2		
<i>Pterocarpus hayesii</i>	5,5			9,0	2		
<i>Solanum wrightii</i>	8,0			49	1		
<i>Cordia alliodora</i>	6,0			7,0	1		
<i>Inga oerstediana</i>	3,5			4,5	1		
<i>Casearia aculeata</i>	4,0			4,0	1		
Arg CLArA	Caturra	<i>Inga vera</i>	6,3	22,8	8		
		<i>Inga laurina</i>	7,0	29,3	4		
Arg CI	Catuaí	<i>Inga vera</i>	6,5	15,8	4		
		<i>Hymenaea courbaril</i>	6,2	17,2	4		
		<i>Inga jinicuil</i>	7,0	19,6	3		
		<i>Yucca elephantipes</i>	2,5	-	3		
		<i>Inga oerstediana</i>	7,0	21,0	2		
		<i>Inga acrocephala</i>	7,5	22,5	1		
		<i>Pterocarpus hayesii</i>	3,0	13,0	1		
		<i>Solanum banssii</i>	6,0	27,0	1		
Arg CIB	Catuaí	<i>Musa sp.</i>	4,8	-	20		
	Pache	<i>Inga vera</i>	7,0	21,5	9		
		<i>Inga jinicuil</i>	6,5	22,0	3		

* DAP = diâmetro à altura do peito

Em termos gerais, as árvores apresentaram uma altura entre 6 a 7 metros de modo que os sistemas Arg CLara e Arg CI apresentaram apenas dois estratos vegetativos (cafezal e arbóreo), enquanto que no sistema Arg CIB a presença de bananeiras com alturas entre 4,5 a 5 metros cria um outro estrato vegetativo intermediário entre os cafeeiros e as árvores.

Nos três sistemas da fazenda Las Flores, as árvores raramente apresentaram DAP acima de 30 cm, o que demonstra que são árvores com desenvolvimento mediano. As espécies de *Inga* são manejadas de modo a formar dois ou três caules até aproximadamente 1,5 metros de altura com o propósito de obter copas de ampla cobertura.

Com base nos dados apresentados na Tabela 1, confirmou-se o que já havia sido mencionado por outros autores (PERFECTO et al., 1996; MOGUEL & TOLEDO, 1999; SOTO-PINTO et al., 2000), de que a complexidade na composição florística dos SAFs com café diminui-se conforme aumenta o nível tecnológico empregado. Isto porque foi encontrada uma maior diversidade vegetativa no sistema FrArg CBA com manejo tradicional e no sistema FrArg CIC com manejo orgânico e maior simplicidade nos sistemas de manejo convencional, mais tecnificado, como os situados sobre solo franco e franco-arenoso.

Cabe mencionar que muitos cafezais com manejo tradicional têm sido plantados sob floresta secundária, onde as árvores que podem ter alguma utilidade comercial ou as que o agricultor não considera adequadas para sombra são derrubadas. Na maioria dos casos o agricultor seleciona as espécies que trazem benefícios adicionais sem ter que realizar algum investimento econômico. Esta situação faz com que o espaçamento entre as árvores seja irregular, dificultando o manejo da cultura de café (HAGGAR, et al., 2001) e influenciando de maneira indireta a ocorrência de fungos fitopatogênicos nos cafeeiros onde a sombra é mal distribuída (GUHARAY et al., 2001; STAVER et al., 2001).

Por outro lado, nos sistemas convencionalmente manejados a distribuição das árvores ocorre de forma regular, já que elas são plantadas intencionalmente a distâncias apropriadas. Na maioria dos casos, realiza-se o manejo da cobertura aérea através de podas, pelo menos uma vez por ano, tendo este manejo o propósito de regular a entrada de luz para os cafeeiros e aumentar o aporte de matéria orgânica ao solo.

Com exceção das plantações associadas às grevéleas, que caracterizam uma área de produção de cafés especiais, existe uma forte tendência à utilização de espécies de ingazeiros como árvore sombreadora, pelo fato de que elas abrigam uma alta diversidade de insetos que contribuem para o controle biológico de pragas e doenças do cafeeiro (ACKERMAN et al., 1998; MUÑOZ & ALVARADO, 1997).

ROMERO-ALVARADO et al. (2002) relataram que no Sul do México, a maioria dos cafeicultores têm preferência pelo sombreamento com ingazeiros devido às características de rápido crescimento, elevado aporte de matéria orgânica e alta resistência às condições adversas de clima. Além disso, as plantas de café desenvolvidas sob sua sombra apresentam crescimento mais vigoroso, folhagem mais verde, maior floração e maior rendimento de grão em comparação com as desenvolvidas em associação com outras espécies. Estas observações foram confirmadas durante as visitas às fazendas avaliadas, onde foi evidente visualmente, o melhor desenvolvimento dos cafeeiros nas parcelas associadas aos ingazeiros.

3.2. Cobertura Arbórea

O sombreamento do cafezal é considerado como um dos fatores de maior influência sobre a produtividade, não só pelo seu papel durante a maturação do grão, fato associado com a qualidade e facilidade de colheita (MUSCHLER, 2001), como também pela sua função na cobertura do solo, fornecimento de nutrientes e controle de pragas, doenças e ervas invasoras.

O nível de sombreamento do cafezal depende da densidade e da distribuição das árvores, como também das características da projeção da copa e do espaçamento entre os cafeeiros, podendo eventualmente causar competição por luz. Portanto, na Tabela 2, são apresentados as distâncias entre as árvores e entre os cafeeiros, as densidades das plantas por área, a porcentagem de cobertura arbórea sobre os cafeeiros e a intensidade do sombreamento.

Tabela 2. Distâncias entre as árvores e entre os cafeeiros, densidade por área, porcentagem de cobertura arbórea e intensidade da sombra nos SAFs avaliados no sudeste da Guatemala.

Sistema Agroflorestal	Árvores		Cafeeiros		Cobertura Arbórea	Intensidade da sombra
	Distâncias	Densidade	Distâncias	Densidade		
	m	Árvores ha ⁻¹	m	Plantas ha ⁻¹	%	
FrAre CE	8 x 4	312	1,5 x 1,0	6.666	72	Moderada
FrAre CI	8,5 x 7	168	1,8 x 1,0	5.555	57	Moderada
Fr CG	6 x 6	278	1,6 x 1,6	3.906	65	Alta
FrArg CIC	4 x 5	500	1,5 x 1,0	6.666	73	Moderada
FrArg CBA*	5 x 5	400	2,0 x 1,0	5.000	52	Moderada
Arg CLAra	8 x 6	208	2 x 1,25	4.000	79	Moderada
Arg CI	8 x 6	208	2 x 1,25	4.000	62	Moderada
Arg CIB*	8 x 8	156	2 x 1,25	4.000	69	Moderada

* Nos sistemas com bananeiras as distâncias entre as mesmas foram de 8 m x 4 m.

Observa-se que a densidade de árvores variou de 156 árvores ha⁻¹ no sistema Arg CIB até 500 árvores ha⁻¹ no sistema FrArg CIC enquanto que a densidade dos cafeeiros variou de 3.906 plantas ha⁻¹ no sistema Fr CG até 6.666 nos sistemas FrAre CE e FrArg CIC.

As maiores coberturas arbóreas foram encontradas nos sistemas FrAre CE, FrArg CIC e Arg CLAra, (72, 73 e 79%, respectivamente). O sistema Arg CLAra caracterizou-se por apresentar árvores com boa estrutura arquitetônica de seus troncos e ramos, com a copa bem distribuída e de amplo diâmetro. Isto refletiu em uma maior cobertura arbórea sobre o cafezal, embora o nível de sombreamento tenha sido considerado moderado. Situação similar foi encontrada no sistema FrAre CI, embora este por ter sido submetido à poda dias antes da coleta dos dados e pelo maior distanciamento entre as árvores, apresentou cobertura arbórea de apenas 57 %.

Apesar da alta porcentagem de cobertura arbórea encontrada nos sistemas avaliados, pode considerar-se que a intensidade da sombra foi moderada para todos os sistemas com exceção do sistema Fr CG que apresentou sombra de maior intensidade.

Isto foi ocasionado pelo maior desenvolvimento dos cafeeiros, tendo induzido ao autosombreamento e causando estiolamento dos cafeeiros.

A densidade populacional das árvores e sua distribuição na área são fatores que influenciam a porcentagem e uniformidade da sombra sobre os cafezais. Entretanto, maior densidade de árvores não necessariamente indica maior nível de sombreamento, desde que este depende também da estrutura (forma e densidade) e diâmetro da copa. Isto foi evidente no sistema FrArg CIC, que apesar da alta densidade de árvores e cafeeiros e da alta porcentagem de plantas cobertas, os cafeeiros não apresentavam sintomas de falta de luz, como estiolamento ou alta incidência de doenças foliares. Isto indica a importância do manejo da cobertura arbórea através das podas na regulação da sombra.

O sistema FrArg CBA apresentou a menor porcentagem de cobertura arbórea, apesar de ter apresentado maior diversidade e alta densidade de árvores na área avaliada. A distribuição irregular das árvores neste sistema dificulta o processo de formação da sombra e faz com que certas áreas permaneçam completamente sob sombra enquanto que outras recebem muita radiação solar, provocando conseqüências indesejáveis para a produtividade e uniformidade na qualidade do café.

Assim, a seleção de árvores e seu manejo com o propósito de obter diâmetros, formas e densidades de copa apropriadas tornam-se tão importantes quanto à densidade das árvores para obter um sombreamento uniforme e ideal para o desenvolvimento e produtividade dos cafeeiros, assim como para o controle de pragas e doenças.

3.3. Estado Fitossanitário do Cafezal

O estado fitossanitário da cultura encontra-se relacionado com o aspecto físico que apresentam os cafeeiros, assim como, com a incidência de pragas, doenças e presença de ervas invasoras. A avaliação do estado físico dos cafeeiros está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Porcentagem de cafeeiros segundo o seu estado físico nos SAFs com café avaliados no sudeste da Guatemala.

Estado dos cafeeiros	Sistema agroflorestais							
	FrAre CE	FrAre CI	Fr CG	FrArg CIC	FrArg CBA	Arg CLArA	Arg CI	Arg CIB
	----- % -----							
1. Plantas normais	24	44	12	20	44	100	100	100
2. Precisa poda	28	8	16	8	4	0	0	0
3. Precisa recepa	12	0	28	16	12	0	0	0
4. Precisa renovação	12	4	28	28	24	0	0	0
5. Renovada ou recepada	24	36	4	12	12	0	0	0
7. Sem plantas (falhas)	0	8	12	16	4	0	0	0

Observa-se que os sistemas Arg CLArA, Arg CI e Arg CIB apresentaram cafeeiros com melhores condições físicas. Tais resultados estão relacionados à idade da lavoura (10 anos), e por serem estas parcelas, parte dos ensaios experimentais da ANACAFÉ, que mantém constantemente o manejo de podas, recepas e replantes. Não

ocorre o mesmo nas plantações comerciais, onde alguns cafeeiros podem ter até mais de 20 anos em produção, precisando de algum tipo de recepa ou renovação. Estas práticas têm sido escassamente executadas devido à crise ocasionada pelos preços baixos do café nos últimos anos.

As piores condições de manutenção do cafezal foram observadas no sistema Fr CG, no qual estimou-se que 56 % das plantas precisavam ser recepadas ou renovadas, além de existirem 12 % de falhas. O sistema FrArg CIC sob manejo orgânico também mostrou-se como um dos mais deficientes quanto ao estado físico dos cafeeiros, onde 44 % das plantas precisavam ser renovadas ou recepadas, existindo 16% de falhas ou espaços sem planta.

A avaliação de estado físico das plantas e do estado fitossanitário demonstra a importância dos cuidados que o agricultor destina aos cafeeiros e que incidem diretamente na produtividade da lavoura. A Tabela 4 mostra os resultados da avaliação do estado fitossanitário dos cafeeiros nos SAFs estudados.

Tabela 4. Porcentagem de folhas, frutos e plantas de café com pragas e doenças nos SAFs com café avaliados no sudeste da Guatemala.

Observações	Sistemas Agroflorestais							
	FrAre CE	FrAre CI	Fr CG	FrArg CIC	FrArg CBA	Arg CI ^{Ara}	Arg CI	Arg CIB
Número de Folhas totais	114	115	128	113	88	222	260	222
Ferrugem (%) (<i>Hemileia vastatrix</i>)	0	0,9	20,3	0	0	0,5	0,4	1,9
Mancha de olho pardo (%) (<i>Cercospora coffeicola</i>)	10,5	0	1,6	9,7	14,8	3,6	5,8	3,6
Antracnose (%) (<i>Colletotrichum sp.</i>)	0	0,9	0	0	2,3	0,9	0,4	1,4
Phoma (%) (<i>Phoma sp.</i>)	0	0	0	1,8	3,4	0	0	0
Bicho mineiro (%) (<i>Perileucoptera coffeela</i>)	5,3	7,8	3,1	7,1	25	2,3	8,0	6,7
Número de Frutos totais	67	86	51	138	121	395	230	481
Frutos com broca (%) (<i>Hypothenemus hampei</i>)	2,6	0	0	0	0,8	1,4	0,4	0
Frutos doentes (%)	0	0	0	0	0	3,2	4,3	0,4
Plantas com cochonilha (%)	0	0	0	0	0	0	0	0,4

Em termos gerais, observou-se um baixo nível de doenças na maioria dos sistemas, com exceção do sistema Fr CG, onde foi detectada a mais alta porcentagem de ferrugem (*Hemileia vastatrix*), chegando a atingir o nível crítico permitido (VIRGINIO FILHO & HAGGAR, 2004). O fato observado pode ser consequência do período chuvoso mais prolongado nesta área, associada à falta de manejo da sombra e de

práticas oportunas de renovação do cafezal, já que os cafeeiros apresentavam aspecto de estiolados.

Observa-se na Tabela 4 que os sistemas sobre solo argiloso na fazenda da ANACAFÉ apresentaram o maior número de folhas, assim como, o maior número de frutos presentes nos ramos avaliados, o que evidencia o bom estado físico das plantas e reflete a maior produtividade destas parcelas. Por outro lado, estes sistemas apresentaram a maior percentagem de frutos doentes, o que somada à presença da broca (*Hypothenemus hampei*) poderia afetar a produtividade e qualidade do grão, se não fosse controlada apropriadamente.

Em todas as parcelas, foi detectada a presença do bicho mineiro (*Perileucoptera coffeella*), com maior incidência de folhas minadas no sistema FrArg CBA. Com exceção deste sistema, os níveis de ataque não comprometerem a produtividade dos cafezais nos demais sistemas (VIRGINIO FILHO & HAGGAR, 2004).

Nos sistemas sobre solo franco-arenoso, franco e franco-argiloso observou-se menor carga de fruto, podendo-se inferir que a produtividade seria menor, o que obviamente está relacionado com a necessidade de aplicar as práticas de poda, recapea ou renovação de plantas, como foi confirmado pelos dados apresentados na Tabela 3.

Com relação ao estado da cobertura do solo, na Tabela 5 mostra-se os tipos de coberturas e a presença de ervas invasoras.

Tabela 5. Percentagem de cobertura do solo e incidência de ervas invasoras nos SAFs com café avaliados no sudeste da Guatemala.

Tipo de cobertura	Sistemas agroflorestais							
	FrAre CE	FrAre CI	Fr CG	FrArg CIC	FrArg CBA	Arg CIAra	Arg CI	Arg CIB
	----- % -----							
Ervas invasoras de gramíneas	7	0	0	0	0	2	7	0
Ervas invasoras de folha larga	0	0	0	0	0	1	7	0
Cobertura viva com folha larga	0	0	0	0	0	86	0	4
Cobertura viva com gramíneas	0	0	0	0	0	0	7	0
Ciperáceas	0	0	0	0	0	0	0	5
Cobertura morta de ervas invasoras	0	0	0	0	0	0	4	3
Cobertura morta de folhas de árvores	78	100	84	90	85	11	56	53
Solo descoberto	15	0	16	10	15	0	15	35
Troncos	0	0	0	0	0	0	4	0

Observa-se que, com exceção do sistema Arg CLArA que apresentou alta porcentagem de cobertura viva de *Arachis pintoi*, nos restantes sistemas predominou a cobertura morta de folhas de árvores em níveis entre 53 a 100 %. Nos sistemas com a maior cobertura morta e menor porcentagem de solo descoberto foi notável a baixa incidência de ervas invasoras. Estes resultados mostram a importância dos resíduos vegetais provenientes das árvores no controle de invasoras, com o qual se reduzem as necessidades de capina manual e, por conseguinte, os custos com mão-de-obra.

Os resultados apresentados sobre o estado fitossanitário da cultura demonstram que o manejo agroflorestal pode manter baixa a incidência de pragas, doenças e diminuir a presença de ervas invasoras no cafezal. Entretanto, impõe-se a condição de efetuar outras práticas de manejo que permitam melhorar as condições fitossanitárias dos cafeeiros, especialmente as relacionadas com a poda ou substituição de plantas velhas ou improdutivas e o manejo da cobertura arbórea.

O manejo da cobertura arbórea como uma estratégia para melhorar o estado fitossanitário dos cafeeiros implica em adaptar os níveis de sombreamento aos requerimentos fisiológicos dos cafeeiros através de podas oportunas, assim como, modificar o ambiente com o propósito de criar condições adversas à propagação dos organismos patogênicos e ervas invasoras, bem como criar condições favoráveis para o controle biológico.

3.4. Qualidade do Solo

Na Tabela 6, encontram-se as notas dadas a cada uma das propriedades do solo utilizadas como indicadoras da sua qualidade.

Tabela 6. Notas atribuídas aos indicadores de qualidade do solo nos SAFs com café avaliados no sudeste da Guatemala.

Indicadores	Sistemas Agroflorestais							
	FrAre CE	FrAre CI	Fr CG	FrArg CIC	FrArg CBA	Arg CLArA	Arg CI	Arg CIB
1. Estrutura do solo	7	6	9	10	8	7	7	8
2. Compactação e infiltração	10	10	10	10	7	9	8	8
3. Profundidade do solo	9	8	10	10	8	10	8	8
4. Resíduos orgânicos	10	8	9	10	8	10	8	9
5. Cor, odor, matéria orgânica	9	8	9	9	8	9	8	9
6. Retenção de umidade	5	5	8	7	5	8	6	6
7. Desenvolvimento de raízes	8	8	8	10	7	10	6	9
8. Cobertura do solo	10	10	10	9	7	10	7	8
9. Erosão	10	10	10	10	8	9	8	8
10 Atividade biológica (Número de minhocas m ⁻²)	5 (80)	4 (48)	4 (32)	10 (240)	8 (160)	10 (256)	7 (160)	6 (64)
Valor médio	8,4	7,7	8,7	9,5	7,4	9,2	7,3	7,9

Observa-se que os sistemas FrArg CIC e Arg CLArA apresentaram o maior valor médio de indicadores de qualidade do solo (9,5 e 9,2, respectivamente). Pela alta

quantidade de resíduos orgânicos presentes nestes dois sistemas, observou-se neles a maior atividade biológica e o maior desenvolvimento de raízes superficiais de café. As menores notas em todas as parcelas encontram-se relacionadas com a retenção de umidade do solo, devido ao regime hídrico predominante na região, que afeta de forma mais acentuada às plantações desenvolvidas sobre solos de textura grossa.

Os sistemas Arg CI e FrArg CBA apresentaram as notas mais baixas de indicadores de qualidade do solo. Nestes sistemas a menor cobertura do solo e o menor desenvolvimento radicular reduziram a nota média geral, resultado que pode ser um reflexo da maior compactação destes solos e sugere que este indicador de qualidade do solo não seja influenciado em larga escala pela maior diversidade dos SAFs, já que estes sistemas eram os mais diversos.

A presença de artrópodes sobre o solo e na cobertura aérea foi muito abundante nos sistemas FrArg CIC, FrArg CBA e Arg CI*Ara*. Os sistemas FrArg CIC e Arg CI*Ara* que também se destacaram por apresentar alto número de minhocas, o que parece estar relacionado com as práticas de manejo ecológico, aplicadas nestes dois sistemas. Os sistemas FrArg CBA e Arg CI também apresentaram alto número de minhocas, entretanto no sistema FrArg CBA observou-se uma distribuição pouco uniforme, encontrando-se o maior número de minhocas nas áreas em torno das bananeiras, possivelmente pela maior presença de resíduos e de umidade nessas áreas.

Nos sistemas FrArg CI e FrArg CG foi observada pouca presença de artrópodes e também menor quantidade de minhocas. Este resultado pode estar associado ao fato de nestes sistemas haver a combinação de apenas duas espécies, bem como, à remoção dos resíduos no sistema FrArg CG para o centro da linha de cultivo e ainda à aplicação de produtos químicos para o controle fitossanitário da cultura, em ambos sistemas.

Assim, cafezais associados a uma única espécie arbórea apresentaram menor riqueza e diversidade da fauna, enquanto que nos sistemas com maior número de espécies vegetais, foi evidente a maior diversidade de artrópodes na parte aérea dos cafeeiros. Foram reconhecidas diferentes espécies de aranhas, formigas, grilos e larvas de insetos, em maior abundância nos sistemas mais complexos do que nos mais simplificados.

Portanto, a mistura de diferentes espécies arbóreas, o incremento no número de estratos e o manejo apropriado da sombra são estratégias para incrementar o número de insetos predadores que atuam sobre insetos pragas do cafeeiro (STAVER et al., 2001; GUHARAY et al., 2001). A estrutura vegetativa complexa favorece também o controle de fungos fitopatogênicos atuando como uma barreira física que evita a propagação de esporos, diminuindo a incidência de doenças importantes do cafeeiro e, conseqüentemente, reduzindo o uso de produtos químicos (SOTO-PINTO et al., 2002).

A estimação da qualidade do solo utilizando indicadores fáceis de se registrar no campo tem como propósito avaliar as propriedades do solo ao longo do tempo, depois da aplicação de diversas práticas de cultivo ou bem, para comparar diferentes sistemas de manejo, em um dado momento (ALTIERI & NICHOLLS, 2002), permitindo aplicação de medidas corretivas no curto e médio prazo. Deve-se esclarecer que as notas dadas às características do solo através desta metodologia são expressões numéricas qualitativas, entretanto tenta-se expressar de forma comparativa entre os sistemas, o estado das condições do solo no momento da avaliação. Devido ao dinamismo dos processos que ocorrem no ecossistema, alguns indicadores podem manifestar uma condição diferente em resposta às variações ambientais durante o ano, sendo necessário levar em conta esta possível variação na interpretação dos resultados.

A avaliação da qualidade do solo, estimada através desta metodologia, é mais bem observada através de um gráfico tipo “ameba”. A Figura 1 representa a comparação

dos indicadores de qualidade do solo dos oito sistemas, agrupados com base na textura do solo, de acordo com os dados apresentados na Tabela 6.

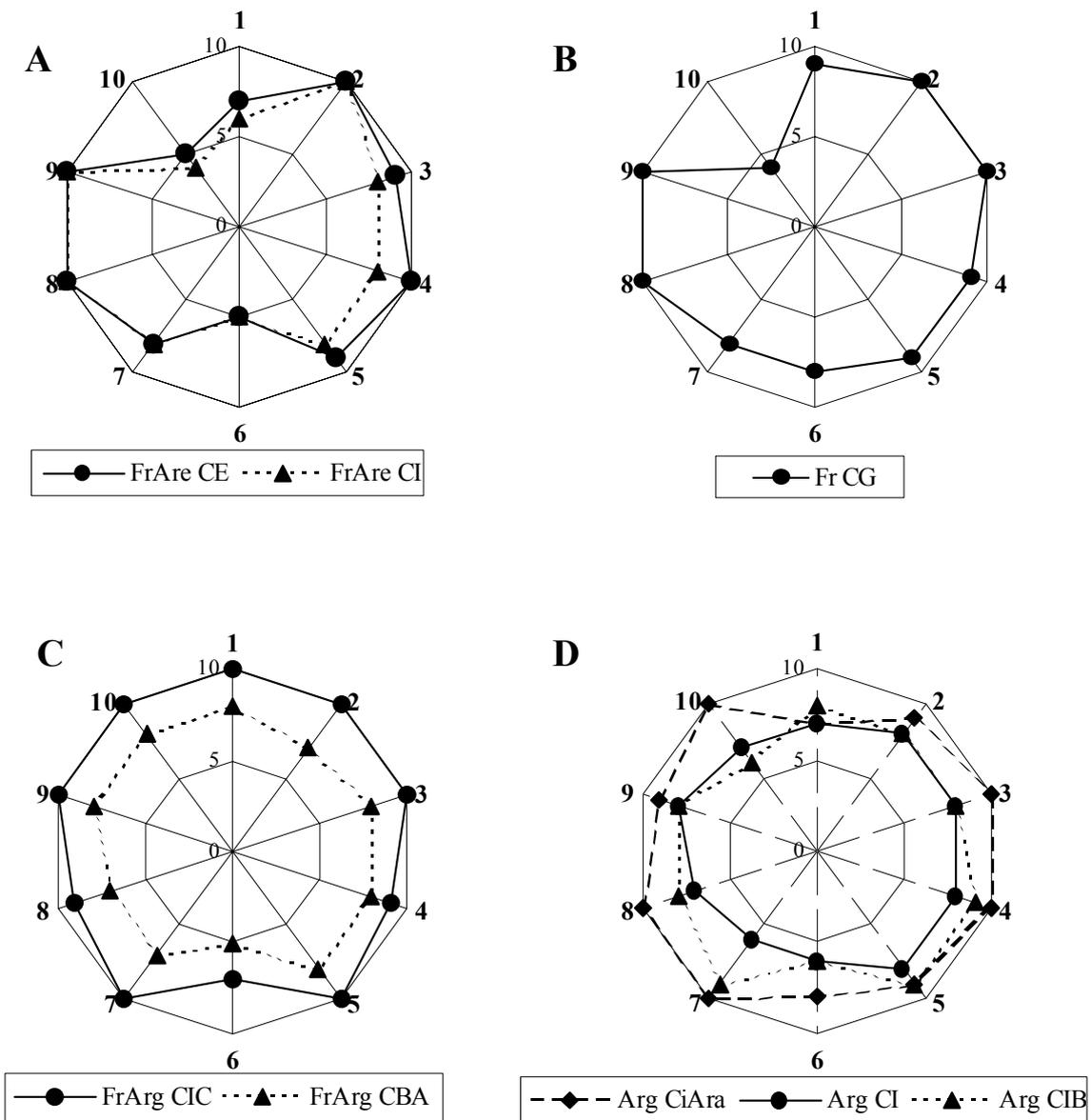


Figura 1. Comparação dos indicadores da qualidade do solo nos sistemas agroflorestais com café. A: sistemas sobre solo franco-arenoso; B: sobre solo franco; C: sobre solo franco-argiloso; D: sobre solo argiloso. Os números em negrito representam os indicadores da qualidade do solo: 1. Estrutura; 2. Infiltração e compactação; 3. Profundidade; 4. Estado dos resíduos orgânicos; 5. Cor, odor e matéria orgânica; 6. Umidade do solo; 7. Desenvolvimento das raízes; 8. Cobertura do solo; 9. Erosão; 10. Atividade biológica. Os números sem negrito representam a escala das notas dadas aos indicadores (0 a 10).

A Figura 1A mostra o estado da qualidade do solo nos sistemas desenvolvidos sobre solo franco-arenoso. Verifica-se que nestes solos é necessário melhorar características relacionadas com a estrutura do solo e retenção da umidade, o que pode contribuir para melhorar outras características relacionadas ao desenvolvimento

radicular e à atividade biológica. Como este solo apresenta baixo teor de argila, práticas como a adubação orgânica com produtos de origem animal ou oriundos da adubação verde, poderiam ajudar a melhorar a formação de agregados do solo. Além disso a adubação verde pode contribuir para diversificar a composição florística do sistema, com a conseguinte formação de nichos que podem abrigar diferentes espécies da fauna do solo, aumentando a diversidade biológica.

O sistema Fr CG (Figura 1B) desenvolvido sobre solo franco, apresentou condições de solo mais uniformes, decorrentes da sua textura, estrutura, profundidade e teor de matéria orgânica, entretanto, se observou nele pouca atividade biológica. Como já foi mencionado anteriormente, isto pode ser atribuído a várias causas, entre elas, à composição florística mais simplificada e à alta aplicação de produtos químicos para controle de doenças e pragas usadas no sistema. Outras possíveis causas poderiam estar relacionadas com a maior altura do estrato arbóreo, bem como com as características químicas dos resíduos que podem ter um efeito inibidor sobre certos organismos do solo (RAO et al., 1998). Outra possível razão seria o manejo da cobertura arbórea, já que foi observado neste sistema, que os resíduos orgânicos caídos das árvores eram continuamente removidos e acumulados em um só local, nas entrelinhas do cafezal. Estes resultados confirmam relatos sobre a baixa atividade e diversidade biológica presente nos sistemas de café sombreados com grevileas (SMBC, 2002).

Os sistemas desenvolvidos sobre solo franco argiloso, (Figura 1C) apresentam as características mais contrastantes quanto ao manejo, sendo evidente como as práticas de cultivo, influem na qualidade do solo. O sistema manejado organicamente (FrArg CIC) foi o que apresentou indicadores de qualidade do solo com valores mais próximos da nota máxima, sendo a conservação da umidade do solo a sua maior restrição nos períodos de seca. Ao contrário, o sistema FrArg CBA, mostrou um comportamento inferior à parcela anterior em todos os aspectos. No sistema FrArg CBA, devido a maior complexidade botânica esperava-se encontrar maior atividade biológica, entretanto, a desigual distribuição da cobertura arbórea foi o fator que possivelmente mais limitou o desenvolvimento dos organismos do solo.

Observa-se na Figura 1D, que dos três sistemas avaliados sobre solo argiloso, o sistema Arg CL*Ara* foi o que mais se aproximou das condições ideais de qualidade do solo. A cobertura viva contribuiu para melhorar o estado das características de solo relacionadas com a conservação da umidade, controle da erosão, desenvolvimento radicular e atividade biológica. Entretanto, foi observado neste sistema pouco manejo do *Arachis pintoi* ao redor dos cafeeiros. Isto pode acarretar conseqüências negativas para a produtividade, devido à competição da leguminosa com os cafeeiros pela absorção de água e de nutrientes do solo, especialmente nas épocas de baixa precipitação (PEREIRA, et al., 1997).

Apesar disso, desde que exista um manejo apropriado da cobertura viva, a implantação desta prática em outros sistemas localizados na mesma região, seria conveniente não só pelos benefícios observados no sistema Arg CL*Ara*, como pelos possíveis ganhos de nitrogênio proveniente da fixação biológica realizada pela leguminosa, assim como, para facilitar o controle de plantas invasoras (STAVER, 1999).

4. CONCLUSÕES

1. Os sistemas agroflorestais com café com a composição florística mais complexa, apesar de albergar maior diversidade biológica, não necessariamente apresentaram as melhores condições físicas e fitossanitárias dos cafeeiros, sendo o manejo das espécies arbóreas e dos cafeeiros um requisito indispensável para atingir melhores níveis de produtividade nestes sistemas.
2. A produtividade dos cafezais e a qualidade do solo nos SAFs avaliados poderiam ser melhoradas mediante o manejo da vegetação arbórea e dos cafeeiros, realizando oportunamente a poda das arbóreas para regular o nível de sombreamento e o fornecimento de matéria orgânica. A realização de podas, recepas e replantes dos cafeeiros é essencial para a manutenção da fitossanidade e produtividade das lavouras.
3. A seleção de espécies com características que permitam fácil manejo da cobertura arbórea e dos resíduos, assim como, a distribuição das árvores dentro do cafezal são aspectos mais importantes do que o número e diversidade de plantas por área, na procura de melhores condições ambientais para a cultura.
4. Entre as espécies arbóreas, os ingazeiros e a eritrina permitem o fácil manejo e a formação de uma boa copa para o sombreamento dos cafeeiros, além de ser fixadoras de nitrogênio produzem abundantes resíduos e parecem interagir adequadamente com o desenvolvimento dos cafeeiros. Entretanto, é desejável que para atingir a sustentabilidade da cultura sejam integradas nos SAFs outras espécies cujos produtos possam ser explorados comercialmente.
5. O uso de tecnologias agroecológicas, tais como o estabelecimento de cobertura viva com leguminosas, o manejo orgânico e a permanência da cobertura orgânica morta favorecem o controle de ervas invasoras nos SAFs e, devido a seus efeitos sobre a acumulação da matéria orgânica, contribuem para melhorar a qualidade do solo.
6. As maiores limitações à qualidade do solo avaliadas foram devidas à menor retenção de umidade e à diminuição do desenvolvimento de raízes e da atividade biológica, especialmente nos sistemas com menor cobertura do solo.
7. O monitoramento freqüente do estado físico dos cafeeiros, das condições fitossanitárias do cafezal e da qualidade do solo permitirá a aplicação de medidas corretivas a curto e médio prazo, com subseqüentes benefícios para manter ou incrementar a sustentabilidade dos sistemas de produção de café sob manejo agroflorestal.

CAPÍTULO II
MATÉRIA ORGÂNICA, BIOMASSA E ATIVIDADE
MICROBIANA DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS
COM CAFÉ

RESUMO

Nos sistemas agroflorestais, uma das várias funções dos resíduos orgânicos que se acumulam na superfície é a sua contribuição para a fertilidade química e biológica do solo. A quantidade e qualidade dos resíduos determinam, em grande parte, a magnitude das populações dos microrganismos e a sua eficiência para transformar a matéria orgânica. A avaliação de parâmetros químicos e biológicos relacionados com os processos dessa transformação permite inferir sobre a eficiência funcional dos agroecossistemas. Assim, com o objetivo de avaliar as diferentes propriedades do solo, da cobertura orgânica e da população microbiana, como indicadores de qualidade do solo nos SAFs com café, foram realizadas amostragens de solo e da cobertura orgânica do solo, em duas épocas do ano. Os SAFs estão localizados no Sudeste da Guatemala, sendo identificados, dois em solo franco-arenoso (FrAre CE e FrAre CI); um sobre solo franco (FR CG); dois sobre solo franco-argiloso (FrArg CIC e FrArg CBA); e três sobre solo argiloso (Arg CLara, Arg CI e Arg CIB). Com exceção do sistema FrArg CIC que é conduzido sob manejo orgânico, os outros sistemas são manejados com aplicação de fertilizantes químicos e pesticidas. A cobertura orgânica morta e a cobertura de *Arachis pintoï* foram avaliadas quanto a sua massa seca, teor de nutrientes e potencial disponibilidade de nutrientes nos sistemas. O solo foi analisado em suas características físicas e químicas: textura, densidade aparente, pH, C orgânico, N total, relação C:N, P assimilável, K, Ca, e Mg trocáveis, Cu, Mn, Zn, Fe, Al trocável, acidez potencial e frações húmicas. As características biológicas avaliadas foram C da biomassa microbiana, respiração do solo, e quocientes microbiano e metabólico. A quantidade dos resíduos arbóreos depositados sobre o solo foi significativamente mais alta nos SAFs sobre solo franco-arenoso (FrAre CE e FrAre CI) e apresentou flutuações sazonais, sendo maior no início da estação chuvosa. Ao contrário, a cobertura de *Arachis pintoï* apresentou o maior desenvolvimento ao final da estação chuvosa. Com exceção dos sistemas sobre solo argiloso que apresentaram baixo teor de P, os teores de nutrientes no solo apresentaram-se em níveis adequados para a cultura de café em todos os sistemas. Os teores de C e N, C da biomassa microbiana e respiração do solo foram maiores nos sistemas sobre solo argiloso e franco-argiloso e dentro destes, destacou-se o sistema com manejo orgânico (FrArg CIC) e o sistema com cobertura viva de *Arachis pintoï* (Arg CLara). Estes indicadores apresentaram menores valores nos sistemas sobre solo franco-arenoso (FrAre CE e FrAre CI). Os valores de quociente microbiano foram mais elevados no solo franco-arenoso, indicando maior disponibilidade da matéria orgânica para a atividade dos organismos do solo. O quociente metabólico (qCO_2) foi mais sensível nos solos argilosos, visto que variações significativas foram detectadas em relação à época de amostragem nestes sistemas. As quantidades de nutrientes acumulados nos resíduos orgânicos e na cobertura de *Arachis pintoï* constituem uma fonte potencial de nutrientes para manter a produção sustentável dos cafeeiros, demonstrando que o manejo agroflorestal e as práticas agroecológicas contribuem para diminuir a dependência de uso dos fertilizantes químicos. Conclui-se que dentro dos SAFs avaliados, o manejo orgânico e a manutenção da cobertura viva do *Arachis pintoï* favorece melhores condições de qualidade do solo, sendo recomendada a aplicação destas práticas em outros sistemas agroflorestais com café.

Palavras chave: substâncias húmicas, resíduos orgânicos, nutrientes do solo

ABSTRACTS

In agroforestry systems, one of many functions of organic residues stored on soil is their contribution to chemical and biological fertility. Quantity and quality of these residues determine, in huge scale, the size of microorganism's population and its efficiency to transform organic matter. Assessment of chemical and biological parameters related with processes of such transformation, permits to infer on functional efficiency of agroecosystems. Thus, in order to evaluate different soil properties, organic cover and microbial biomass and activity, as soil quality indicators, in agroforestry systems described in chapter I, soil (until 10 cm profundity) and litter sampling were carried out, in two times of year. Agroforestry systems are located in southeast region of Guatemala, and were identified, two on sandy loamy soils (FrAre CE and FrAre CI), one on loamy soil (Fr CG), two on loamy clay soils (FrArg CIC and FrArg CBA) and three on clay soils (Arg CLara, Arg CI and Arg CIB). Except for FrArg CIC system, which is conducted with organic management, all other systems are managed with chemical fertilizers and pesticides. Soil organic cover (litter and *Arachis pintoï*), were evaluated in their dry mass, nutrient content and as potential source for coffee crop. Soil was analyzed on their physical and chemical characteristics: texture, bulk density, pH, organic C, total N, C/N ratio, available P, interchangeable K, Ca and Mg, Cu, Mn, Zn, Fe, interchangeable Al, potential acidity and humic fractions. Biological characteristics: microbial biomass C, soil respiration, microbial and metabolic quotients were evaluated. Amount of tree residues deposited on in soils, was significantly higher on systems developed on sandy loamy soils (FrAre CE and FrAre CI), and showed seasonal fluctuation with larger quantities at rainy season beginning. In opposition, legume cover presented better development at the end of rainy season. Except in clay soils, which showed P deficiency, soil nutrients were in adequate level to coffee crop in all systems. Soil C and N content, microbial biomass C and soil respiration were higher in systems on clay and loamy clay soils, and within this, systems with organic management (FrArg CIC) and system with *Arachis pintoï* as cover soil (Arg CLara) were distinctive. Conversely, these indicators showed lower values on soil sandy loamy, (FrAre CE e FrAre CI). Microbial quotient was higher in sandy loamy soils, indicating higher organic matter availability for microorganism's activity. Metabolic quotient (qCO_2) resulted more sensitive in clay soils since significant variations were detected related to time of sampling in theses systems. Quantities of chemical elements accumulated in organic residues and *Arachis pintoï* as cover crop, constitute a potential source of nutrients to maintain sustainable production of coffee plants, demonstrating that agroforestry management and agro ecological practices contribute to decrease dependency on chemical fertilizers. It was concluded that, within systems evaluated, organic management and *Arachis pintoï* as cover crop favoured better soil quality conditions. It was recommended these practices to be applied in other coffee agroforestry systems

Key words: humic substances, organic residues, soil nutrients

1. INTRODUÇÃO

A matéria orgânica representa um dos recursos mais valiosos no manejo dos SAFs com café. Altas quantidades de resíduos são produzidas pelas árvores que quando introduzidas ao ciclo de nutrientes são de novo utilizadas pelos cafeeiros. Dependendo das condições ambientais e da atividade biológica do solo, esta contínua ciclagem de resíduos pode promover balanços positivos de nutrientes no solo, contribuindo para melhorar a sua fertilidade (FASSBENDER, 1993). Entretanto, esta é só uma das várias funções que os resíduos arbóreos desempenham na manutenção do equilíbrio destes sistemas. Outras funções estão relacionadas com a conservação do solo e da água (BERMUDEZ, 1980; CAMPANHA et al., 2003) e a preservação da diversidade biológica (DONALD, 2004).

Os resíduos arbóreos e exsudados radiculares constituem o substrato básico para a atuação dos organismos decompositores. A qualidade dos substratos fornecidos, assim como variações no conteúdo de umidade, temperatura, manejo do solo e interação com a fauna, influenciam os processos microbianos e determinam a eficiência do fluxo de nutrientes e energia no sistema (PARKINSON, 1988). Assim, a magnitude e a atividade da biomassa microbiana se modificam em resposta a esses fatores, constituindo-se em indicadores de mudanças provocadas pelo manejo ou por perturbações ambientais.

A atividade da biomassa microbiana se mede com base na produção de CO₂, mineralização de nutrientes e atividade enzimática. O CO₂ liberado é o produto final da decomposição da matéria orgânica, sendo denominado de respiração microbiana. Seu fluxo para a atmosfera acha-se relacionado com as necessidades energéticas e de crescimento dos microrganismos. Entretanto, o fluxo de CO₂ pode ser limitado pela qualidade do substrato mais do que pela magnitude da biomassa microbiana (WANG et al., 2003). Por isso a avaliação de diversos indicadores relacionados à atividade dos microrganismos permite uma melhor compreensão dos processos que ocorrem no solo.

O quociente metabólico, definido como a relação entre a respiração do solo e a biomassa microbiana, é frequentemente considerado um indicador de situações de estresse e indica a eficiência de utilização do carbono pelos microrganismos. Geralmente seus valores diminuem nos sistemas equilibrados e aumenta durante a adaptação a uma mudança no manejo ou perturbação do sistema, indicando maior gasto energético para a transformação dos resíduos. O quociente microbiano, definido como a relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono total do solo, aumenta seu valor conforme melhora a qualidade dos substratos, indicando melhores condições nutricionais para o desenvolvimento dos microrganismos. Ambos quocientes são úteis para avaliar se os nutrientes estão sendo imobilizados ou disponibilizados para as plantas, e se a biomassa microbiana encontra-se ativa ou não para efetuar sua função decompositora (ANDERSON, 2003).

Os estudos da biomassa microbiana e de parâmetros relacionados com sua atividade relacionam-se com a qualidade dos processos envolvidos na transformação dos resíduos, aspecto este, de grande importância para sistemas de cultivo que recebem poucos ingressos de nutrientes por meios artificiais, como geralmente ocorre nos SAFs.

Portanto, o objetivo deste Capítulo foi avaliar as características da matéria orgânica e a magnitude e a atividade da biomassa microbiana sob a hipótese de que diferentes SAFs com café promovem diferenças no estado destes indicadores de qualidade do solo, decorrente das espécies vegetais que compõem os sistemas, da textura do solo sobre o qual se desenvolvem e do manejo a que são submetidos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Áreas de Estudo

As áreas do estudo foram descritas no capítulo I. A seguir são mencionados os códigos de identificação e os correspondentes SAFs com café avaliados no sudeste da Guatemala:

Sobre solo Franco Arenoso:

- 1) FrAre CE: Café – Eritrina
- 2) FrAre CI: Café – Ingazeiros

Sobre solo Franco

- 3) Fr CG: Café – Grevíleas

Sobre solo Franco Argiloso:

- 4) FrArg CIC: Café – Ingazeiros – Cuernavaca, com manejo orgânico
- 5) FrArg CBA: Café – Bananeiras – Diversas arbóreas

Sobre solo Argiloso:

- 6) Arg CLara: Café – Ingazeiros e cobertura de solo com *Arachis pintoii*
- 7) Arg CI: Café – Ingazeiros
- 8) Arg CIB: Café – Ingazeiros – Bananeiras

2.2. Metodologia da Amostragem e Análises das Amostras

Nos períodos de outubro a novembro de 2002 e maio a junho de 2003 foram realizadas amostragens de solo e da cobertura orgânica do solo, coletadas aleatoriamente em uma área de aproximadamente dois hectares, em cada SAFs acima mencionado.

Foram coletadas oito amostras compostas de solo por sistema, cada uma formada por 10 amostras simples, tomadas em pontos selecionados ao acaso, coletadas na profundidade de 0-10 cm e a aproximadamente 30 cm de distância do caule dos cafeeiros. As amostras foram conduzidas ao laboratório de Análises de Solos e Plantas da ANACAFÉ onde uma porção de solo foi colocada sobre papel para secagem ao ar e posteriormente passada em peneira com malha de 2 mm para obtenção da terra seca fina ao ar (TFSA). Uma outra porção de solo foi processada úmida no dia seguinte após a coleta de acordo ao requerimento dos procedimentos analíticos para análises da biomassa microbiana e sua atividade respiratória.

A cobertura orgânica morta do solo (serapilheira) foi coletada em oito pontos tomados ao acaso na mesma área de dois hectares, utilizando um quadrado de 50 x 50 cm para delimitar a área. No sistema Arg CLara, coletaram-se separadamente a cobertura viva de *Arachis pintoii* e a cobertura orgânica morta, sendo todas as amostras tomadas a uma distância de aproximadamente 30 cm do caule do cafeeiro. O material foi seco em estufa a 60 °C até umidade constante, pesado, moído e submetido à análise química para quantificação dos teores de nutrientes. Os resultados de massa seca foram expressos em gramas por metro quadrado.

As seguintes características físicas e químicas do solo foram analisadas apenas nas amostras de solo coletadas de outubro a novembro de 2002, de acordo com as metodologias descritas a continuação:

- Granulometria:
Pelo método de Bouyoucos a partir de uma amostra de 50 g de solo;
- Densidade do solo:
Pelo método da Proveta;
- pH em água:
Determinado com potenciômetro na suspensão solo – água na proporção 1:2,5 após uma hora de contato;
- Fósforo disponível:
Extraído com solução de Mehlich I (HCl 0,05 M + H₂SO₄ 0,0125 M) na relação solo:solução 1:10. O fósforo extraído é determinado por espectrofotometria por médio da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibídico, produzido pela redução do molibdato com o ácido ascórbico;
- Potássio:
Extraído com solução de Mehlich I (HCl 0,05 M + H₂SO₄ 0,0125 M) na relação solo:solução 1:10 e determinado pela leitura direta no fotômetro de chama;
- Cobre, ferro, manganês e zinco:
Extraídos com solução de Mehlich I (HCl 0,05 M + H₂SO₄ 0,0125 M) na relação solo:solução 1:5 e determinados por espectrofotometria de absorção atômica;
- Cálcio, Magnésio trocáveis:
Extraído com solução de KCl 1 M na relação solo:solução 1:10. Uma alíquota de 0,1 ml do extrato é misturado com 4,9 ml de solução de lantânio (1 g L⁻¹) e determinado por espectrofotometria de absorção atômica;
- Alumínio trocável:
Extraído com solução de KCl 1 M. É determinado por titulação com NaOH 0,01 M utilizando indicador azul de bromotimol (1 g L⁻¹);
- Acidez potencial (H + Al):
Extraída na proporção 1:15 com solução de acetato de cálcio 1 M, ajustada a pH 7 e determinada por titulação com NaOH 0,01 M, utilizando indicador fenoftaleína (10 g L⁻¹);

As seguintes análises, nos solos e no material da cobertura orgânica, foram realizadas nos dois períodos de amostragem:

- Carbono orgânico:
Após a oxidação da matéria orgânica com bicromato de potássio (K₂Cr₂O₇), na presença de ácido sulfúrico, foi determinado por titulação do excesso de bicromato de potássio com sulfato ferroso amoniacal ((NH₄)₂FeSO₄).
- Nitrogênio total:
Destilação micro Kjeldahl após a digestão com H₂SO₄ concentrado e mistura catalisadora de sulfato de cobre, sulfato de sódio e selenio. O NH₃ retido em ácido bórico é determinado por volumetria com solução padronizada de HCl 0,01 M;
- Relação carbono:nitrogênio:
Obtida pela divisão entre carbono orgânico total e nitrogênio total;
- Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS):
Foi determinado na porção de solo úmido (24 horas após a amostragem do solo), utilizando-se o método da fumigação – extração (VANCE et al., 1987; DE-POLLI & GUERRA, 1997). Por este método, as amostras de solo são fumigadas com clorofórmio livre de etanol, durante 24 horas. Após este período é feita a extração do carbono com K₂SO₄ 0,5 M. Amostras de solo não fumigadas são

extraídas paralelamente com as fumigadas, e o carbono é determinado no extrato pela oxidação com bicromato de potássio em meio ácido, conforme já descrito para carbono orgânico total. A quantificação do carbono é feita após a correção gravimétrica da umidade do solo, por secagem em estufa a 105 °C durante 16 horas. A estimativa do carbono da biomassa microbiana é feita pela diferença entre os teores de carbono das amostras fumigadas e não fumigadas. Os resultados foram expressos em microgramas de carbono da biomassa microbiana por grama de solo seco ($\mu\text{g C-BMS g}^{-1}$);

- Respiração do solo:

Foi estimada pela metodologia de ANDERSON (1982) baseada na quantidade de carbono liberado na forma de CO_2 , a partir de alíquotas de 50 gramas de solo das amostras. As alíquotas de solo foram incubadas em recipientes plásticos hermeticamente fechados durante cinco dias, em ambiente escuro e temperatura controlada a 25 °C. O CO_2 foi fixado numa solução de NaOH 1 M que também foi colocada nos recipientes. Recipientes sem solo contendo apenas a solução de NaOH serviram como prova em branco. Os resultados obtidos foram expressos em microgramas de CO_2 evoluído por grama de solo seco por hora ($\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$);

- Quociente microbiano:

Obtido pela divisão entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total, sendo expresso em percentagem;

- Quociente metabólico:

O quociente metabólico representa a quantidade de CO_2 liberado por unidade de carbono da biomassa microbiana do solo por hora. Foi calculado pela divisão da respiração do solo pelo C da biomassa microbiana, sendo expresso em microgramas de CO_2 por grama de solo por hora, por miligramas de carbono da biomassa microbiana ($\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mg C-BMS}^{-1}$);

- Fracionamento da matéria orgânica:

Foi realizado nas amostras de solo coletadas na segunda época de amostragem, além das análises de carbono orgânico total, nitrogênio total, carbono da biomassa microbiana e respiração do solo, realizou-se também o fracionamento da matéria orgânica do solo para a separação das substâncias húmicas, através da técnica desenvolvida por KONONOVA & BELCHIKOVA (1961). A separação das substâncias húmicas realizou-se mediante o seguinte procedimento:

Ácidos fúlvicos livres (AFL): 10 gramas de solo foram colocadas em um tubo de centrífuga de 100 ml e misturados com 50 ml de ácido fosfórico (H_3PO_4) 2 M. A mistura foi agitada durante 30 minutos e centrifugada por 10 minutos a 3000 rpm. Filtrou-se o sobrenadante guardando-o em frasco de vidro. Repetiu-se a operação duas vezes, juntando-se os sobrenadantes. Os extratos obtidos constituem a fração AFL.

Ácidos fúlvicos, Ácidos húmicos e huminas: adicionou-se 50 ml de solução de pirofosfato de sódio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) 0,1 M e hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 M ao resíduo precipitado no tubo da centrífuga. Agitou-se por 5 minutos em agitador horizontal e depois se deixou à mistura em contato por uma noite. Após o repouso, agitou-se a mistura por mais 30 minutos em agitador horizontal e centrifugou-se a 3000 rpm por 10 minutos. Repetiu-se a operação duas vezes ou até o último extrato ficar claro, juntando-se os extratos obtidos. Este extrato contém as frações de ácidos fúlvicos + húmicos.

A seguir, o precipitado no tubo da centrífuga foi lavado três vezes com água destilada, centrifugado a 3.000 rpm por 10 minutos. O sobrenadante foi

descartado e o precipitado foi utilizado para a determinação do carbono correspondente a fração humina, recolhendo-o com o mínimo de água destilada e neutralizando-se com H₂SO₄ 1 M a pH 7.

Ácidos húmicos: Pipetou-se em tubo de centrífuga com capacidade para 100 ml, 50 ml do extrato de ácidos fúlvicos + húmicos. Adicionou-se H₂SO₄ concentrado até atingir pH 1,0. A seguir, deixou-se decantar em geladeira por uma noite e depois se centrifugou a 4500 rpm por 10 minutos. Descartou-se o sobrenadante. Lavou-se o precipitado com 10 ml de H₂SO₄ 0,05M e centrifugou-se novamente, descartando o sobrenadante. O precipitado foi então solubilizado com 50 ml de NaOH 0,1 M, constituindo este o extrato contendo a fração dos ácidos húmicos.

Ácidos fúlvicos: foram determinados pela diferença no teor de carbono no extrato de ácidos fúlvicos + húmicos e o teor de carbono do extrato dos ácidos húmicos.

Dosagem do teor de carbono nas frações húmicas: foi realizado através da oxidação do material extraído com bicromato de potássio, em presença de ácido sulfúrico. O excesso de bicromato foi quantificado com sulfato ferroso amoniacal, de forma similar ao carbono orgânico do solo.

Fração humificada: Foi obtida pela soma das frações de ácidos fúlvicos totais (livres e ligados aos ácidos húmicos), ácidos húmicos e huminas e expresso em percentagem do carbono orgânico total. As diferentes frações extraídas foram expressas em percentagem da fração humificada.

Relação Ácidos húmicos:Ácidos fúlvicos totais: foi obtida pela divisão entre as frações de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos totais.

- Análise química da cobertura do solo (teores de nutrientes):

O material moído da cobertura morta (serapilheira) e da cobertura viva (*Arachis pinto*) foram submetidas à análise química, determinando-se: nitrogênio pelo método Kjeldahl; fósforo por combustão seca, dissolução em HCL e determinação por colorimetria após a redução do complexo fosfomolibdico com ácido ascórbico; potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco, por extração nitro-perclórica e determinação por absorção atômica. Os teores de N, P, K, Ca e Mg foram expressos em g kg⁻¹ de massa seca. Os teores de Cu, Fé, Mn e Zn foram expressos em mg kg⁻¹ de massa seca da cobertura.

- Total de nutrientes contidos na massa seca das coberturas:

Foi estimado pela multiplicação dos teores de nutrientes contidos na cobertura e a quantidade da massa seca da cobertura obtida por metro quadrado. Por exemplo:

Total de N (g m⁻²) = Teor de N (g kg⁻¹) x Massa seca da cobertura (kg m⁻²);

- Análise estatística:

As variáveis avaliadas em apenas uma época de amostragem foram submetidas à análise de variância considerando os oito SAFs estudados como tratamentos com oito repetições, em delineamento inteiramente ao acaso. As variáveis avaliadas nas duas épocas de amostragem foram submetidas à análise de variância para delineamento inteiramente ao acaso em esquema fatorial, com oito repetições, considerando as oito SAFs e as duas épocas de amostragem como fatores. Nos casos de significância estatística utilizou-se o teste t de Student para separar as épocas de amostragem e o teste de Scott-Knott para separar os sistemas, utilizando o programa estatístico SISVAR versão 4.3 (FERREIRA, 2003).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Propriedades Físicas do Solo

Na Tabela 7 são apresentados os resultados médios da análise granulométrica e densidade do solo das amostras de solo provenientes dos sistemas estudados.

Tabela 7. Análise granulométrica e densidade do solo nos SAFs com café avaliados no sudeste da Guatemala.

Sistema	Areia	Silte	Argila	Densidade do Solo
	----- g kg ⁻¹ -----			kg m ⁻³
FrAre CE	611 b	205 c	184 c	1000 b
FrAre CI	724 a	124 d	152 c	1130 a
Fr CG	483 c	328 a	190 c	830 d
FrArg CIC	439 d	261 b	310 b	890 d
FrArg CBA	400 d	256 b	344 b	970 b
Arg CLAra	276 e	246 b	478 a	1240 a
Arg CI	283 e	250 b	467 a	1200 a
Arg CIB	296 e	191 c	513 a	1180 a

Medias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p = 0,05$).

Nos sistemas FrAre CE e FrAre CI, a fração granulométrica predominante foi a areia, sendo estes solos classificados como franco-arenoso. A densidade do solo nestes sistemas variou entre 1000 e 1130 kg m⁻³. A natureza franco-arenosa confere propriedades muito diferentes aos demais solos avaliados no que se refere a sua menor capacidade de retenção de água e nutrientes.

O sistema Fr CG caracterizou-se por apresentar maior teor de silte que os demais sistemas e foi classificado como de textura franca. Nos sistemas FrArg CIC e FrArg CBA, os teores de argila variaram entre 310 e 344 g kg⁻¹ e os de silte entre 256 e 261 g kg⁻¹, de modo que estes solos foram classificados como franco-argilosos. Teoricamente estes solos apresentam propriedades intermediárias no que se refere a sua capacidade de retenção de água e nutrientes em relação aos solos dos demais sistemas. A densidade do solo variou entre 830 e 970 kg m⁻³, que são valores considerados baixos, mas que podem ser explicado em função do alto teor da matéria orgânica e de sua origem vulcânica, especialmente no sistema Fr CG.

Os solos dos sistemas Arg CLAra, ArgCI e Arg CIB, apresentaram o maior teor de argila, tanto em relação aos demais sistemas, quanto em relação às outras frações granulométricas, variando entre 467 a 513 g kg⁻¹. Estes solos foram classificados como de textura argilosa, apresentando a densidade do solo mais elevada entre os sistemas estudados (1180 a 1240 kg m⁻³).

Verifica-se que os solos diferiram na textura entre as áreas selecionadas para o estudo, mas não entre sistemas localizados dentro em uma mesma área ou fazenda. Isto

permite fazer comparações importantes sobre o comportamento das variáveis biológicas, permitindo em alguns casos, comparar o efeito dos fatores de manejo e sombreamento dentro de uma mesma área de estudo.

3.2. Teor de Nutrientes e pH do Solo

A Tabela 8 apresenta os resultados médios da análise química dos solos efetuada nas oito amostras coletadas dentro de cada SAF.

Observa-se que os valores de pH variaram entre 5,4 a 6,0, sendo considerados adequados para a cultura de café os valores entre 5,5 e 6,5 (ANACAFÉ, 1998). Embora os valores de pH do solo dos sistemas Arg *CI*Ara, Arg *CI* e Arg *CIB* encontram-se no limite inferior dos valores considerados adequados para a cultura do café, o teor de alumínio não atingiu níveis tóxicos, que seria acima de $1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo (ANACAFÉ, 1998). Tampouco foram observados sintomas visíveis de toxidez por ferro ou manganês no cafeeiro que podem ocorrer quando os valores de pH do solo são baixos (ANACAFÉ, 1998).

Nos SAFs sobre solo argiloso o teor de fósforo foi baixo, o que pode estar relacionado com a textura argilosa e a natureza fixadora de fósforo, própria dos solos de origem vulcânica (SUMMER et al., 1992). Nos demais sistemas, o fósforo disponível excedeu os níveis adequados para a cultura do café, que é de $10 \mu\text{g ml}^{-1}$ (ANACAFÉ, 1998), sendo extremamente alto no sistema FrArg *CIC*, caracterizado pelo manejo orgânico da cultura.

Os resultados dos teores de nutrientes no solo são comparáveis aos obtidos por outros autores em SAFs com café, mesmo que em outros tipos de solo (ALPIZAR et al., 1985; SUMMER et al., 1992; SEVERINO & OLIVEIRA, 1999), pois a disponibilidade dos nutrientes nestes sistemas encontra-se intimamente relacionado à decomposição da matéria orgânica (FASBENDER, 1993). Isto permite considerar os SAFs, como um meio para recuperar solos que depois de vários anos de uso intensivo, apresentam algum grau de degradação e diminuição de produtividade (MENDONÇA et al., 2001).

Com exceção do fósforo nos sistemas sobre solo argiloso, pode-se afirmar em termos gerais que os sistemas avaliados apresentaram níveis de nutrientes acima dos valores considerados adequados para a cultura do café (ANACAFÉ, 1998), o que revela uma boa qualidade em relação ao seu nível de fertilidade.

Tabela 8. Características químicas de amostras de solo coletadas nos SAFs com café avaliados no sudeste da Guatemala.

Sistema agroflorestal	pH	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Alumínio	Acidez trocável (H+Al)	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
		$\mu\text{g ml}^{-1}$	----- $\text{cmol}_c/\text{dm}^{-3}$ -----					----- $\mu\text{g ml}^{-1}$ -----			
FrAre CE	5,9 a	40,2 c	0,75 a	11,18 b	2,17 d	0,08 b	0,10 b	3,50 a	59,03 a	40,93 b	13,52 b
FrAre CI	5,9 a	62,4 b	0,51 b	11,23 b	1,68 d	0,10 b	0,12 b	0,75 c	45,95 a	36,55 b	11,63 b
Fr CG	5,7 a	47,5 c	0,80 a	17,96 b	3,12 c	0,07 b	0,12 b	3,39 a	53,93 a	40,74 b	13,90 b
FrArg CIC	5,9 a	113,9 a	0,46 b	26,34 a	2,53 c	0,07 b	0,09 b	0,47 c	10,11 b	35,93 b	18,27 a
FrArg CBA	6,0 a	21,5 d	0,60 b	23,15 a	3,88 b	0,05 b	0,07 b	2,24 b	14,36 b	54,48 b	11,73 b
Arg CLAra	5,4 b	6,4 d	0,79 a	26,80 a	5,61 a	0,17 a	0,20 a	2,00 b	20,53 b	105,46 a	18,70 a
Arg CI	5,4 b	1,9 d	0,80 a	24,99 a	4,56 b	0,31 a	0,34 a	2,00 b	16,18 b	56,56 b	11,11 b
Arg CIB	5,5 b	2,8 d	0,70 a	24,06 a	4,68 b	0,22 a	0,24 a	1,83 b	24,26 b	51,39 b	11,27 b
Valores Adequados*	5,5-6,5	10	0,42	4,2	1,26	< 1	--	1 – 2,5	10 – 20	5 - 20	2 - 4

* Recomendados pela ANACAFÉ. (ANACAFÉ, 1998)

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott. ($p = 0,05$).

3.3. Massa Seca da Cobertura do Solo

Os resultados da massa seca da cobertura do solo mostraram efeitos significativos dos sistemas, épocas de amostragem e interação entre estes fatores. Os resultados mostrados na Figura 2 evidenciam o incremento da cobertura morta no segundo período de amostragem (maio a junho de 2003), após o período de estiagem que ocorreu entre uma amostragem e outra. O contrário ocorreu com a cobertura viva do sistema Arg CI*Ara*, que apresentou uma redução de 49 % da massa seca obtida na primeira amostragem, após o período de chuvas. A redução da massa seca foi devida ao menor desenvolvimento da espécie nos meses de novembro a maio, que coincidem com a época de menor precipitação.

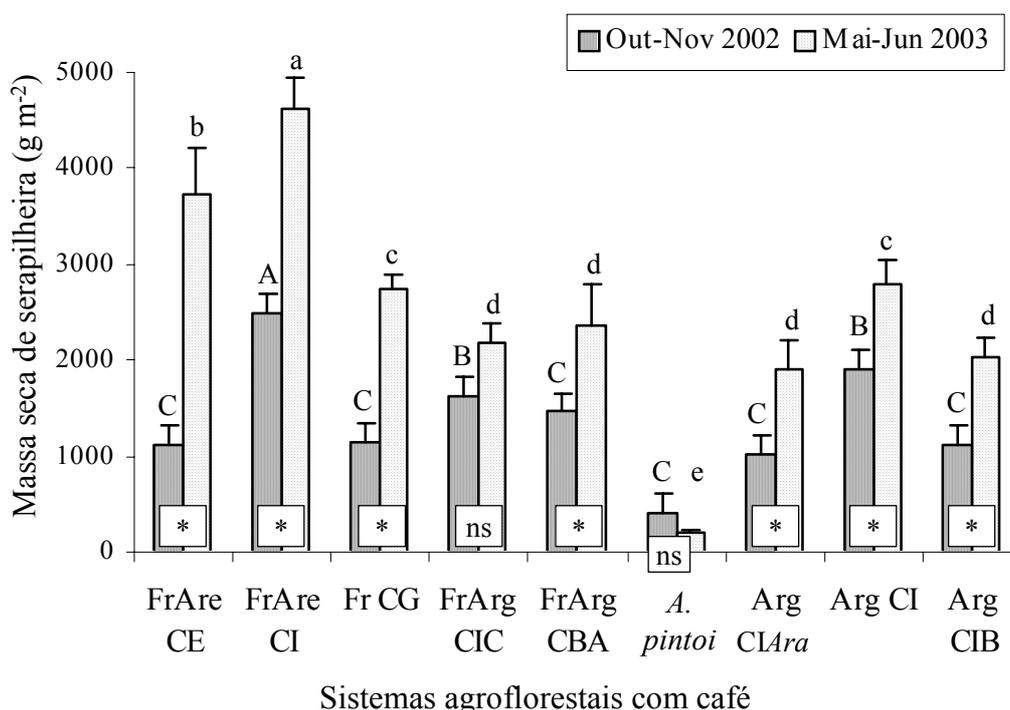


Figura 2. Massa seca da cobertura do solo coletada em amostragens realizadas no final (outubro a novembro de 2002) e início do período chuvoso (maio a junho de 2003) nos SAFs com café. Letras iguais entre barras da mesma época de amostragem indicam igualdade pelo teste de Scott-Knott ($p = 0,05$). *, ns: indicam diferenças significativas ou não, respectivamente, entre épocas de amostragem pelo teste t de Student ($p = 0,05$). As linhas verticais acima das barras indicam o erro padrão da média. *A. pintoi* indica a massa seca desta cobertura viva no sistema Arg CI*Ara*.

A massa seca da cobertura morta coletada na primeira amostragem (outubro a novembro, 2002) foi superior no sistema FrAre CI devido ao maior desenvolvimento das copas das árvores (Capítulo 1, página 26), e conseqüentemente maior deposição de resíduos. Os sistemas FrArg CIC e Arg CI apresentaram cobertura morta inferior ao do sistema FrAre CI, mas superiores aos demais, e apresentaram também uniformidade da cobertura arbórea.

Na segunda amostragem incrementou-se significativamente a deposição dos resíduos. O sistema FrAre CI apresentou maior massa seca da cobertura morta, seguido

pelo sistema FrAre CE. Isto se deve ao fato de que nestes dois sistemas houve poda das árvores durante a época seca, aumentando conseqüentemente a cobertura morta do solo. Entre os demais sistemas houve pouca diferença, embora os sistemas Fr CG e Arg CI tenham sido superiores aos demais.

Em geral, houve um incremento médio de 46,8 % em relação à primeira amostragem nos diversos sistemas. Este incremento de material da cobertura do solo foi resultante da perda natural de folhagem das árvores durante a estação seca, assim como devido às podas realizadas nos sistemas sobre solo franco-arenoso e franco-argiloso, com o propósito de regular a intensidade de luz para os cafeeiros, devolver nutrientes ao sistema e favorecer a conservação da umidade durante a estação seca do ano.

Os resultados da cobertura do solo apresentados podem ser utilizados para inferir sobre a quantidade total de material orgânico depositado sobre o solo, embora deva ser considerado que a cobertura de solo não é homogênea e, que tanto árvores quanto cafeeiros, ocupam um espaço que não está sendo coberto por esta matéria orgânica. Mesmo assim, os resultados encontrados demonstram que a contribuição das árvores como fonte de matéria orgânica para o solo pode ser muito alta, atingindo mais de 27,9 Mg ha⁻¹ de serapilheira (média da segunda amostragem), confirmando os resultados encontrados por outros autores em SAFs com café (NAIR et al., 1999).

3.4. Carbono Orgânico do Solo

Os teores de carbono orgânico do solo encontrados nos SAFs com café nas duas amostragens se mostram na Figura 3.

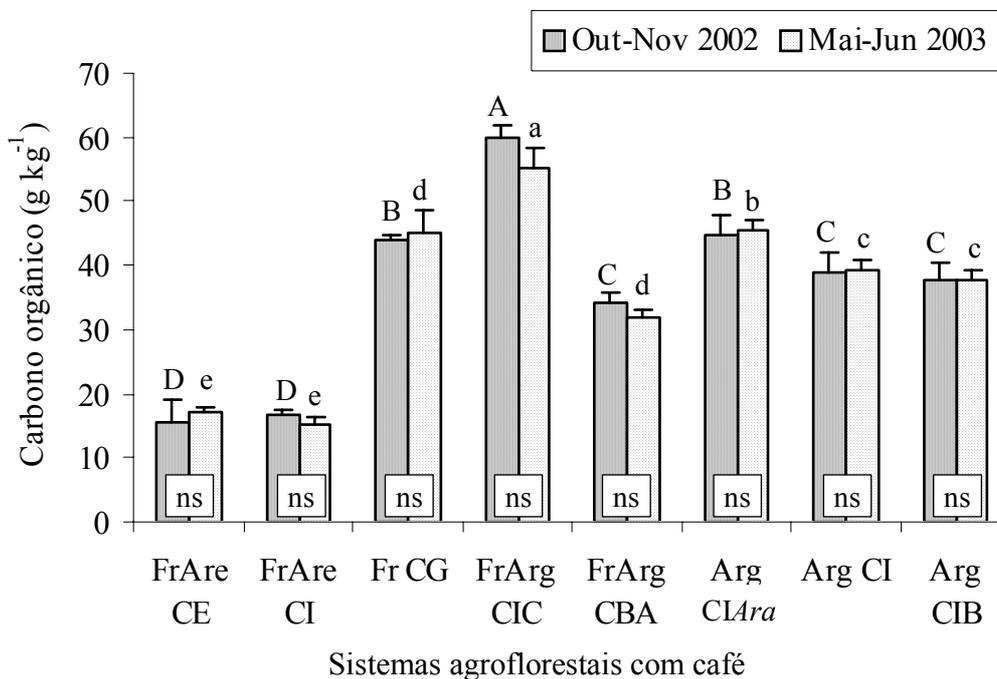


Figura 3. Teor de carbono orgânico do solo em amostragens realizadas no final (outubro a novembro de 2002) e início do período chuvoso (maio a junho, 2003) nos SAFs com café. Letras iguais entre barras da mesma época de amostragem indicam igualdade pelo teste de Scott-Knott ($p = 0,05$). *; ns: indicam diferenças significativas ou não, respectivamente, entre épocas de amostragem pelo teste t de Student ($p = 0,05$). As linhas verticais acima das barras indicam o erro padrão da média.

Foram verificadas diferenças significativas entre os sistemas, mas não entre as épocas de amostragem. Os teores de carbono orgânico variaram entre 15,2 a 59,9 g kg⁻¹ correspondendo o valor mais alto ao solo do sistema FrArg CIC, na primeira amostragem, e o mais baixo, ao sistema FrAre CI, na segunda amostragem.

Os maiores teores de carbono orgânico do solo apresentados pelo sistema FrArg CIC foram seguidos, em segundo lugar, pelos teores encontrados nos sistemas Fr CG e Arg CLara. Os sistemas sobre solo arenoso (FrAre CE e FrAre CI) apresentaram os menores teores de carbono em relação aos demais sistemas.

Verificou-se também que os sistemas desenvolvidos sobre solo argiloso (Arg CLara, Arg CI e Arg CIB) apresentaram teores de carbono do solo semelhantes, ainda que maiores no sistema Arg CLara, possivelmente devido à presença da cobertura viva de *Arachis pintoi*, que sem dúvida, adiciona matéria orgânica de tecidos senescentes e favorece a conservação dos resíduos depositados pelas árvores.

Os sistemas sobre solo franco-argiloso (FrArg CIC e FrArg CBA), apresentaram diferenças muito pronunciadas no teor de carbono orgânico. Os altos valores de carbono orgânico encontrados no solo do sistema FrArg CIC estão associados com o manejo orgânico e com o alto número de árvores em diferentes estádios de crescimento, bem como, com uma melhor distribuição espacial das árvores neste sistema (Capítulo I, página 26). Isto permite uma constante deposição de grande quantidade de matéria orgânica ao solo, o que favorece os processos de ciclagem e contribui para o aumento da fertilidade do solo. A deposição constante de biomassa vegetal, tanto das partes aéreas da vegetação, quanto das raízes representam, no decorrer do tempo, um grande ingresso de carbono orgânico ao solo (OELBERMANN et al., 2004a).

Por outro lado, os menores teores de carbono orgânico encontrados nos solos dos sistemas FrAre CE e FrAre CI devem ser atribuídos mais à textura arenosa do que à baixa incorporação de material orgânico, já que nestes sistemas também ocorre a incorporação de grandes quantidades de resíduos, especialmente depois do período seco, como mostra a Figura 2.

Desta forma, o menor teor de carbono orgânico no solo desses sistemas não necessariamente significa deterioro de suas condições de fertilidade e produtividade. Nos solos mais arejados e lixiviados, o teor de matéria orgânica não depende tanto da quantidade de resíduos adicionados, mas principalmente dos fatores que afetam a decomposição e as perdas da matéria orgânica. Assim, solos com baixa capacidade de retenção de matéria orgânica necessitam de deposições constantes de resíduos, o que pode ser conseguido mediante a poda da vegetação arbórea. Esta poda, realizada uma ou duas vezes no ano, juntamente com a contribuição das folhas caídas naturalmente, tem permitido manter a produtividade do cafezal durante vários anos nos sistemas sobre solo franco-arenoso estudados.

Embora o teor do carbono orgânico do solo esteja relacionado com a quantidade de resíduos depositados e com a capacidade de retenção dos solos, também é importante ressaltar o papel do manejo dos resíduos sobre o teor de matéria orgânica e de outros indicadores de qualidade do solo. MURAGE et al. (2000), em solos com propriedades físicas similares, observaram que aqueles com manutenção dos resíduos orgânicos apresentaram maior nível de produtividade e maiores teores de carbono, biomassa microbiana e atividade respiratória, em comparação com aqueles em que os resíduos são removidos do campo depois da colheita. Assim, em decorrência de tais diferenças, os autores sinalaram que o manejo dos resíduos e não as propriedades inerentes do solo exercem um maior efeito sobre as diferenças químicas e biológicas que determinam a qualidade do solo.

Desta maneira, o alto teor de carbono orgânico encontrado nos solos dos SAFs é resultado tanto dos processos de deposição de resíduos orgânicos, como de fatores ou propriedades do solo que influenciam a taxa de decomposição e mineralização dos resíduos, que depende principalmente, do manejo aplicado ao sistema.

Resultados que demonstram os efeitos do manejo do café sobre o teor de carbono do solo foram relatados por PEREZ MARIN (2002), que encontrou incrementos de até 32 % no teor de carbono do solo em SAF em relação ao sistema de monocultura. O autor também encontrou diferenças na distribuição espacial do carbono, encontrando maiores teores nas linhas do café do que nas entrelinhas, sendo que estes teores diminuíram conforme se incrementou a profundidade de amostragem.

Em outro estudo, MENDONÇA et al. (2001) também relataram valores altos de carbono em solos cultivados com café sob manejo agroflorestal ainda que não se observaram diferenças significativas em comparação com sistemas de monocultura. Estes autores atribuíram as pequenas diferenças ao pouco tempo de estabelecimento dos sistemas, mencionando que mudanças no teor de carbono orgânico do solo só são evidentes depois de vários anos de implantação de práticas agroflorestais.

Em ambas amostragens, com exceção dos sistemas sobre solo franco arenoso, os teores de carbono orgânico do solo foram muito similares aos encontrados em diferentes tipos de solo cultivados com cafeeiros sob sistema agroflorestal (FREITAS & MENDONÇA, 2000; PEREZ MARIN, 2002), superando os teores de carbono orgânico freqüentemente encontrados em solos submetidos à agricultura intensiva, incluindo sistemas de café em monocultura (MARCHIORI JÚNIOR & DE MELO, 2000; PEREZ MARIN, 2002). Estes resultados também foram comparáveis aos encontrados em florestas nativas (KNOEPP et al., 2000; LEITE et al., 2003), confirmando que os SAFs podem ser mais eficientes no acúmulo de carbono que os sistemas de monoculturas e pastagens (SCHROTH et al., 2001; SHARROW & ISMAIL, 2004).

3.5. Nitrogênio do Solo

Os teores de nitrogênio do solo os sistemas avaliados expressaram o efeito das épocas de amostragem e dos sistemas, assim como, da interação entre estes fatores. Os teores de nitrogênio do solo variaram de 1,39 a 4,31 g kg⁻¹. O menor valor foi verificado no sistema FrAre CI, na segunda amostragem, e o maior valor no sistema FrArg CIC, na primeira amostragem, refletindo a mesma tendência observada com o carbono orgânico do solo e confirmando que os teores de nitrogênio também são muito dependentes da quantidade de matéria orgânica depositada, da taxa de decomposição e do manejo dado ao sistema.

Como se observa na Figura 4, foram detectadas algumas diferenças no teor de nitrogênio entre a primeira e segunda amostragem de solo, registrando-se reduções nos teores deste nutriente nos sistemas sobre solo argiloso, as quais foram estatisticamente significativas nos sistemas Arg CLara e Arg CIB.

Com exceção do sistema Fr CG, nos demais sistemas os cafeeiros achavam-se associados com espécies fixadoras de nitrogênio, as quais contribuem com quantidades importantes deste elemento (KASS et al., 1997), embora muito variáveis, dependendo das espécies e das condições de solo e de manejo (VAN KESSEL & ROSKOSKI, 1981). As quantidades de nitrogênio que entram no sistema via da fixação biológica, que em alguns casos atinge até 60 kg por ha⁻¹ (BEER, 1988), junto com a grande quantidade de biomassa acumulada sobre o solo, constituem uma importante fonte do elemento para suprir uma parte dos requerimentos nutricionais dos cafeeiros, contribuindo para uma produção economicamente viável.

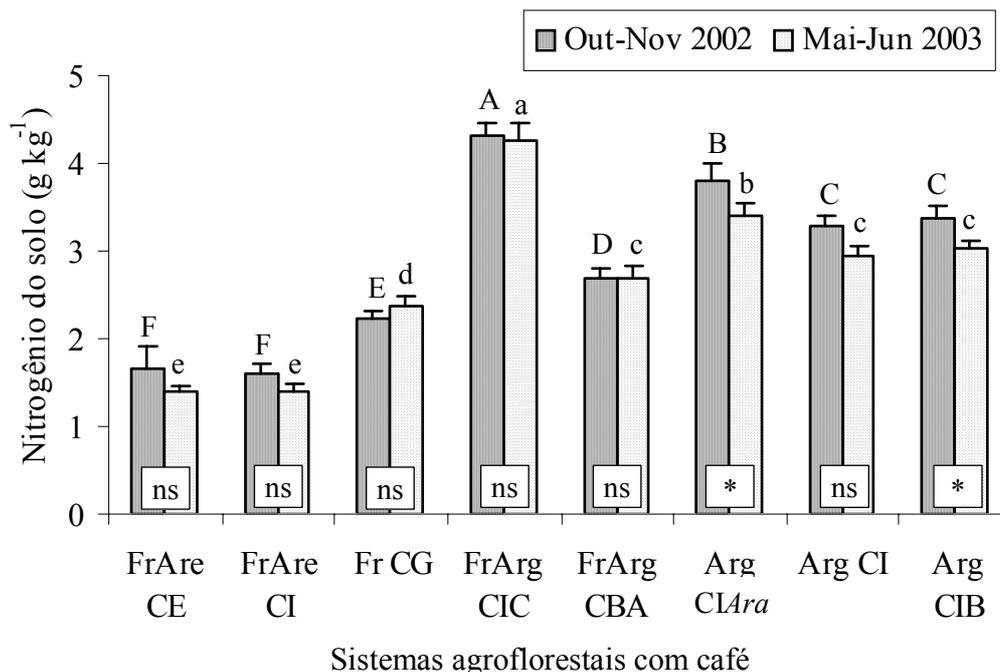


Figura 4. Teor de nitrogênio do solo em amostragens realizadas no final (outubro a novembro de 2002) e início do período chuvoso (maio a junho, 2003) nos SAFs com café. Letras iguais entre barras da mesma época de amostragem indicam igualdade pelo teste de Scott-Knott ($p = 0,05$). *; ns: indicam diferenças significativas ou não, respectivamente, entre épocas de amostragem pelo teste t de Student ($p = 0,05$). As linhas verticais acima das barras indicam o erro padrão da média.

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

BABBAR & ZAK (1994), reportaram que a disponibilidade de nitrogênio nos cafezais da Costa Rica é mais alta durante os meses de maior precipitação pluvial (agosto a novembro), quando ocorrem as maiores taxas de mineralização da matéria orgânica. Esta condição climática é muito semelhante à que ocorre na Guatemala (ver Anexo 2). Por esta razão, não se descarta a hipótese de existir um comportamento semelhante quanto à disponibilidade de nitrogênio nos SAFs avaliados, como foi observado por esses autores.

Os resultados de nitrogênio do solo encontrados nos SAFs estudados foram maiores que os citados por SEVERINO & OLIVEIRA (1999), em cafezais sombreados com ingazeiros no Ceará. Entretanto, o sistema FrAre CE apresentou valores mais baixos que os encontrados por ALPIZAR et al. (1985), em cafezais sombreados com *Erythrina poeppigiana*, na Costa Rica.

Isto indica que as contribuições de nitrogênio, tanto pela deposição da biomassa arbórea ou como produto da fixação biológica, nem sempre refletem altos níveis deste nutriente no solo, pelo fato de que outras propriedades intrínsecas do solo, como textura

e tamanho dos agregados, podem afetar a fertilidade, como se verifica nos sistemas FrAre CE e FrAre CI. MENDONÇA et al. (2001) encontraram maior concentração de nitrogênio nos agregados de solo menores de 0,25 mm demonstrando os efeitos da agregação sobre a retenção deste nutriente no solo.

Além destas observações que refletem o efeito das propriedades dos solos sobre o teor de nitrogênio, BABBAR & ZAK (1994), encontraram que a disponibilidade deste nutriente em sistemas de café sombreado foi superior ao encontrado em café a pleno sol por duas razões: a primeira porque os sistemas sombreados apresentaram maiores taxas de mineralização da matéria orgânica e menores perdas de nitratos por lixiviação, e a segunda pelo fato das raízes das árvores capturar parte do nitrato lixiviado.

BABBAR & ZAK (1994) e MENDONÇA et al. (2001), afirmam que os SAFs apresentam uma maior eficiência de uso dos fertilizantes aplicados e do nitrogênio mineralizado a partir da matéria orgânica, concluindo que o ciclo de nitrogênio nas plantações agroflorestais é muito mais conservador do que em monoculturas de café.

3.6. Relação Carbono:Nitrogênio

A relação carbono:nitrogênio do solo está apresentada na Figura 5. Seus valores variaram entre 8,6 no sistema FrAre CE na primeira amostragem, e 19,2 no sistema Fr CG na segunda amostragem. Em ambas amostragens os maiores valores foram encontrados no sistema Fr CG, sendo este estatisticamente superior aos demais sistemas.

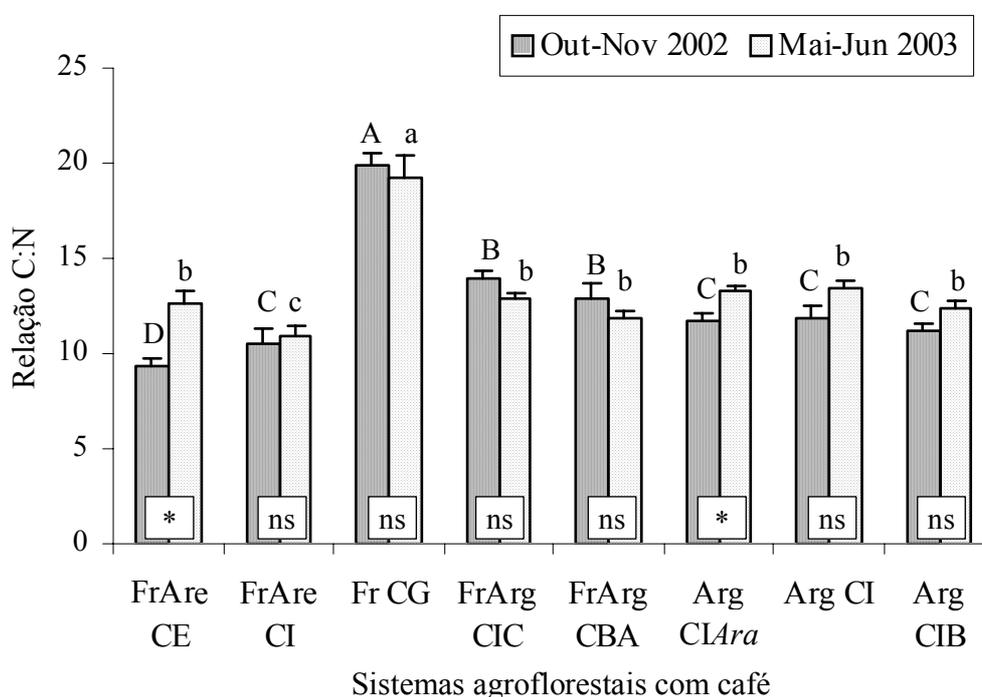


Figura 5. Relação C:N do solo em amostragens realizadas no final (outubro a novembro de 2002) e início do período chuvoso (maio a junho, 2003) nos SAFs com café. Letras iguais entre barras da mesma época de amostragem indicam igualdade pelo teste de Scott-Knott ($p = 0,05$). *; ns: indicam diferenças significativas ou não, respectivamente, entre épocas de amostragem pelo teste t de Student ($p = 0,05$). As linhas verticais acima das barras indicam o erro padrão da média.

Esta relação também foi afetada pela interação de sistemas e épocas de amostragem, tendo sido observado um incremento significativo na segunda amostragem para os sistemas FrAre CE e Arg CI Ara. Isto pode estar relacionado com a menor disponibilidade de N do solo durante os meses de menor precipitação, como também com a menor qualidade dos resíduos adicionados durante a estação seca.

A relação C:N da matéria orgânica reflete as características do material adicionado ao solo. No sistema Fr CG, a alta relação C:N e o alto teor de lignina e polifenóis que caracterizam os resíduos de *Grevillea robusta* (NYBERG et al., 2002) contribuem para a lenta taxa de decomposição dos resíduos desta espécie (MENDONÇA & STOTT, 2003). Isto pode estar influenciando o acúmulo de carbono neste solo (Figura 3) e refletindo na maior relação C:N, devido aos muitos anos de uso desta espécie arbórea como sombreadora do café.

Nos demais sistemas, os resíduos apresentam melhor qualidade pelo fato de serem produzidos por espécies fixadoras de nitrogênio, (PALM & SANCHEZ, 1991; TIANG et al., 1992), refletindo em uma menor relação C:N do solo. Os resultados encontrados nos sistema FrAre CE, entre 8,6 e 12,4 foram semelhantes aos encontrados por ALPIZAR et al., (1985), em cafezais sombreados com *Erythrina poeppigiana*.

3.7. Carbono da Biomassa Microbiana do Solo

O carbono da biomassa microbiana (C-BMS) apresentou o efeito dos sistemas avaliadados e das épocas de amostragem, como também da interação desses fatores. Os resultados são mostrados na Figura 6.

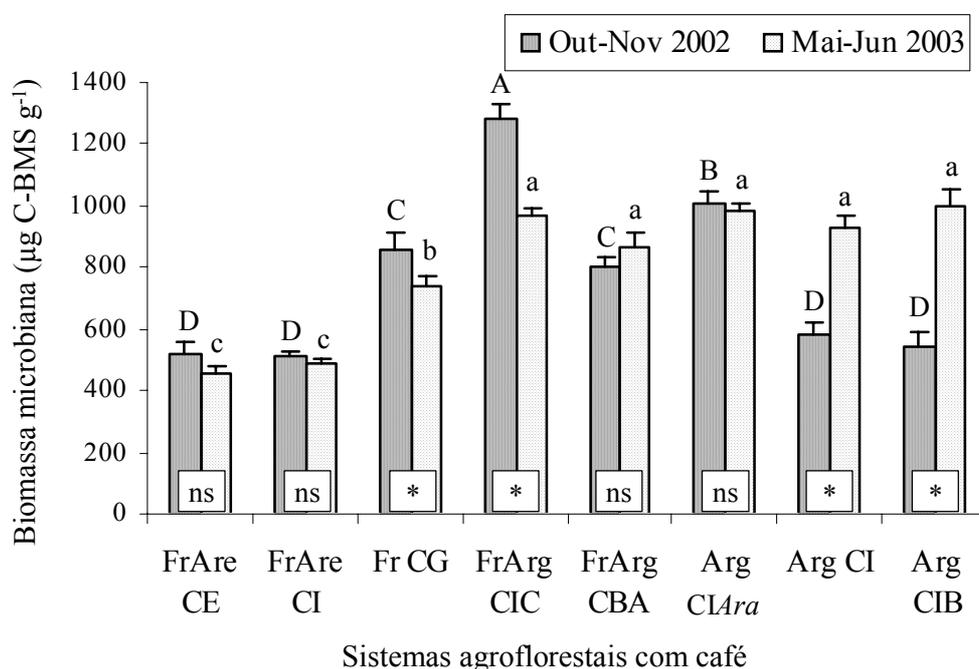


Figura 6. Carbono da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo) em amostragens realizadas no final (outubro a novembro de 2002) e início do período chuvoso (maio a junho, 2003) nos SAFs com café. Letras iguais entre barras da mesma época de amostragem indicam igualdade pelo teste de Scott-Knott ($p = 0,05$). *; ns: indicam, respectivamente, diferenças significativas ou não entre épocas de amostragem pelo teste t de Student ($p = 0,05$). As linhas verticais acima das barras indicam o erro padrão da média.

Durante a primeira amostragem, o carbono da biomassa microbiana variou entre 512 $\mu\text{g C-BMS g}^{-1}$ no sistema FrAre CI até 1286 $\mu\text{g C-BMS g}^{-1}$ no sistema FrArg CIC sob manejo orgânico, sendo este último valor, estatisticamente superior ao encontrado nos demais sistemas. A Figura 6 evidencia que os teores do carbono da biomassa microbiana, durante a primeira amostragem foram também altos nos sistemas Arg CLara, Fr CG e FrArg CBA quando comparado aos valores encontrados nos demais sistemas. Estes valores foram também altos em comparação aos encontrados em diferentes sistemas de manejo do solo, incluindo sistemas de produção de café em monocultura (MARCHIORI JUNIOR & DE MELO, 2000).

Na segunda amostragem, os valores variaram de 458 $\mu\text{g C-BMS g}^{-1}$ no sistema FrAre CE a 995 $\mu\text{g C-BMS g}^{-1}$ no sistema Arg CIB. Entretanto, este último não foi estatisticamente diferente ao valor encontrado nos outros sistemas desenvolvidos sobre solo argiloso e franco-argiloso, sendo, porém superiores aos dos solos franco e franco-arenoso.

Tem sido observado que o C-BMS acha-se estreitamente relacionado com os teores de carbono e argila do solo (GAMA RODRIGUES, 1999). ALVARENGA et al. (1999) encontraram valores de 207 e 511 $\mu\text{g C-BMS g}^{-1}$ em solos com pastagem natural e vegetação do cerrado, respectivamente, e valores intermediários em solos com pastagem plantada e floresta de eucalipto. Entretanto, tais solos apresentaram valores de carbono total mais reduzidos que os encontrados nos sistemas avaliados no presente estudo. Altos valores do C-BMS foram encontrados em SAFs (CHANDER et al., 1998), florestas nativas (LEITE et al., 2003) e sistemas de manejo orgânico (CARPENTER-BOGGS et al., 2000), em solos com alto teor de carbono orgânico total.

Em quatro dos sistemas estudados, houve diferenças no teor de C-BMS entre as duas amostragens, embora não tenha sido detectada uma tendência definida em relação à época de amostragem, como já foi encontrado por ESPINDOLA et al. (2001) e MARSCHNER et al. (2002). Isto pode ser atribuído, em parte, às propriedades inerentes aos solos e, em parte, às condições de manejo e microclima de cada sistema avaliado.

Foi observado que os sistemas Fr CG e FrArg CIC apresentaram menor teor de C-BMS na segunda amostragem, o que é explicável nestes sistemas sobre solo arenoso pela menor precipitação e menor teor de umidade do solo na segunda amostragem. Nos sistemas Arg CI e Arg CIB o menor teor de C-BMS obtido na primeira amostragem, possivelmente está relacionado com o excesso de umidade do solo no final da estação chuvosa. Solos argilosos podem apresentar deficiências de arejamento e afetar a comunidade dos microorganismos do solo.

O sistema Arg CLara apresentou a menor flutuação no teor de C-BMS entre as amostragens. Pode-se atribuir este fato ao papel da cobertura viva de *Arachis pintoi* no controle do excesso de umidade no solo no final da estação chuvosa e na conservação da umidade do solo nos períodos de seca, contribuindo para manter uma situação mais estável e favorável à decomposição dos resíduos e à manutenção da população ativa de microrganismos do solo.

3.8. Quociente Microbiano

A análise de variância mostrou efeito dos sistemas, épocas de amostragem e interação desses fatores. O quociente microbiano variou entre 1,42 e 3,37 % para os solos dos sistemas Arg CIB e FrAre CE, respectivamente, durante a primeira época de amostragem. Na segunda coleta os valores variaram menos, permanecendo entre 1,64 % e 3,21 % nos sistemas Fr CG e FrAre CI, respectivamente. Os valores médios do quociente microbiano obtidos nas duas amostragens são mostrados na Figura 7.

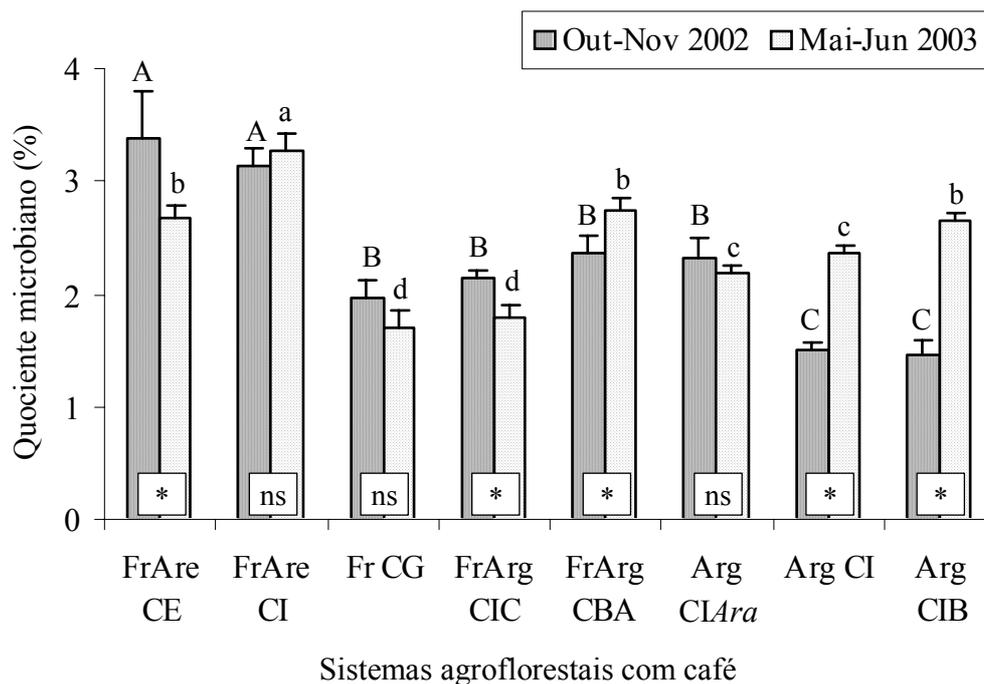


Figura 7. Quociente microbiano do solo em amostragens realizadas no final (outubro a novembro de 2002) e início do período chuvoso (maio a junho, 2003) nos SAFs com café. Letras iguais entre barras da mesma época de amostragem indicam igualdade pelo teste de Scott-Knott ($p = 0,05$). *, ns: indicam diferenças significativas ou não, respectivamente, entre épocas de amostragem pelo teste t de Student ($p = 0,05$). As linhas verticais acima das barras indicam o erro padrão da média.

Valores de quociente microbiano entre 2 a 4,4 % têm sido encontrados em solos agrícolas e florestais, dependendo do estado nutricional do solo e do manejo, sendo que valores abaixo de 2,0 % poderiam ser considerados críticos para solos com pH neutro, indicando baixa qualidade do carbono do solo (ANDERSON, 2003).

Assim, os resultados obtidos indicam que nos sistemas FrAre CE e FrAre CI, os solos apresentam melhor qualidade do substrato. No sistema FrAre CE esta relação mostrou-se significativamente menor durante a segunda amostragem, induzido possivelmente pelo ingresso de compostos orgânicos de menor qualidade, após o período seco, comportamento também observado no sistema FrArg CIC.

O contrario foi observado nos sistemas FrArg CBA, Arg CI e Arg CIB, o que está relacionado com o incremento da biomassa microbiana, durante a segunda época de amostragem. No sistema Fr Are CI, Fr CG e Arg CLAr, as diferenças no quociente microbiano não foram significativas entre amostragens indicando que a qualidade e disponibilidade do carbono se manteve estável nestes sistemas durante as duas amostragens. No sistema Arg CLAr é possível que a cobertura viva de *Arachis pintoi*, contribua para amenizar situações ambientais que possam induzir estresse para o desenvolvimento da biomassa microbiana.

Comparados a outros estudos, estes resultados são superiores aos observados por MARCHIORI JÚNIOR & DE MELO (2000), em monocultura de cafeeiro, e se mantiveram no intervalo de valores citados por LEITE et al. (2003) e ALVARENGA et

al. (1999), em diferentes condições de solo e clima e em diversos sistemas agrícolas e naturais.

3.9. Respiração do Solo

Também sobre a respiração do solo verificaram-se diferenças significativas entre os sistemas, épocas de amostragens e interação entre esses fatores, como se observa na Figura 8.

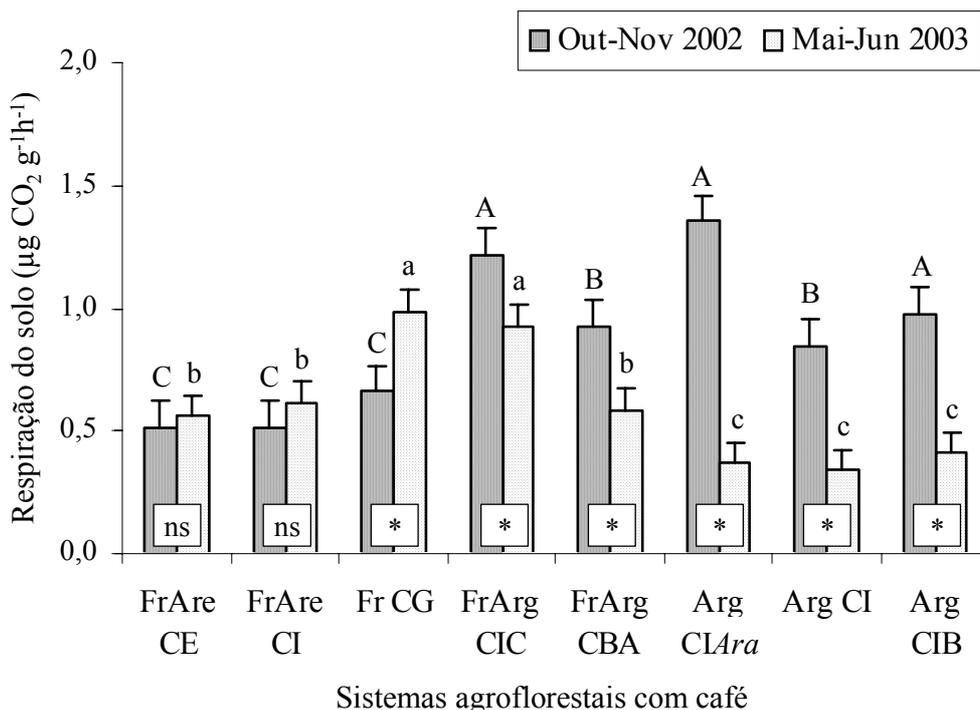


Figura 8. Respiração do solo ($\mu\text{g de CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) em amostragens realizadas no final (outubro a novembro de 2002) e início do período chuvoso (maio a junho, 2003) nos SAFs com café. Letras iguais entre barras da mesma época de amostragem indicam igualdade pelo teste de Scott-Knott ($p = 0,05$). *, ns: indicam diferenças significativas ou não, respectivamente, entre épocas de amostragem, pelo teste t de Student ($p = 0,05$). As linhas verticais acima das barras indicam o erro padrão da média.

Os resultados obtidos durante a primeira amostragem variaram entre 0,51 nos sistemas FrAre CE e FrAre CI e $1,35 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ nos sistema Arg CI Ara. Na segunda amostragem os valores situaram-se entre 0,34 e $0,99 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, nos sistemas FrArg CI e Fr CG, respectivamente.

Os valores de respiração do solo nos sistemas FrAre CE e FrAre CI não diferiram significativamente entre si e foram muito semelhantes em ambas épocas de amostragens. Já o sistema Fr CG apresentou maiores valores na segunda amostragem indicando maior atividade decompositora da biomassa microbiana nesta época. Os demais sistemas apresentaram redução na respiração na segunda amostragem, indicando uma redução da atividade decompositora.

Em SAFs com café, SEVERINO & OLIVEIRA (1999), relataram resultados de respiração de solo equivalentes a $1,83 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ em sistema de café com ingá, e de $1,13$ em um sistema de café, ingá e bananas. Em ecossistemas naturais, MELLONI et al. (2001) obtiveram valores de respiração do solo, equivalentes a $0,53$ e $0,99 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ em solos de cerrado e mata ciliar, respectivamente.

Os valores de respiração do solo encontrados neste estudo podem ser considerados baixos quando comparados aos obtidos por SEVERINO & OLIVEIRA (1999). Entretanto deve-se considerar que estas comparações não são determinantes, visto que foram conduzidos em diferentes condições, assim como pelas características dos solos e do ambiente em que cada sistema é desenvolvido.

Os valores mais altos de respiração do solo durante a primeira amostragem nos sistemas sobre solo franco-argiloso e argiloso evidenciaram a maior atividade metabólica dos microrganismos do solo no final da estação chuvosa, quando as condições de umidade favorecem a decomposição dos resíduos. Durante a segunda amostragem, observaram-se valores de respiração do solo reduzidos, evidenciando os efeitos da redução da umidade do solo sobre a ação decompositora dos microrganismos.

As diferenças na retenção de umidade dos solos nos sistemas estudados, explicam por um lado, a relação entre a biomassa microbiana e a sua atividade decompositora sobre os resíduos no solo. Mas, por outro lado, como se observa na Figura 8, os sistemas sobre solo franco-arenoso e franco apresentaram um comportamento oposto ao observado nos solos com maior teor de argila, em relação com a respiração do solo, nas duas épocas de amostragem. Este diferente comportamento só poderia ser explicado em função de mudanças na composição das populações microbianas, com diferentes taxas respiratórias, capazes de modificar o fluxo de carbono do solo (DILLY & MUNCH, 1998; ANDERSON, 2003).

3.10. Quociente Metabólico ($q\text{CO}_2$)

Esta variável mostrou diferenças entre os sistemas para cada época de amostragem, como também efeito da interação entre os sistemas e as épocas. Os valores médios são apresentados na Figura 9. O $q\text{CO}_2$ variou entre $0,81$ a $1,81$ nos sistemas Fr CG e Arg CIB, respectivamente, durante a primeira amostragem, e entre $0,37$ a $1,36$ nos sistemas Arg CI e Fr CG, respectivamente, na segunda amostragem.

Valores de $q\text{CO}_2$ entre $0,5$ a $2,0$ foram encontrados em solos agrícolas e florestais por ANDERSON (2003), sendo que os valores acima de $2,0$ poderiam ser considerados críticos para solos com pH neutro. Altos valores de $q\text{CO}_2$ são encontrados em condições desfavoráveis para os microrganismos devido ao maior estresse metabólico (ANDERSON & DOMSCH, 1993), mas também, está relacionado às comunidades microbianas que apresentam alta relação de biomassa ativa a dormente (ANDERSON, 2003).

As maiores variações do $q\text{CO}_2$ entre as épocas ocorreram nos sistemas sobre solo argiloso. Assim, durante a primeira amostragem (final da estação chuvosa), o $q\text{CO}_2$ foi significativamente maior nestes sistemas do que na amostragem realizada no início de período chuvoso. O oposto foi verificado nos sistemas sobre solo franco e franco-arenoso, embora as diferenças só tenham sido significativas no sistema Fr CG. Os menores valores de $q\text{CO}_2$ observados nestes sistemas durante a primeira amostragem podem estar relacionados à menor liberação de CO_2 para a atmosfera proveniente da decomposição e maior incorporação do carbono nos tecidos microbianos. Já na segunda amostragem, o incremento no $q\text{CO}_2$, evidenciou maior atividade microbiana, possivelmente em decorrência da alta disponibilidade dos resíduos nesta época de

amostragem. O único sistema onde o quociente metabólico variou pouco entre uma amostragem e outra foi o sistema FrArg CIC.

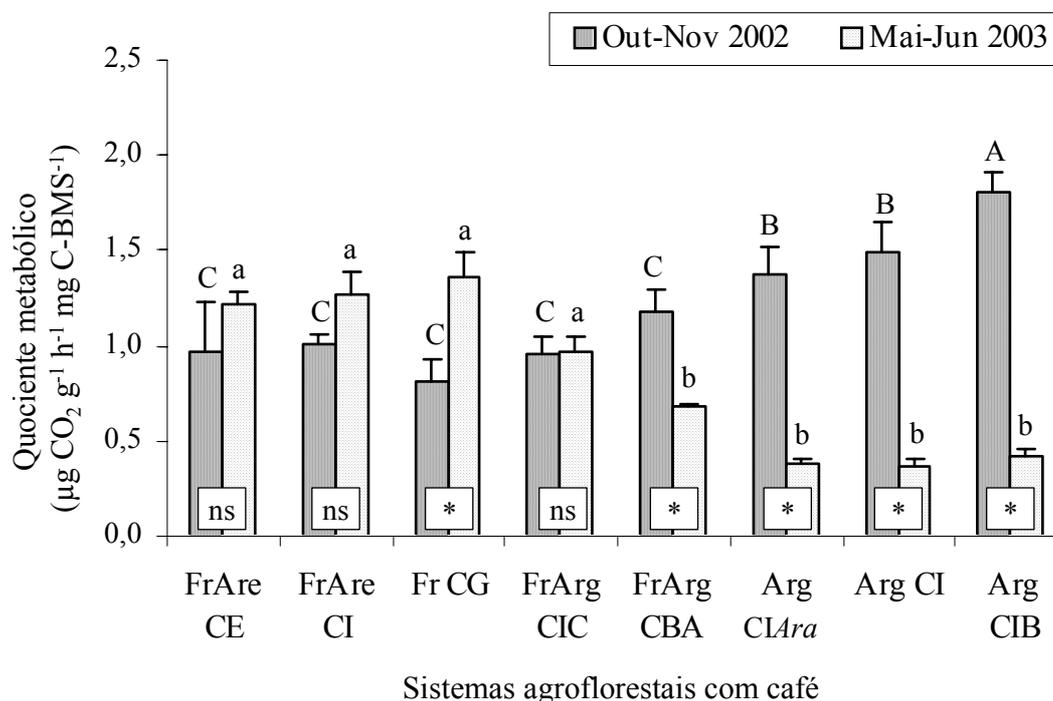


Figura 9. Quociente metabólico do solo ($\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1} (\text{mg C-BMS})^{-1}$) em amostragens realizadas no final (outubro a novembro de 2002) e início do período chuvoso (maio a junho, 2003) nos SAFs com café. Letras iguais entre barras da mesma época de amostragem indicam igualdade pelo teste de Scott-Knott ($p = 0,05$). *; ns: indicam diferenças significativas ou não, respectivamente, entre épocas de amostragem pelo teste t de Student ($p = 0,05$). As linhas verticais acima das barras indicam o erro padrão da média.

O maior valor de $q\text{CO}_2$ no final da estação chuvosa estaria relacionado à maior atividade decompositora da biomassa microbiana, com o maior gasto energético e conseqüentemente a menor eficiência para incorporar o C nos tecidos microbianos, devido aos maiores teores de umidade do solo que favoreceram a decomposição. Já na segunda amostragem, o menor $q\text{CO}_2$, mostra que a decomposição da matéria orgânica estaria sendo mais utilizada para a formação de tecido microbiano do que sendo perdido como CO_2 atmosférico, em resposta ao rápido crescimento das populações de microrganismos depois de um período de deficiência hídrica, ocorrido entre os meses de amostragem (novembro a maio) e o restabelecimento de uma condição de umidade ideal do solo.

Os sistemas desenvolvidos sobre solo franco-arenoso e franco apresentaram um comportamento inverso ao dos sistemas sobre solo argiloso quanto à atividade microbiana. Pode-se observar a propensão ao comportamento oposto entre os solos de textura fina e grossa, nas variáveis carbono da biomassa microbiana (Figura 6), quociente microbiano (Figura 7), respiração do solo (Figura 8) e quociente metabólico (Figura 9). Este comportamento oposto pode ser atribuído a um efeito interativo entre poda/deposição de resíduos e precipitação/capacidade de retenção de umidade do solo,

causando diferenças na composição das populações microbianas, e conseqüentemente, conduzindo às diferenças mencionadas.

Além da influência das condições intrínsecas do solo relacionadas com a capacidade de retenção da água, diferentes condições microclimáticas decorrentes da estrutura vegetativa dos sistemas avaliados e diferentes qualidades dos resíduos acumulados, podem ter forte influência sobre o desenvolvimento e composição da comunidade microbiana do solo, afetando seu desenvolvimento, suas taxas de respiração e os valores de quociente metabólico. DILLY & MUNCH (1998), mencionam que a composição da população microbiana deve ser considerada para explicar os valores de quociente metabólico, desde que tem sido observadas diferenças na eficiência de determinados grupos de microrganismos para decompor os produtos terminais da matéria orgânica.

3.11. Fracionamento da Matéria Orgânica do Solo

A figura 10 mostra a percentagem das frações humificada e não humificada do carbono orgânico do solo nos sistemas estudados. Em todos os sistemas observa-se que a matéria orgânica está constituída, em grande parte, pela fração humificada, variando entre 62,8 e 87,2 % nos sistemas FrAre CE e FrArg CIC, respectivamente. A análise estatística mostrou que os sistemas sobre solo franco-argiloso apresentaram a maior proporção de matéria orgânica humificada.

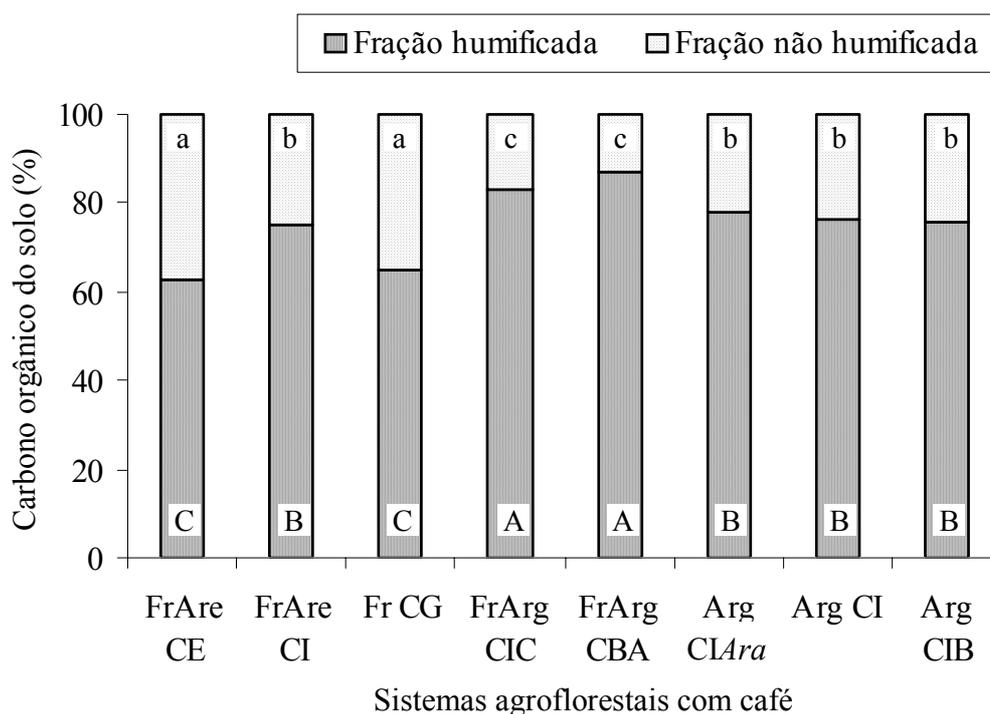


Figura 10. Fração humificada e não humificada da matéria orgânica do solo nos SAFs com café, determinada na amostragem de maio a junho de 2003. Letras iguais entre barras dentro da mesma fração indicam igualdade pelo teste de Scott-Knott ($p = 0,05$).

Verificou-se assim, que a matéria orgânica do solo de todos os sistemas encontrava-se em um avançado estado de decomposição, o que pode ser atribuído ao

longo tempo de manejo agroflorestal que favorece a atividade dos organismos do solo e a formação de compostos estáveis da matéria orgânica do solo (WOLTERS, 2000).

Os resultados obtidos são comparáveis aos observados por PÉREZ MARIN (2000), que encontrou que 70 % do carbono orgânico total do solo correspondeu às frações húmicas de um solo cultivado com café sob manejo agroflorestal e também foi comparável ao material humificado de floresta secundária que equivaleu a 74,5 % do carbono total do solo, encontrado por MENDONÇA (1999),

A Figura 11 mostra a percentagem das diferentes frações do carbono orgânico humificado obtidas com base nas suas características de solubilidade.

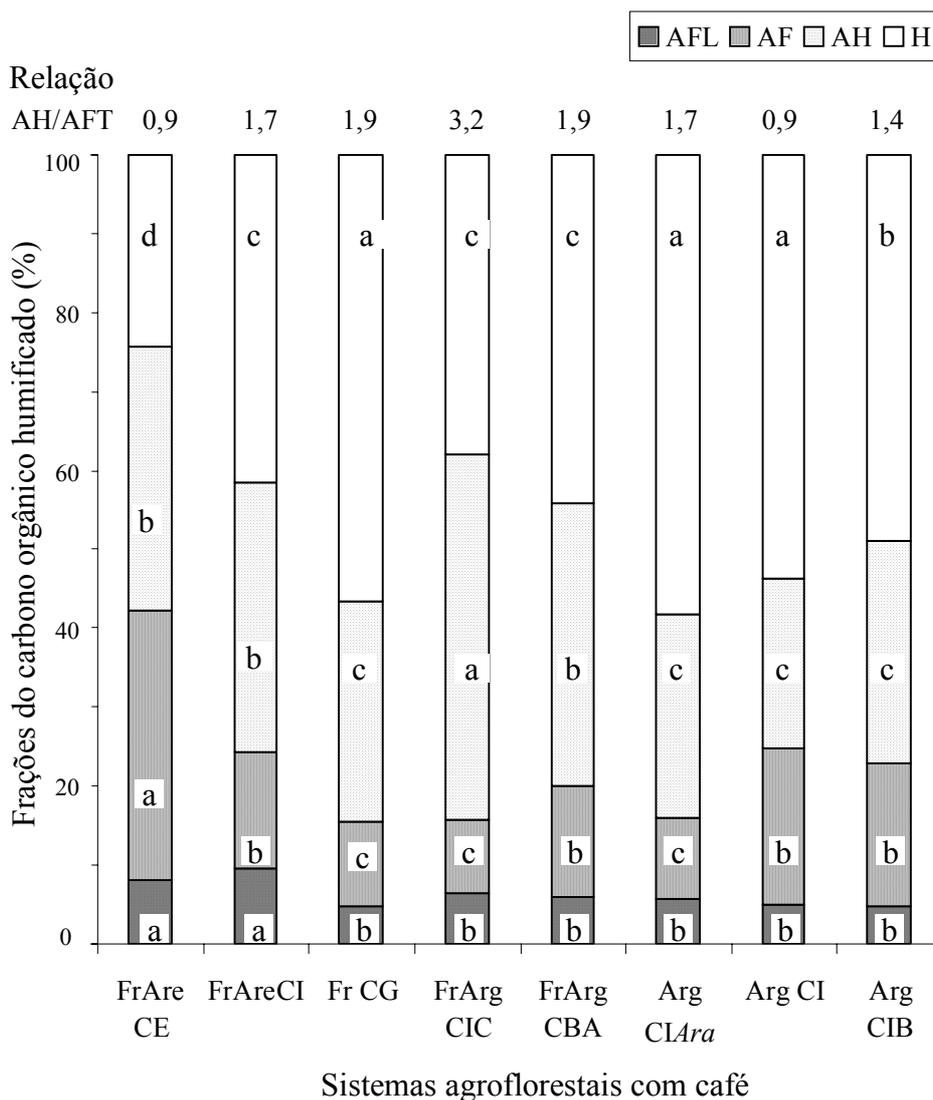


Figura 11. Distribuição porcentual das frações humificadas do carbono orgânico do solo nos SAFs com café, determinada na amostragem de maio a junho de 2003. Letras iguais entre barras dentro da mesma fração indicam igualdade pelo teste de Scott-Knott ($p = 0,05$). AFL = ácidos fúlvicos livres; AF = ácidos fúlvicos; AH = ácidos húmicos, H = huminas, expressados em porcentagem do total do carbono orgânico humificado do solo. Sobre as barras se expressa a relação Ácidos húmicos:Ácidos fúlvicos totais (AF:ALT) de cada sistema.

Nota-se que a fração dos ácidos fúlvicos livres (AFL) é a menor fração do carbono orgânico humificado em todos os sistemas, particularmente nos solos argilosos. Os sistemas FrAre CE e FrAre CI apresentaram os maiores valores desta fração (8,1 e 9,6 % do carbono orgânico humificado, respectivamente), sendo estatisticamente superiores aos demais sistemas. A menor proporção de AFL foi observada nos sistemas Fr CG e Arg CIB (4,7 % em ambos sistemas). Esta fração foi a menor em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar (CANELLAS et al., 2003) e em solos orgânicos do Estado do Rio de Janeiro (CONCEIÇÃO et al., 1999).

A fração dos ácidos fúlvicos foi significativamente mais elevada no sistema FrAre CE do que nos demais sistemas, nos quais predominaram as frações de ácidos húmicos e huminas. O sistema FrAre CE caracterizou-se por apresentar a maior fração dos ácidos fúlvicos totais (AFL+AF), evidenciando que se trata de uma matéria orgânica com menor grau de estabilização. Esta fração, embora seja mais suscetível a perdas por lixiviação, é a mais reativa dos compostos humificados contribuindo com maior capacidade de troca de cátions (CANELLAS et al., 2000) e poderia contribuir em grande parte para o fornecimento de nutrientes para o café no sistema FrAre CE, se não fosse sua susceptibilidade a ser lixiviado nestas condições de textura do solo.

Os ácidos húmicos são considerados intermediários no seu grau de estabilidade entre os ácidos fúlvicos e as huminas (CANELLAS & FAÇANHA, 2004). Sua presença no solo denota maior estabilidade da matéria orgânica e maior contribuição para a fertilidade dos solos já que são menos susceptíveis a lixiviação que os ácidos fúlvicos (CANELLAS et al., 2000) e apresentam maior reatividade que as huminas as quais formam complexos organo-minerais muito estáveis (PINHEIRO et al., 2001).

Diferentes condições de manejo do solo e dos resíduos das culturas podem afetar a proporção das substâncias húmicas no solo (MARCHIORI JÚNIOR & DE MELO, 2000; CANELLAS, et al., 2001, 2003). Assim, foi observado que o sistema com manejo orgânico (FrArg CIC) apresentou a maior fração de ácidos húmicos chegando a constituir 46,4 % do carbono orgânico humificado. A menor porcentagem desta fração foi encontrada no sistema Arg CI, embora este valor não tenha sido estatisticamente diferente do encontrado nos demais sistemas sobre solo argiloso e no sistema Fr CG.

A relação entre as frações de ácidos fúlvicos e húmicos é indicadora do grau de estabilidade da matéria orgânica do solo. Segundo KONONOVA (1982), os valores da relação AH:AF em solos férteis de regiões temperadas são mais elevados (até 2,5) que os encontrados nos solos tropicais (menores que 1), onde os processos de mineralização são mais dinâmicos. RIVERO & PAOLINI (1994) encontraram valores desta relação entre 2,0 a 5,8 em áreas agrícolas da Venezuela e MENDONÇA (1999) relatou valores entre 0,2 e 2,3 em solos orgânicos do Estado de Rio de Janeiro.

Os sistemas FrAre CE e Arg CI apresentaram a menor relação AH:AFT (0,9). O valor mais alto foi encontrado no sistema FrArg CIC (3,2). Nos demais sistemas esta relação variou entre 1,4 a 1,9. Segundo CANELLAS et al. (2000) a relação AH/AFT menor de 1 caracteriza a uma matéria orgânica de solos com restrições edáficas à atividade biológica e com intensa mineralização de resíduos, resultando em baixa formação dos compostos húmicos.

A fração huminas apresentou valores entre 24,4% do carbono total humificado no sistema FrAre CE e 58,2 % no sistema Arg CI *Ara*. Frações de huminas maiores de 80 % do carbono humificado foram relatados por CONCEIÇÃO et al. (1999) em solos orgânicos do Estado de Rio de Janeiro, indicando baixa transformação dos resíduos lignificados. CANELLAS et al. (2003) encontraram entre 84 e 89 % do carbono humificado na fração huminas. O menor valor foi encontrado em áreas de cana-de-

açúcar crua e o maior valor em áreas de cana queimada, evidenciando os efeitos do manejo sobre as diferentes proporções entre frações húmicas da matéria orgânica.

Nos sistemas avaliados, a menor presença de huminas em comparação com os estudos relatados anteriormente, pode ser devido às diferentes origens geológicas e idades dos solos quando comparados aos solos tropicais do Brasil, o que determina diferentes graus de reação entre compostos organo-minerais e diferentes composições percentuais das frações da matéria orgânica. A maior proporção de ácidos fúlvicos e húmicos encontrada nos sistemas avaliados é indicativo de um processo dinâmico de transformação dos resíduos, favorecido pela alta atividade microbiana encontrada nestes SAFs. Segundo CAMARGO et al. (1999), condições que favorecem a mineralização e humificação dos resíduos, promovem a formação de substâncias que variam em seu grau de polimerização e policondensação, contribuindo, com o tempo, para melhores condições de fertilidade e maior estabilidade do complexo de troca iônica no solo.

3.12. Teores e Conteúdos de Nutrientes da Cobertura do Solo

A Tabela 9 mostra os teores dos nutrientes presentes na cobertura orgânica do solo, nos oito sistemas avaliados e em duas épocas de amostragem. A análise estatística mostrou diferenças altamente significativas entre os sistemas nas duas épocas avaliadas, bem como entre as épocas, quanto aos teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, embora algumas destas diferenças tenham sido causadas pela inclusão, na análise de variância, dos dados correspondentes à cobertura do *Arachis pintoi*.

Os teores de N, P e Fe mostraram-se mais elevados durante a primeira amostragem do que na segunda, enquanto que o K, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn foram mais elevados na segunda amostragem. Ao contrário do observado nas coberturas mortas, o *Arachis pintoi* apresentou incremento significativo no teor de N durante a segunda amostragem.

Na primeira amostragem, o teor de N da cobertura viva de *Arachis pintoi* foi estatisticamente superior ao apresentado pelas coberturas mortas. Na segunda amostragem as coberturas mortas apresentaram diferenças significativas entre elas. Assim, a cobertura morta dos sistemas FrAre CE, Fr CG, FrArg CBA e Arg CLAr apresentaram menor teor de N, o que pode ser atribuído ao material mais fibroso originado da poda e da queda de folhas e ramos durante a estação seca.

Os maiores teores de P foram observados na cobertura com *Arachis pintoi* e nas coberturas mortas dos sistemas sobre solo argiloso, na primeira amostragem, o que pode auxiliar a compensar os baixos teores de P encontrados nos solos destes sistemas (Tabela 8). Entretanto, na segunda amostragem, apenas a cobertura com *Arachis pintoi* apresentou teor de P acima de 2 g kg⁻¹. O sistema FrArg CIC apresentou o maior teor de P em comparação com os demais sistemas. Da mesma forma que o N e o P, o teor de K só foi estatisticamente superior para a cobertura do *Arachis pintoi*.

Devido à cobertura morta ser constituída por uma mistura de resíduos de café e de distintas espécies arbóreas em diferentes estados de decomposição, foi difícil encontrar valores de referência para comparar os teores de nutrientes contidos neste material orgânico. Contudo, os teores de N, K e Mg encontrados na cobertura são menores aos encontrados em material fresco de leguminosas arbóreas e cafeeiros (MALAVOLTA et al., 1997). Fazendo este tipo de comparação, o teor de P mostrou-se mais elevado somente no material coletado nos sistemas sobre solo argiloso durante a primeira amostragem, mostrando-se igual no sistema FrArg CIC e apresentando menores valores nos restantes sistemas, comparados ao material fresco de diferentes arbóreas e cafeeiros (MALAVOLTA et al., 1997).

Tabela 9. Teores de nutrientes na matéria seca da cobertura do solo nos SAFs com café avaliados no sudeste da Guatemala.

Sistema	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
	-----g kg ⁻¹ -----					-----mg kg ⁻¹ -----			
	Primeira amostragem: outubro – novembro, 2002								
FrAre CE	15,51 b*	0,71 c	0,34 b	13,89 a	1,23 a	1,61 d	1567 b	243,69 b	28,5 b
FrAre CI	18,41 b	0,75 c	0,10 b	9,29 a	0,93 a	0,01 d	1123 c	197,04 b	41,3 a
Fr CG	15,14 b*	1,38 b	0,35 b	5,94 b	1,19 a	14,34 a	1827 b	247,18 b	42,2 a
FrArg CIC	17,66 b	1,46 b	0,50 b	13,26 a	0,76 a	0,76 d	2496 a*	259,86 b	30,6 b
FrArg CBA	16,66 b*	1,06 c	2,03 b	9,13 a	1,31 a	4,91 c	1713 b*	431,08 a	17,4 b
Arg CIAra ¹	33,04 a	3,29 a	7,06 a	10,34 a	2,46 a	12,76 a	1542 b*	177,77 b	23,5 b
Arg CIAra ²	16,91 b*	2,30 b*	0,31 b	12,01 a	1,26 a	10,53 b	1545 b	223,53 b	45,4 a
Arg CI	18,54 b*	3,36 a*	0,80 b	11,41 a	1,16 a	12,05 a	1240 c	195,33 b	17,3 b
Arg CIB	17,22 b	1,96 b*	0,66 b	10,16 a	0,99 a	8,04 b	1284 c	219,66 b	21,0 b
	Segunda amostragem: maio – junho, 2003								
FrAre CE	8,91 c	0,71 c	1,33 b	15,95 a	1,39 b	8,21 b*	1499 a	326,96 b*	50,86 a*
FrAre CI	16,36 b	0,61 c	1,63 b	15,18 a*	1,28 b	8,00 b*	1241 b	312,64 b*	110,09 a*
Fr CG	10,23 c	0,75 c	0,56 b	8,48 b	1,19 b	11,83 a	1677 a	245,20 c	40,14 b
FrArg CIC	14,34 b	1,80 b	0,58 b	20,41 a	1,93 b	12,88 a*	1602 a	354,26 b*	49,21 a
FrArg CBA	10,35 c	0,80 c	0,70 b	20,20 a*	1,63 b	9,41 b*	1258 b	451,25 a	25,19 b
Arg CIAra ¹	37,91 a*	3,15 a	28,56 a*	13,06 a	7,64 a*	15,10 a	1065 b	140,90 d	50,65 a*
Arg CIAra ²	9,45 c	0,70 c	0,65 b	12,79 a	1,29 b	9,23 b	1669 a	408,31 a*	70,76 a*
Arg CI	12,81 b	0,59 c	0,55 b	13,19 a	1,11 b	12,45 a	1504 a	358,21 b*	45,43 a*
Arg CIB	14,48 b	0,74 c	2,46 b	14,04 a	1,51 b	12,69 a*	1455 a	331,81 b*	53,94 a*

Medias com letras iguais nas colunas em cada amostragem não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p=0,05$). * indica média superior entre amostragens pelo teste de Student (5%). ¹ = cobertura viva de *Arachis pintoi*. ² = cobertura morta.

Os teores de Ca nas coberturas mortas não apresentaram grandes diferenças entre os sistemas, tendo sido menores apenas no sistema Fr CG, em ambas amostragens. Os teores de magnésio foram menos influenciados pelos sistemas que o cálcio, destacando apenas na cobertura viva do *Arachis pintoi*, na segunda época. Já os teores de micronutrientes foram grandemente afetados pelos diferentes sistemas e épocas. Isto pode ser devido à heterogeneidade dos resíduos e condições do manejo, pela diferente composição vegetal dos sistemas, fertilizantes e materiais orgânicos aplicados, os quais influenciam grandemente os teores de micronutrientes.

Os teores de Ca se encontraram dentro do intervalo de 10 a 15 g k⁻¹ observado em tecidos frescos de espécies arbóreas, enquanto que os micronutrientes apresentaram teores mais elevados, especialmente o Fe (MALAVOLTA et al., 1997). Isto pode ser devido ao efeito de concentração dos elementos na matéria seca quando os demais elementos, de maior requerimento para microrganismos, já foram mineralizados e reutilizados.

A cobertura de *Arachis pintoi* mostrou teores de elementos comparáveis aos apresentados por outras leguminosas forrageiras e de grãos (MALAVOLTA et al., 1997), com exceção dos teores de K, Ca e Mg, que se encontraram baixos durante a primeira amostragem, e do teor de Fe, que se encontrou mais elevado.

A tabela 10 mostra a quantidade dos nutrientes contidos na matéria seca das coberturas coletadas nos sistemas e que possivelmente, seriam retornados ao solo após a decomposição e mineralização da matéria orgânica. A análise estatística demonstrou diferenças significativas entre os sistemas, épocas e interação desses fatores, para todas as variáveis mostradas na Tabela 10.

Com exceção do fósforo, o conteúdo total dos nutrientes na matéria seca mostrou-se significativamente maior na segunda amostragem por causa da maior biomassa coletada nesta época, embora os teores de alguns elementos encontravam-se mais reduzidos, como o caso do N, P e Fe.

Em relação à quantidade de N depositado pela cobertura do solo, este variou entre 7,6 e 13,1 g m⁻² na cobertura com *Arachis pintoi* na primeira e na segunda amostragem, respectivamente. Nas coberturas mortas, a quantidade de N na primeira amostragem variou entre 17,2 a 46,2 g m⁻² nos sistemas Arg CLAr e FrAre CI, respectivamente. Na segunda amostragem variou de 16,4 a 76,6 g m⁻² nos mesmos sistemas (Tabela 10). As menores quantidades de N acumulado na cobertura de *Arachis pintoi* foram devidas à baixa produção de massa seca por metro quadrado, como foi mostrado na Figura 2.

Cabe mencionar que as quantidades de N acumuladas nas coberturas, apesar de serem relativamente altas, estarão sujeitas a diferentes processos de transformação e perda no solo e que só uma pequena parte estaria disponível para ser utilizado pelo café. Assim, considerando-se apenas 20 % de aproveitamento do N aportado pelas coberturas mortas este estaria variando entre 32 e 153 kg ha⁻¹. De igual maneira, a quantidade total do P e K nas coberturas mortas poderia atingir até 66 e 73 kg ha⁻¹, respectivamente, considerando os valores máximos destes nutrientes mostrados na Tabela 10. Isto demonstra uma significativa entrada de macronutrientes via serapilheira.

Nos SAFs com café, as quantidades de nutrientes proporcionadas pelas coberturas podem chegar a exceder a extração de nutrientes pelos grãos, segundo foi demonstrado por SEVERINO & OLIVEIRA (1999). Pode-se, assim, inferir que o ingresso de nutrientes através da cobertura orgânica nos SAFs, em alguns casos, podem ser suficientes para manter o equilíbrio entre entrada e saída dos nutrientes, e com isso, garantir produções sustentáveis. Entretanto, não se deve descartar que o fornecimento adicional de nutrientes via fertilização química ou orgânica, será necessário,

principalmente quando as limitações de alguns solos dificultarem a disponibilidade dos nutrientes e quando as exigências do mercado necessitarem incrementar a produtividade dos cafeeiros.

Sobre os demais nutrientes nas coberturas, observa-se nas Tabelas 9 e 10 que o *Arachis pinto* contém mais P e K que as coberturas mortas, que mesmo estando imobilizados pela planta, constituem uma reserva mais facilmente liberada que a da cobertura morta. Além disso, a utilização do *Arachis pinto*, assim como de outras leguminosas fixadoras de nitrogênio, tem importantes implicações nos ingressos deste nutriente, mas podem trazer outros benefícios para os cafeeiros. STAVER (1999), por exemplo, menciona que a cobertura com *Arachis pinto* em cafeeiros contribui para reduzir as populações de ervas invasoras e de nematóides fitoparasitas, e favorece a fauna benéfica e a proteção do solo. Além disto, o transporte de fósforo e outros nutrientes pode ser feito diretamente do *A. pinto* para o cafeeiro através do micélio do FMA.

A ampla cobertura do solo promovida pelo uso desta e de outras leguminosas também permite reduzir os custos de mão de obra para o controle de ervas invasoras, diminuindo os custos de produção. Entretanto, existe a possibilidade de apresentar certo grau de competição por nutrientes e água (PEREIRA et al., 1997), de modo que seu uso como cobertura do solo em cafezais deve ser acompanhada de manejo, principalmente durante os períodos de déficit hídrico.

Tabela 10. Conteúdo de nutrientes na cobertura do solo nos SAFs com café avaliados no sudeste da Guatemala.

Sistema	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
	g m ⁻²					mg m ⁻²			
Primeira amostragem: outubro – novembro, 2002									
FrAre CE	17,43 b	0,88 b	0,38 a	15,75 a	1,36 a	1,89 b	1756,6 c	273,0 b	31,4 b
FrAre CI	46,22 a	1,82 b	0,25 a	24,18 a	2,31 a	0,03 b	2805,0 b	489,7 a	105,9 a
Fr CG	17,26 b	1,65 b	0,40 a	6,91 a	1,35 a	17,31 a	1868,6 c	288,1 b	57,4 b
FrArg CIC	28,34 b	2,30 b	0,80 a	21,51 a	1,22 a	0,02 b	4084,8 a	421,2 a	48,8 b
FrArg CBA	24,27 b	1,73 b	3,26 a	13,53 a	1,85 a	7,28 b	2675,6 b	646,9 a	27,2 b
Arg CLAra ¹	13,10 b	1,29 b	3,11 a	4,27 a	1,05 a	5,08 b	625,3 c	73,8 d	9,6 b
Arg CLAra ²	17,21 b	2,34 b	0,31 a	11,95 a	1,27 a	10,35 b	1563,3 c	225,5 b	45,1 b
Arg CI	33,76 a	6,64 a*	1,22 a	21,90 a	2,10 a	23,17 a	2435,5 b	370,2 b	33,1 b
Arg CIB	19,40 b	1,83 b	0,98 a	10,68 a	1,08 a	9,94 b	1445,7 c	245,9 b	18,9 b
Segunda amostragem: maio – junho, 2003									
FrAre CE	34,07 b*	2,70 a	3,97 a*	59,84 a*	4,98 a*	29,71 a*	5593,1 a*	1214,4 b*	181,0 b*
FrAre CI	76,65 a*	2,87 a	7,31 a*	71,31 a*	5,93 a*	36,85 a*	5791,6 a*	1479,3 a*	527,8 a*
Fr CG	30,76 b*	2,19 b	1,69 b	24,10 c*	3,41 c*	34,96 a*	4625,1 b	680,8 c*	123,2 b*
FrArg CIC	31,26 b	3,96 a	1,22 b	44,64 b*	4,21 b*	28,62 a*	3537,3 c	778,3 c*	105,3 b
FrArg CBA	23,43 b	1,84 b	1,57 b	49,22 b*	3,89 b*	22,49 a*	2942,7 c	1044,6 b*	60,4 c
Arg CLAra ¹	7,65 c	0,64 b	5,68 a	2,58 d	1,71 c	3,03 b	216,2 d	28,0 d	10,4 c
Arg CLAra ²	16,37 c	1,47 b	1,18 b	24,37 c	2,35 c	17,93 b	3174,9 c*	786,4 c*	142,4 b*
Arg CI	33,52 b	1,57 b	1,38 b	34,58 c	2,89 c	32,88 a	4232,5 c*	991,2 b*	123,4 b
Arg CIB	29,26 b	1,55 b	5,02 a*	27,46 c*	2,97 c*	25,35, a*	2965,8 b*	662,7 c*	109,9 b

Medias com letras iguais nas colunas em cada amostragem não são diferentes entre si pelo teste de Scott-Knott ($p=0,05$) * indica média superior entre amostragens pelo teste de Student (5 %). ¹ = cobertura viva de *Arachis pintoi*. ² = cobertura morta

4. CONCLUSÕES

1. Foi demonstrado que o manejo agroflorestal produz um impacto benéfico sobre diversos parâmetros da qualidade do solo evidenciado pelos altos teores de nutrientes, carbono orgânico, carbono humificado e carbono da biomassa microbiana encontrados no solo dos sistemas avaliados.
2. Dentro dos sistemas avaliados, os desenvolvidos sobre solo argiloso e franco argiloso apresentaram melhores condições dos indicadores de qualidade do solo relacionados com a matéria orgânica e as propriedades microbiológicas.
3. Os sistemas FrArg CIC e Arg CLAr promoveram melhores condições para a atividade microbiana demonstrando os benefícios do manejo orgânico e da cobertura viva com *Arachis pintoii* sobre as propriedades que determinam a qualidade do solo.
4. As propriedades microbiológicas do solo estiveram influenciadas pelas condições ambientais, edafológicas e de manejo, sendo observada a maior atividade microbiana ao final da época chuvosa, quando as condições de umidade favorecem a maior decomposição dos resíduos.
5. Os menores teores de carbono orgânico, nutrientes e biomassa microbiana, assim como a menor atividade microbiana, observados nos sistemas sobre solo franco arenoso estão relacionados com a maior susceptibilidade às perdas dos compostos orgânicos nestes sistemas, refletindo no menor grau de estabilização da matéria orgânica especialmente no sistema FrAre CE.
6. A manutenção da cobertura viva de *Arachis pintoii* constitui uma fonte potencial de nutrientes para a cultura de café devido a sua melhor qualidade e rápida decomposição, embora precisa-se adequar o seu manejo de acordo com as condições de umidade e fertilidade do solo para evitar relações de competição com os cafeeiros.
7. A alta deposição dos resíduos orgânicos promovidos pelo manejo agroflorestal disponibiliza altas quantidades de nutrientes, que junto com a manutenção e o manejo da cobertura viva seriam suficientes para permitir o desenvolvimento, produção dos cafeeiros e conservação da fertilidade do solo, com menor dependência dos fertilizantes químicos.

CAPÍTULO III
MESOFAUNA DO SOLO, NEMATÓIDES E FUNGOS
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS COM CAFÉ

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a composição, a estrutura e a diversidade da comunidade dos pequenos invertebrados e nematóides do solo e identificar as espécies de FMAs, sob a influência de diferentes SAFs com café, com diferentes composições vegetativas, texturas do solo e manejos, descritos no Capítulo I. Para avaliar a mesofauna do solo foram realizadas amostragens de solo e serapilheira nos períodos de outubro a novembro de 2002 e maio a junho de 2003. Em cada sistema foram coletadas oito amostras de solo com uma sonda de 100 cm² até 10 cm de profundidade, e oito amostras de serapilheira com auxílio de um quadrado de 25 x 25 cm. As amostras foram acondicionadas em extratores do tipo Berlese-Tüllgren por 10 dias. Em seguida os organismos coletados foram identificados em grandes grupos taxonômicos. Para avaliar os nematóides de solo foram analisadas alíquotas de 200 gramas de solo recém-coletado (0 a 10 cm), em oito repetições em cada sistema e nas duas épocas de amostragem mencionadas anteriormente. As amostras foram processadas pelo método de peneiramento e centrifugação (JENKINS, 1964). Os nematóides foram contados e identificados até família ou gênero como possível, e agrupados segundo seus hábitos alimentares. As comunidades da mesofauna e nematóides foram descritas pelo número de indivíduos e abundância relativa das famílias e grupos tróficos. A mesofauna foi avaliada pela sua distribuição no solo e na serapilheira. A diversidade das comunidades foi avaliada pelos índices de riqueza de famílias (*R*), diversidade de Shannon (*H*), uniformidade de Pielou (*U*), dominância (*D*) e diversidade de Simpson (*1-D*), e no caso dos nematóides, também pelos índices de diversidade e dominância trófica. Amostras de solo seco e peneirado a 2 mm, coletadas em cada sistema nas mesmas épocas de amostragem foram processadas para a extração dos esporos de FMAs pelo método de peneiramento úmido (GERDEMANN E NICOLSON, 1963) seguido de centrifugação. A comunidade de FMAs foi avaliada pela densidade de esporos e presença de espécies, determinando-se as porcentagens de ocorrência de espécies e gêneros de FMAs em cada sistema. As análises estatísticas demonstraram haver diferenças significativas entre o número de indivíduos da mesofauna, de nematóides e de esporos de FMAs, sendo os sistemas desenvolvidos sobre solo argiloso e franco-argiloso, os mais abundantes nestes organismos de solo. Em particular, os sistemas FrArg CIC e Arg CLara apresentaram o maior número de indivíduos da mesofauna do solo, com alta diversidade de grupos taxonômicos. Os insetos holometábolos, sociais e os micófitos dominaram as comunidades na maioria dos sistemas, e entre estes, os grupos taxonômicos Acari, Formicidae e Collembola apresentaram a maior abundância relativa. Os nematóides foram mais abundantes nos sistemas desenvolvidos sobre solo argiloso e franco-argiloso, demonstrando uma forte influência da textura do solo e do manejo dos sistemas. Dentro dos grupos tróficos predominaram os nematóides bacteriófagos, sendo estes indicadores das altas taxas de decomposição de matéria orgânica que ocorre nos SAFs. Quanto aos FMAs, a maior quantidade de esporos foi coletada no sistema Arg CLara, mostrando a importância da cobertura viva na multiplicação destes organismos em sistemas com manejo agroecológico.

Palavras chaves: índices de diversidade, grupos funcionais, estrutura trófica

ABSTRACT

The objective of this study was to assess composition, structure and diversity of communities of soil small invertebrates and nematodes, and to identify arbuscular mycorrhizal fungi species, under influence of different agroforestry systems with coffee, that vary in their vegetative composition, soil type and management, as described in Chapter I. To assess soil mesofauna, soil and litter sampling were carried out from October to November 2002 and May to June 2003. Eight soil samples using 100 cm² probe until 10 cm profundity, and eight litter samples 25 x 25 cm, were taken in each system. Samples were placed in Berlese-Tüllgren extractors for 10 days. After that, specimens were collected, counting and identified in taxonomic groups. To study soil nematodes, eight 200 g soil samples from each system (until 10 cm profundity), were taken at the same times above mentioned. Samples were extracted by sieving and centrifugation (JENKINS, 1964). Nematodes were counting and identified as family or genera as possible, and grouped according feeding habits. Mesofauna and Nematode community were described by individual numbers and relative abundance of families and trophics groups. Mesofauna was evaluated by their distribution on soil and litter. Communities' diversity was evaluated by family richness (R), Shannon's diversity (H), Pielou's uniformity (U), and Simpson's dominance (D) and diversity (*I-D*) indexes. Also, trophic diversity and dominance indexes were estimated in nematode communities. Soil samples from each system, taken at the times above mentioned, were dried and sieved at 2 mm and processed to extract arbuscular mycorrhizal spores by wet sieving (GERDEMANN E NICHOLSON, 1963) and centrifugation. Arbuscular mycorrhizas were evaluated by spore number and occurrence of identified species and genera in all systems. Statistical analyses showed significant differences on individual numbers of mesofauna, nematodes and FMAs spores. Systems on clay and loamy clay soils were more abundant in such organisms. In particular, FrArg CIC e Arg CL*Ara* systems showed the highest number of mesofauna and taxonomic group diversity. Holometaboles, social insects and fungivores dominated communities in most systems. Acari, Formicidae and Collembola showed higher relative abundance. Nematodes were more abundant on clay and loamy clay soils demonstrating strong influence of soil texture, besides management. Bacterivorous nematodes were dominant over other trophic group, being indicators of high organic matter decomposition, as occur in agroforestry systems. In relation to arbuscular mycorrhizal fungi, high spore number was collected from Arg Ci*Ara* system showing the importance of leguminous cover on multiplication of these organisms in systems with agroecological management.

Key words: diversity index, functional groups, trophic structure

1. INTRODUÇÃO

É bem conhecido o fato de que sistemas com estruturas vegetativas complexas apresentam maior diversidade de espécies da fauna e microbiota devido à quantidade de habitats e recursos alimentares que possuem. Assim, tem-se relatado que os sistemas agroflorestais de café abrigam alto número de espécies de artrópodes, tanto no solo (IBARRA-NUÑEZ & GARCIA-BALLINAS, 1998) como na cobertura vegetal (JHONSON, 2000). As condições apropriadas para a sobrevivência de tantas espécies estão relacionadas com os diversos morfotipos de plantas que integram tais sistemas, bem como com as diferentes qualidades dos resíduos produzidos e com as condições microclimáticas induzidas pela vegetação. A simplificação da estrutura vegetativa e o uso indiscriminado de pesticidas tem conseqüências negativas sobre a manutenção do equilíbrio funcional dos sistemas, por afetarem diretamente a sobrevivência dos organismos e as funções que estes desempenham no ambiente que habitam.

Nos SAFs, uma das funções mais importantes da mesofauna é a sua participação nos processos de transformação da matéria orgânica, desde que muitos destes sistemas dependem quase exclusivamente da ciclagem para o fornecimento de nutrientes para as culturas. Além disso, muitas espécies de pequenos artrópodes encontrados nestes ambientes atuam como agentes de controle natural de pragas, polinizadores ou fonte de alimento para outras espécies. Em menor escala, participam também dos processos de estruturação do solo.

Os nematóides, como parte da microfauna do solo, possuem várias funções que contribuem para o equilíbrio dos ecossistemas participando na transferência dos nutrientes entre diferentes níveis da cadeia trófica. Exercem também a função de regulação das populações microbianas do solo, afetando os processos de decomposição da matéria orgânica e participando nos processos de mineralização do nitrogênio (NEHER, 2001). Entretanto, nos sistemas de produção de café, os nematóides tem sido mais freqüentemente associados com perdas econômicas devido às relações parasíticas que exercem sobre os cafeeiros e pouca atenção tem sido dada ao estudo dos nematóides como indicadores de qualidade e funcionalidade dos sistemas.

Por outro lado, FMAs são importantes componentes da microbiota dos solos, tendo o papel de fornecimento de nutrientes às plantas com que se associam simbioticamente, especialmente nos solos de baixa fertilidade. O café é particularmente dependente desta simbiose na fase inicial do seu desenvolvimento (SAGGIN JÚNIOR & SIQUEIRA, 1996). Os FMAs também participam de outros processos como a formação de agregados estáveis no solo, contribuindo de forma indireta para a melhoria da capacidade de retenção de umidade e da resistência do solo aos processos erosivos. Portanto, é de se esperar que as funções dos FMAs adquiram relevância na funcionalidade dos SAFs.

Assim, os diversos integrantes da mesofauna, nematóides e FMAs são componentes biológicos importantes para a contribuição do equilíbrio funcional dos sistemas, sendo considerados bons indicadores do impacto exercido pelas práticas de manejo do solo. Portanto, o objetivo deste trabalho foi analisar as características das comunidades destes organismos do solo em diferentes sistemas de produção de café sob manejo agroflorestal, desde que seu estudo pode ajudar no desenvolvimento de estratégias para um melhor controle das espécies fitoparasitas, assim como para melhorar a eficiência do uso dos nutrientes pelas culturas e manter a sustentabilidade dos sistemas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Áreas de Estudo

As áreas do estudo foram as mesmas descritas no Capítulo I. A seguir se mencionam os códigos de identificação e os correspondentes SAFs avaliados no sudeste da Guatemala:

Sobre solo Franco Arenoso:

- 1) FrAre CE: Café – Eritrina
- 2) FrAre CI: Café – Ingazeiros

Sobre solo Franco

- 3) Fr CG: Café – Grevíleas

Sobre solo Franco Argiloso:

- 4) FrArg CIC: Café – Ingazeiros – Cuernavaca, com manejo orgânico
- 5) FrArg CBA: Café – Bananeiras – Diversas arbóreas

Sobre solo Argiloso:

- 6) Arg CLAr: Café – Ingazeiros e cobertura de solo com *Arachis pintoi*
- 7) Arg CI: Café – Ingazeiros
- 8) Arg CIB: Café – Ingazeiros – Bananeiras

Com exceção do sistema FrArg CIC, que é conduzido sob manejo orgânico, os demais sistemas são manejados com aplicações de fertilizantes químicos e agrotóxicos.

2.2. Metodologia para a Avaliação das Comunidades da Biota do Solo

Mesofauna do solo e serapilheira

Nos períodos de outubro a novembro de 2002 e de maio a junho de 2003 foram retiradas amostras de solo e da serapilheira para a coleta de indivíduos da mesofauna, em oito pontos selecionados ao acaso, em uma área de aproximadamente dois hectares, em cada um dos SAFs em estudo. As amostras de solo e serapilheira foram tomadas a uma distância aproximada de 30 cm do caule do cafeeiro.

Para a extração da mesofauna do solo foi utilizada uma sonda metálica de 100 cm² e a amostra coletada até 10 cm de profundidade (1 dm³ de solo). A cobertura orgânica ou serapilheira foi coletada numa área de 25 x 25 cm, delimitados por um quadrado dessas dimensões. No sistema Arg CLAr, separou-se a cobertura viva de *Arachis pintoi* e coletou-se apenas a cobertura morta.

As amostras foram conduzidas ao laboratório e imediatamente colocadas em extratores tipo funil de Berlese-Tüllgren modificados (construídos com recipientes de PET invertidos). Nos funis adaptados utilizou-se uma malha de 2 mm para permitir a passagem apenas da mesofauna do solo (< 2 mm) até o recipiente de coleta, o qual continha uma solução saturada de ácido acetilsalicílico. Os extratores permaneceram cobertos com tecido na parte superior para evitar a entrada ou saída de artrópodes e permaneceram com a luz incidente acesa durante 10 dias. Após este período, os recipientes foram retirados e os indivíduos da mesofauna fixados com álcool 70% e identificados mediante chave morfológica para ordens de artrópodes, com ajuda de um microscópio estereoscópio.

Os dados registrados foram transformados em número de indivíduos por metro quadrado, embora seja sabido que a distribuição dos organismos do solo não apresenta um padrão uniforme (ETTEMA & WARDLE, 2002). Esta transformação se justifica devido às diferentes dimensões dos instrumentos utilizados para a coleta das amostras do solo e serapilheira.

Para avaliar a composição e a estrutura da comunidade da mesofauna, foi estimada a abundância relativa dos grupos taxonômicos identificados, assim como, dos seguintes grupos funcionais: holometábolos, sociais, micófagos, saprófagos, fitófagos, predadores, parasitoides e larvas, definidos de acordo com DA COSTA (2002).

A diversidade da comunidade da mesofauna foi avaliada pelos seguintes índices: Riqueza de Grupos (R), diversidade de Shannon (H), Uniformidade de Pielou (U), diversidade de Simpson ($1-D$) e dominância de Simpson (D), assim como, o número de grupos igualmente abundantes, conforme estimativas descritas em HENDERSON & SEABY, (1997).

A Riqueza de Grupos foi obtida pelo número de grupos presentes em cada sistema. O índice de Shannon (H) foi estimado a partir da fórmula: $H = -\sum P_i^2 * \ln P_i$ onde P_i é a proporção do grupo i no total da amostra. O índice de Pielou foi estimado a partir da fórmula: $U = H/\ln S$, onde S é o número total de grupos taxonômicos considerados. O índice de Dominância de Simpson (D) foi estimado a partir da fórmula: $D = 1/C$, onde $C = \sum P_i^2$ e $P_i^2 = N_i(N_i - 1)/N_T(N_T - 1)$, onde N_i se refere ao número de indivíduos do grupo taxonômico " i ", e N_T é o total de indivíduos da amostra. A diversidade de Simpson foi estimada por $1-D$.

Nematóides do solo

Das amostras de solo coletadas de outubro a novembro de 2002 e de maio a junho de 2003 foram tomadas alíquota de 200 gramas de solo úmido para a extração dos nematóides pelo método de peneiramento e centrifugação (JENKINS, 1964), utilizando-se seguinte procedimento:

As alíquotas de solo de 200 g foram suspensas em 2 litros de água e passadas em peneira em malha de 60 e 500 μm . A suspensão foi coletada em tubo de centrífuga de 100 ml, misturada com 2 gramas de caulim e centrifugada a 2000 rpm durante 5 minutos. O sobrenadante foi descartado e o precipitado dissolvido em solução de sacarose 45%, sendo centrifugado novamente a 2000 rpm por 5 minutos. O sobrenadante contendo os nematóides foi retido na peneira de 500 μm , lavados para eliminar o excesso de sacarose e coletados em frasco plástico.

Em seguida as amostras foram submetidas a uma temperatura de 60°C em banho-maria e misturados em igual proporção a uma solução de formol 8%. Os nematóides foram contados e posteriormente, um número de 30 indivíduos por amostra foram identificados com o auxílio de um microscópio e chaves morfológicas (TARJAN et al., 2001; SMART Jr. & NGUYEN, 1988; NGUYEN, 2002) até família ou gênero, agrupando-os segundo seus hábitos alimentares (YEATES et al., 1993).

A comunidade de nematóides foi descrita pela abundância relativa das famílias identificadas (%), assim como pela proporção relativa dos grupos de bacteriófagos, micófagos, onívoros e predadores, e de índices de diversidade e dominância trófica.

A comunidade de nematóides foi analisada pelos índices: riqueza de famílias ou grupos identificados (R), índice de diversidade de Shannon (H), índice de uniformidade de Pielou (U), e índice de dominância de Simpson (D). Os grupos tróficos foram avaliados pelos índices de diversidade e dominância trófica. A diversidade trófica (T), foi estimada pela expressão $T = 1/\sum(P_i)^2$, onde: P_i = Proporção dos grupos tróficos na comunidade (FRECKMAN & ETTEMA, 1993). A dominância trófica (I_g) foi obtida

pelo inverso da diversidade trófica, segundo a fórmula: $Ig = \sum(Pi)^2$ (FRECKMAN & ETTEMA, 1993).

Fungos Micorrízicos Arbusculares

Das amostras de solo coletadas de outubro a novembro de 2002 e de maio a junho de 2003 foi tomada uma alíquota de solo seco e passado em peneira de 2 mm para a extração dos FMAs pelo método de peneiramento úmido (GERDEMANN & NICOLSON, 1963). Procedeu-se da seguinte maneira:

Alíquotas de solo de 100 ml foram suspensas em 2 litros de água e passadas em peneira de 400 μ m. A suspensão foi colocada em um tubo de centrifuga de 100 ml e centrifugada a 3000 rpm durante 3 minutos. O sobrenadante foi descartado e o precipitado dissolvido em solução de sacarose 45 % e centrifugado a 2000 rpm durante 2 minutos. O sobrenadante contendo os esporos de FMAs foi retido na peneira de 400 μ m, lavados para eliminar o excesso de sacarose e colocados em uma lâmina de contagem. Após a contagem, os esporos foram transferidos para uma placa de Petri, separados pelas características de tamanho, cor e forma, e colocados em lâminas onde foram fixados com álcool polivinil lactoglicerol (PVLG) e com reagente de Melzer + PVLG. A identificação das espécies de FMAs foi feita com ajuda de microscópio óptico, conforme SCHENCK E PÉREZ (1987) e INVAM (2003).

Análise estatística dos resultados

Os dados de número de indivíduos da mesofauna, dos nematóides e de esporos de FMAs foram submetidos à análise de variância como delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 8 (duas épocas de amostragem e oito sistemas agrofloretais), com oito repetições. Para a análise estatística os dados foram previamente transformados em raiz quadrada. As médias foram separadas mediante teste t de Student para avaliar o efeito de épocas e teste de Scott-Knott para avaliar as diferenças entre sistemas. Utilizou-se o programa de análise estatística SISVAR versão 4.3 (FERREIRA, 2003).

Foi realizada análise multivariada de agrupamento, utilizando o método de ligação completa e distância $1 - r$ de Pearson, com o propósito de avaliar as similaridades ou diferenças entre os SAFs com base nos grupos taxonômicos da comunidade da mesofauna do solo, serapilheira e nematóides. Para isso foram utilizados os dados de número de indivíduos dos diferentes grupos taxonômicos coletados em cada sistema.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. A Mesofauna do Solo nos Sistemas Agroflorestais com Café

3.1.1. Número de indivíduos da mesofauna do solo e serapilheira

A Tabela 11 apresenta os resultados do número médio de indivíduos da mesofauna do solo, da serapilheira e do total (soma de solo + serapilheira) encontrado em cada SAF, nas duas épocas de amostragens.

Tabela 11. Número médio de indivíduos da mesofauna do solo, serapilheira e total, em amostragens realizadas no final (outubro a novembro de 2002) e no início do período chuvoso (maio a junho, 2003), nos SAF com café.

Sistema	Primeira amostragem			Segunda amostragem		
	Solo	Serapilheira	Total	Solo	Serapilheira	Total
	-----Indivíduos m ⁻² -----					
FrAre CE	213 d	458 b	671 c	213 b	476 b	689 b
FrAre CI	525 d	1612 b	2137 b	313 b	700 b	1013 b
Fr CG	275 d	1560 b	1835 b	625 b	2174 a	2799 a
FrArg CIC	3088 b*	1108 b	4196 b	1900 a	1774 a	3674 a
FrArgCBA	1363 c	1452 b	2815 b	1550 a	1808 a	3358 a
Arg CLAra	5975 a*	3070 a	9045 a*	713 b	1960 a	2673 a
Arg CI	1000 c	1092 b	2092 b	1288 a	768 b	2056 a
Arg CIB	2338 b*	1034 b	3372 b*	700 b	552 b	1252 b

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p = 0,05$). Asterisco (*) indica diferenças entre épocas de amostragem dentro do sistema.

A análise de variância mostrou diferenças significativas entre os sistemas para mesofauna do solo, serapilheira e total para cada época de amostragem. Diferenças significativas do efeito da época de amostragem e da interação época x sistema, foram detectadas para mesofauna do solo e total, mas não para mesofauna da serapilheira.

Na primeira amostragem o maior número de indivíduos da mesofauna do solo, serapilheira e total foi obtido no sistema Arg CLAra. Nesta época a condição mais úmida do solo e o maior desenvolvimento do *Arachis pintoii* parece ter sido importante para estimular a mesofauna neste sistema. Em segundo plano, os sistemas FrArg CIC e Arg CIB apresentaram número de indivíduos da mesofauna do solo superior aos demais sistemas. Entretanto, esta diferença não foi observada na mesofauna da serapilheira e total. Os sistemas sobre solo franco e franco-arenoso e, particularmente o sistema FrAre CE, caracterizaram-se pela menor abundância de indivíduos da mesofauna do solo.

Durante a segunda amostragem o maior número de indivíduos da mesofauna do solo foi encontrado nos sistemas FrArg CIC, FrArg CBA e Arg CI, enquanto que a mesofauna da serapilheira atingiu o maior número nos sistemas Fr CG, FrArg CIC

FrArg CBA e Arg ClAra. Na mesofauna total, estes cinco sistemas se destacaram sobre os sistemas FrAre CI, FrAre CE e Arg CIB.

Em termos gerais, os sistemas com menor número de indivíduos no solo na primeira amostragem, foram aqueles nos quais o café encontrou-se associado com uma única espécie arbórea, ou seja, os sistemas FrAre CE, FrAre CI, Fr CG e Arg CI. Entretanto, o sistema Fr CG apresentou elevado número de organismos na serapilheira durante a segunda amostragem, refletindo um comportamento similar aos sistemas desenvolvidos sobre solo franco-argiloso. Na segunda amostragem, o baixo número de organismos no sistema Arg CIB pode ser explicado em função da maior área de solo descoberto registrada neste sistema (Tabela 5, Capítulo I), apesar de ser um sistema com vegetação diversa e solo de textura fina.

A redução de número de indivíduos da mesofauna dos sistemas FrArg CIC, Arg ClAra e Arg CIB na segunda amostragem (Tabela 11) provavelmente foi provocada pela diminuição do teor de umidade do solo ocorrida entre as amostragens, que afeta à disponibilidade dos recursos alimentares, embora alguns sistemas tenham sido afetados mais intensamente do que outros. No caso do sistema Arg ClAra, por exemplo, a redução no número de indivíduos coletados coincidiu com a significativa redução na produção de massa seca da cobertura viva ocorrida após o período seco, como foi mostrado na Figura 2 do Capítulo II. Nos outros sistemas, a menor qualidade dos resíduos acumulados durante esse período (Tabela 9, Capítulo II) pode ter tido maior influência no desenvolvimento da mesofauna.

Desde que fatores climáticos e o manejo, especialmente as podas da vegetação arbórea, modificam a disponibilidade dos recursos alimentares e o habitat dos organismos do solo, analisou-se a distribuição proporcional da mesofauna no solo e na serapilheira nas duas épocas de amostragem. Tal distribuição é mostrada na Figura 12.

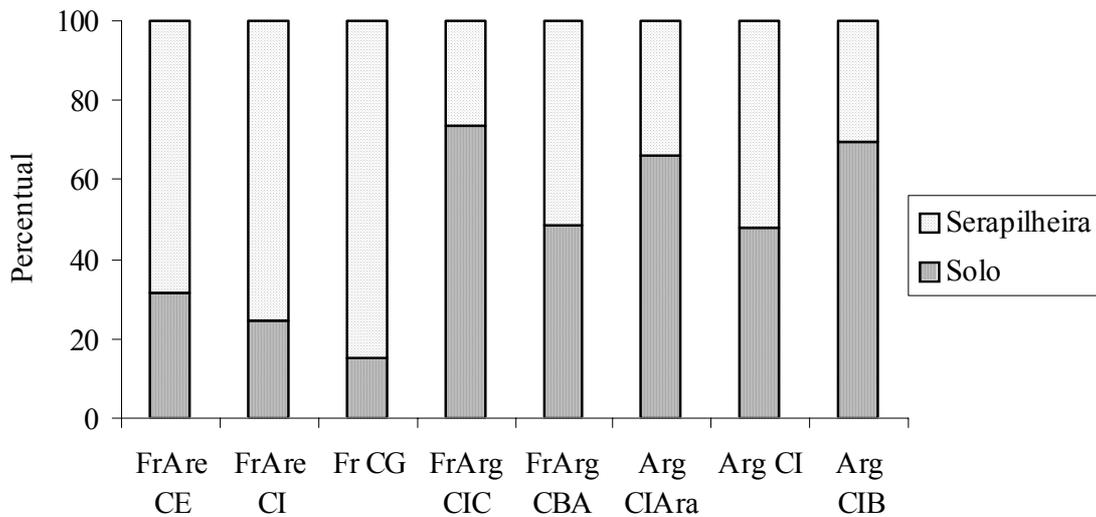
Observa-se que os sistemas localizados sobre solo franco-arenoso e franco mantiveram uma tendência similar na primeira e segunda amostragem, de abrigarem uma maior proporção da mesofauna na serapilheira (entre 68 e 85 %). Nestes sistemas a abundante deposição dos resíduos arbóreos acumulados durante o período seco (Figura 2, Capítulo II) assim como as condições adequadas de umidade no final e no início da estação chuvosa estariam promovendo a distribuição da mesofauna na serapilheira.

Nos sistemas sobre solo franco-argiloso e argiloso houve mudança na distribuição da mesofauna com a época, principalmente no sistema Arg ClAra. Neste sistema 66 % da mesofauna se encontrava ocupando o solo no final da época chuvosa, mas no início do seguinte período chuvoso a maior proporção (73 %) foi encontrada na serapilheira.

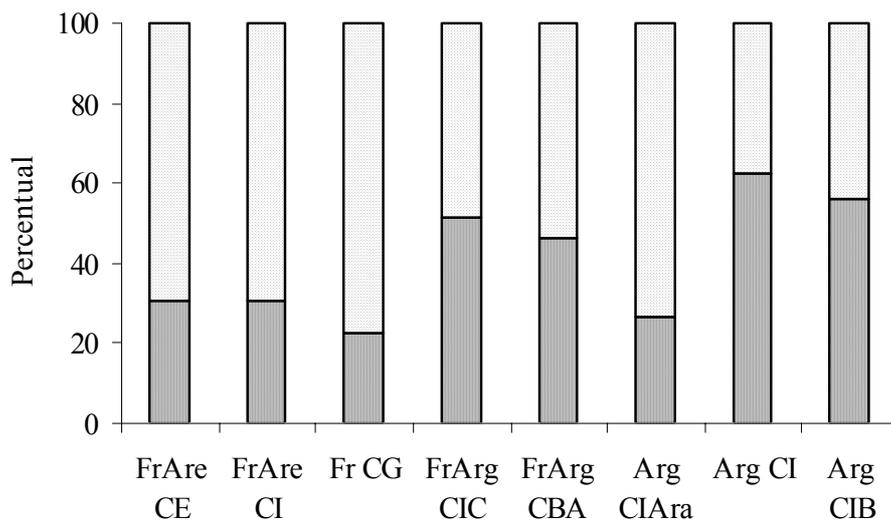
Variações sazonais na distribuição da mesofauna foram relatadas por CORRÊA NETO et al. (2001) ao observarem maior distribuição da mesofauna na serapilheira de uma floresta secundária durante o verão do que no outono, o que não foi observado em plantio de eucalipto. Estas diferenças foram atribuídas à maior diversidade da cobertura vegetal da floresta. Na amostragem realizada durante maio e junho, que teoricamente corresponde ao verão (temperado e úmido) a maior distribuição da mesofauna na serapilheira coincide com os resultados observados por CORRÊA NETO et al., (2001) na floresta secundária, durante o verão quente e úmido que caracteriza o Estado de Rio de Janeiro.

DA COSTA (2002) também observou variações na localização da mesofauna dependendo da estação do ano e de tipo de vegetação arbórea, encontrando o maior número de indivíduos associados à serapilheira durante a primavera, e o maior número de indivíduos associados ao solo durante o verão, diferindo dos resultados encontrados por CORRÊA NETO et al. (2001).

A) Amostragem em outubro-novembro de 2002



B) Amostragem em maio-junho de 2003



Sistemas agroflorestais com café

Figura 12. Distribuição proporcional da mesofauna no solo e na serapilheira nos SAFs com café nas amostragens realizadas de outubro a novembro de 2002 e de maio a junho de 2003.

3.1.2. Composição da comunidade da mesofauna

A mesofauna total coletada foi classificada em 24 grupos taxonômicos de indivíduos adultos e cinco grupos de formas larvais, totalizando 29 grupos. Na Tabela 12 observam-se os diferentes grupos taxonômicos identificados e a abundância relativa destes grupos nos oito SAFs com café.

Tabela 12. Abundância relativa dos grupos da mesofauna do solo e serapilheira coletada nos SAFs com café.

Grupos Taxonômicos	Sistemas agroflorestais									Abundância Relativa Média
	FrAre CE	FrAre CI	Fr CG	FrArg CIC	FrArg CBA	Arg CIAra	Arg CI	Arg CIB		
	-----%-----									
Acari	26,60	41,21	32,14	25,26	14,50	4,18	11,33	5,83	20,13	
Blattaria	0,29	0,19	1,34	0,13	0,41	0,16	0,19	0,09	0,35	
Chilopoda	0,00	0,52		1,66	0,36	0,22	0,05	0,09	0,36	
Coleoptera	10,56	5,43	3,23	3,42	3,90	3,63	3,36	8,82	5,29	
Collembola	26,86	18,15	29,35	27,05	10,97	11,18	21,76	19,36	20,58	
Dermaptera			0,99	0,43	0,19		0,24		0,23	
Diplopoda	0,29	0,46	1,19	0,37	0,03	0,07	0,24	0,04	0,34	
Diplura	0,29	0,92	1,86	1,72	0,87	0,11	2,39	1,44	1,20	
Diptera	3,13	2,86	5,50	3,34	6,29	14,59	17,94	25,53	9,90	
Formicidae	4,67	15,21	7,33	25,10	48,78	38,71	20,31	6,94	20,88	
Gasteropoda	0,15			0,08	0,06	0,03	7,28	0,13	0,97	
Hemiptera	0,92	0,06	0,09	0,15	0,03	0,44	0,60	0,54	0,36	
Homoptera	0,29	1,02	0,43	0,15	0,70	0,75	1,24	2,42	0,88	
Hymenoptera	0,29	0,52	0,80	0,13		0,43	0,74	3,31	0,78	
Isopoda	2,39	0,71	0,04	1,09	0,91	1,32	0,87	1,16	1,06	
Isoptera	0,92		5,61	0,66	1,22			3,29	1,46	
Orthoptera			0,86	0,03		0,21	0,05	0,04	0,15	
Pseudoescorpionida	4,12	0,44		0,13		0,09	0,19	0,17	0,64	
Psocoptera	0,29	0,06	0,39	0,30	0,13	0,11		0,36	0,21	
Protura		0,51	0,13				0,05		0,09	
Symphyla		0,46	0,09	0,72	0,26	1,23	0,95	0,71	0,55	
Trichoptera	0,15	1,17	0,70	0,20	2,89	12,55	3,05	12,51	4,15	
Thysanoptera	0,15	0,65	0,43	0,08	0,50	0,67	1,19	1,67	0,67	
Aranea	3,02	2,22	3,42	2,46	2,00	0,65	2,22	0,87	2,11	
Larvas diptera	1,62	0,64	0,26	0,20	0,61	0,98	0,35	0,27	0,62	
Larvas coleoptera	5,30	3,13	1,31	1,17	1,09	0,72	1,18	0,89	1,85	
Larvas trichoptera								0,27	0,03	
Larvas lepidoptera			0,09	0,13	0,27			0,17	0,08	
Outras larvas	7,69	3,44	2,44	3,85	3,03	6,98	2,22	3,08	4,09	
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

Em negrito os grupos com maior proporção em cada sistema.

Dos grupos identificados, Formicidae (20,88 %), Collembola (20,58 %) e Acari (20,13 %) apresentaram o maior número de indivíduos, e em conjunto somaram 61,59 % do total de indivíduos coletados. Estes grupos têm sido reportados como abundantes, em diferentes estudos sobre a mesofauna do solo (RODRIGUES et al., 1997; KOEHLER, 1998).

DA COSTA (2002), encontrou uma elevada presença de indivíduos dos grupos Formicidae e Collembola em diferentes parcelas experimentais de espécies arbóreas, embora os ácaros, sendo também abundantes, não foram quantificados nesse estudo. SEASTEDT (1984) menciona que os ácaros e colémbolos são os dois grupos mais abundantes da mesofauna do solo e podem chegar a constituir entre 95 % dos indivíduos da fauna edáfica.

Outros grupos de relativa importância em todos os sistemas estiveram representados por indivíduos das ordens Diptera (9,90 %), Coleoptera (5,29 %), Trichoptera (4,15 %) e Aranea (2,11 %). A ocorrência de diversas formas larvais foi também importante em todos os sistemas (6,67 % do total).

Nos SAFs localizados sobre um mesmo tipo de solo e, por conseguinte, sob similares condições climáticas, as diferenças no número de indivíduos e nos diferentes grupos taxonômicos identificados, estariam sendo afetadas principalmente pelo manejo e pelo tipo de espécies vegetais que se encontram associadas aos cafeeiros. SIEMANN (1998) menciona que a quantidade, a qualidade e a heterogeneidade dos recursos vegetais afetam a estrutura da comunidade da fauna do solo diretamente, em resposta à disponibilidade dos materiais, como também, indiretamente ao influenciar as interações entre os fitófagos e seus predadores e parasitas.

O agrupamento da mesofauna do solo e serapilheira nos diferentes grupos funcionais e a ocorrência relativa média são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Estrutura da comunidade da mesofauna do solo e serapilheira encontrada nos SAFs com café, baseados na ocorrência de grupos funcionais.

Grupos Funcionais	Sistemas agroflorestais								Ocorrência relativa média
	FrAre CE	FrAre CI	Fr CG	FrArg CIC	FrArg CBA	Arg CIAra	Arg CI	Arg CIB	
	-----%-----								
Holometábolos	40,4	50,7	41,6	32,2	27,6	34,9	35,7	52,7	39,5
Sociais	5,6	15,2	12,9	25,8	50,0	38,7	20,3	10,2	22,3
Micófagos	26,9	18,1	29,3	27,0	11,0	11,2	21,8	19,4	20,6
Saprófagos	3,9	4,0	6,3	4,5	3,2	3,9	13,2	5,6	5,6
Fitófagos	1,2	1,1	0,5	0,3	0,7	1,2	1,8	3,0	1,2
Predadores	7,1	3,2	4,4	4,7	2,6	1,0	2,7	1,1	3,3
Parasitóides	0,3	0,5	0,8	0,1	0,0	0,4	0,7	3,3	0,8
Larvas	14,6	7,2	4,1	5,3	5,0	8,7	3,7	4,7	6,7
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Em negrito os grupos com maior proporção em cada sistema.

Diferenças marcantes como as observadas nos sistemas sobre solo argiloso localizados sobre um mesmo clima, podem ser atribuídas às diferentes qualidades dos recursos e dos microhabitats formados pela cobertura do solo nestes sistemas.

Em termos gerais, na maioria dos sistemas avaliados o grupo dos holometábolos, entre os quais se incluíram os indivíduos das ordens Diptera, Trichoptera, Coleoptera e Acari, possuía a maior proporção dos indivíduos coletados (39,5 %). Outro grupo importante foi constituído pelos insetos sociais, entre os quais incluiu-se Formicidae e Isoptera. Estes estiveram presentes em todos os sistemas e apresentaram uma percentagem significativa em relação com os demais indivíduos da mesofauna edáfica (22,3 %). Já os indivíduos da ordem Collembola foram classificados como sendo micófagos e constituíram 20,6 % dos indivíduos coletados.

Entre os predadores, a ordem Aranea encontrou-se em maior proporção, embora indivíduos de Pseudoescorpionida também estiveram presentes em alguns dos sistemas e especialmente, no sistema FrAre CE e no sistema FrArg CIC, sendo este grupo importante pelo potencial de controle de pragas e da população de artrópodes em geral. Os fitófagos, dentro os quais se incluem os indivíduos de Hemiptera e Homoptera estiveram presentes em baixa proporção em todos os sistemas (1,2 %), como também os parasitóides, constituídos por indivíduos da ordem Hymenoptera (0,8 %).

Considerando-se que todos os sistemas apresentaram alta deposição de matéria orgânica, esperar-se-ia que a mesofauna estivesse dominada pelos organismos saprófagos. Embora os grupos exclusivamente saprófagos não tenham representado uma alta percentagem, os organismos com papel de saprófagos foram efetivamente mais abundantes nos sistemas. Isto porque entre os holometábolos e os insetos sociais, muitos participam ativamente na desintegração da matéria orgânica, existindo, portanto, uma superposição de funções entre alguns dos grupos definidos neste trabalho.

3.1.3. Índices de Diversidade da Mesofauna

A Tabela 14 apresenta os índices de diversidade da mesofauna estimados sobre o número total de indivíduos dos diferentes grupos taxonômicos coletados nas duas épocas de amostragem, nos sistemas avaliados.

Tabela 14. Índices de diversidade da mesofauna nos SAFs com café, baseados nos grupos taxonômicos coletados em duas épocas de amostragem.

Sistemas agroflorestais	Riqueza de Grupos	No. Grupos igualmente abundantes	Índices de diversidade			
			Shannon <i>H</i>	Pielou <i>U</i>	Simpson <i>D</i>	Simpson <i>I-D</i>
FrAre CE	22	7,92	2,06	0,67	0,19	0,81
FrAre CI	23	6,28	1,84	0,59	0,26	0,74
Fr CG	25	7,21	1,97	0,61	0,23	0,77
FrArg CIC	27	8,24	2,11	0,64	0,18	0,82
FrArg CBA	24	4,62	1,53	0,48	0,38	0,62
Arg CIAra	24	4,43	1,49	0,47	0,41	0,59
Arg CI	25	8,26	2,11	0,66	0,19	0,81
Arg CIB	27	9,35	2,23	0,68	0,17	0,83

Em negrito, os maiores índices.

O maior número de grupos foi identificado nos sistemas FrArg CIC e Arg CIB. Estes sistemas apresentaram o maior índice de diversidade de Shannon (H), mas o sistema Arg CIB apresentou o maior número de grupos de igual abundância, o que refletiu no maior índice de uniformidade (U), no menor índice de dominância (D) e no maior índice de diversidade de Simpson ($1-D$). A maior diversidade da mesofauna nestes sistemas reflete o impacto do manejo orgânico (FrArg CIC) e da combinação de várias espécies (sistema Arg CIB). Entretanto, não se evidenciou que a maior diversidade vegetal presente no sistema FrArg CBA estivesse associado a um maior índice de diversidade da mesofauna, desde que existem muitos e diversos fatores que favorecem ou não a presença de determinados grupos nos ecossistemas.

A menor riqueza de grupos foi encontrado no sistema FrAre CE, que também apresentou o menor número de indivíduos nas duas coletas (Tabela 12). Entretanto, o menor número de grupos e menor índice de diversidade de Shannon (H) foram estimados nos sistemas Arg CLara e Fr Arg CBA, refletindo na menor uniformidade da comunidade da mesofauna e nos maiores índices de dominância (D), o que é consequência da maior abundância de insetos sociais coletados nestes sistemas.

Pelos resultados apresentados nas Tabelas 11 e 14, deduz-se que os sistemas com maior abundância de organismos não necessariamente apresentaram os maiores índices de diversidade e uniformidade na estrutura da comunidade da mesofauna. Esta condição reflete uma desvantagem atribuída ao uso de índices de diversidade para avaliação das comunidades do solo que se refere ao fato de que um mesmo valor do índice pode representar diferentes combinações de riquezas e abundâncias relativas dos grupos incluídos na análise (VAN STRAALLEN, 1998; SOMARIBA, 1999). Entretanto, cabe ressaltar que as informações apresentadas neste trabalho, sobre a abundância relativa dos grupos taxonômicos, grupos funcionais e índices de diversidade, evidenciam o potencial dos SAFs em estimular a presença de diferentes grupos da mesofauna do solo e permitir o desenvolvimento de comunidades bem equilibradas.

3.2. Nematóides do Solo

3.2.1. Número de nematóides

A Figura 13 mostra o número médio de nematóides encontrados em 200 gramas de solo nos diferentes SAFs com café. Observa-se que o número de nematóides foi significativamente mais alto nos sistemas desenvolvidos sobre solo argiloso durante a primeira amostragem. Na segunda amostragem não verificou-se diferença estatisticamente significativa entre os sistemas, embora os sistemas sobre solos de textura mais fina continuaram apresentando uma tendência a maior número de nematóides no sistema. Porém, pode-se observar pelo erro padrão da média que houve muita variabilidade nos dados destes solos.

Em ambas épocas de amostragens, os sistemas FrAre CE e FrAre CI apresentaram o menor número de indivíduos por amostra. Com exceção dos sistemas sobre solo franco-argiloso, o número de nematóides diminuiu durante a segunda amostragem, mas tal comportamento só foi estatisticamente diferente para o sistema Arg CI. No sistema Fr CG a diminuição no número de nematóides na segunda época de amostragem resultou em comportamento contrário ao observado para a mesofauna do solo, a qual durante a mesma época apresentou maior número de indivíduos (Tabela 11).

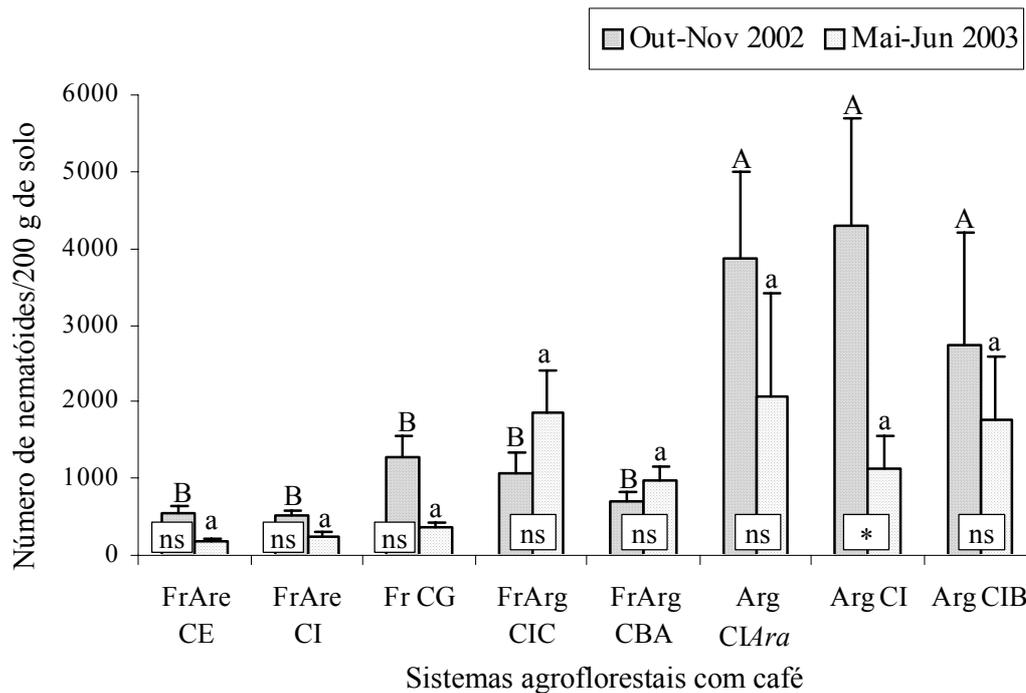


Figura 13. Número de nematóides extraídos do solo em amostragens realizadas no final (outubro a novembro de 2002) e no início do período chuvoso (maio a junho de 2003) nos SAFs com café. Letras iguais entre barras da mesma época de amostragem indicam igualdade pelo teste de Scott-Knott ($p = 0,05$); ns: indicam diferenças significativas ou não, respectivamente, entre épocas de amostragem pelo teste t de Student ($p = 0,05$). As linhas verticais acima das barras indicam o erro padrão da média.

A diferença no número de nematóides nos diferentes tipos de solo corresponde com os estudos de DEGOEDE & BONGERS (1994), que indicam que a textura do solo e as espécies de plantas presentes no sistema exercem grande influência sobre a estrutura da comunidade de nematóides. McSORLEY & FREDERICK (2002) registraram maior número de nematóides em parcelas experimentais com altos teores de argila no solo. Estes autores consideraram que o efeito da argila sobre a retenção de umidade do solo foi o fator mais importante para estimular a presença e alto número de determinados grupos de nematóides, modificando a estrutura da comunidade.

As diferenças no número de nematóides observadas entre as épocas de amostragem podem ser explicadas pela variação sazonal do teor de umidade do solo, devido à preferência das espécies por diferentes condições de umidade do solo (EKSCHMITT & GRIFFITHS, 1998; BAKONGY & NAGI, 2000). Neste caso, foi observado que o maior teor de umidade ao final do período chuvoso estimulou a presença de maior número de nematóides, com exceção dos solos franco-argilosos cujo número aumentou ao início da estação chuvosa seguinte.

3.2.2. Estrutura da comunidade dos nematóides do solo

Um total de 30 famílias ou grupos taxonômicos de nematóides foram identificados nas amostras de solo provenientes dos oito SAFs com café. Estes grupos são apresentados na Tabela 15 juntamente com a abundância relativa em relação ao total dos indivíduos coletados nos sistemas durante as amostragens.

Tabela 15. Abundância relativa de famílias de nematóides identificadas nos SAFs com café, em duas épocas de amostragens de solo.

Família	Sistemas Agroflorestais									Abundância relativa média
	FrAre CE	FrAre CI	Fr CG	FrArg CIC	FrArg CBA	Arg CLAra	Arg CI	Arg CIB		
-----%-----										
Achromadoridae				0,26	0,83	1,89	0,33			0,64
Acrobelidae	4,39	6,40	14,73				0,99			1,60
Alaimidae	0,33	3,32	0,28	0,76		3,13	0,94	0,49		1,33
Anguinidae	0,42	0,83	0,65	1,06		1,40	3,64	3,78		2,17
Aphelenchidae	14,75	13,19	1,86	6,47	11,21	15,85	19,34	16,76		14,24
Belonolaimidae				0,30		0,56				0,18
Carchaloraimidae	0,11	0,55	0,65	0,30	0,52					0,14
Cephalobidae	10,69	14,91	5,67	6,44	9,21	3,90	4,50	7,29		6,07
Criconematidae	4,11	1,11	1,17	19,55	12,55	10,25	13,93	15,24		12,24
Cryptonchidae	0,44	1,11		0,30		0,15		0,16		0,15
Diphtherophoridae	3,06	2,36		0,53	0,52					0,27
Diplogasteridae	3,17	1,81	2,12	0,30	0,73	4,64	1,49	0,15		1,93
Diploscapteridae	0,42				0,35			0,16		0,07
Dorilaimidae	7,20	3,89	5,47	12,42	3,22	8,56	3,84	8,42		7,13
Hoplolaimidae	1,83	0,55		2,27	14,90		5,36	3,85		3,38
Leptonchidae			1,29	0,30	0,70	0,27	2,32			0,78
Leptolaimidae		0,97					0,33			0,11
Mononchidae	7,81	4,46	6,11	2,39	1,92	3,17	10,85	12,29		6,88
Monhysteridae							0,33			0,08
Mononchulidae		0,55	0,65			1,08	1,32			0,64
Nygolaimidae	0,92		0,32	0,30	1,05	0,44	2,65	0,25		0,93
Panagloraimidae						1,67	1,32			0,72
Paratylenchidae		1,11								0,04
Pratylenchidae		3,05	0,32	4,21	4,67					0,97
Plectidae	0,72	0,14	1,06	0,57	3,68	3,29	2,98	1,41		2,22
Prismatolaimidae	1,22	0,83	0,93	0,83	1,63	2,58	2,07	3,53		2,15
Psilenchidae				0,76	3,32	1,81		0,33		0,85
Rabbitidae	34,55	38,29	53,21	39,20	23,16	24,79	14,07	20,33		25,86
Tylenchidae	3,86	0,56	3,51	0,46	5,48	10,29	7,40	5,03		6,08
Trypilidae					0,35	0,27		0,51		0,19
Número de famílias	19	21	18	22	20	21	21	18		30

Em negrito, as famílias com maior abundância.

A abundância relativa média mostra que as famílias Rabbididae, Aphelenchidae e Criconematidae foram as mais abundantes, seguidas pelas famílias Mononchidae, Dorilaimidae, Tylenchidae e Cephalobidae que se apresentaram em todos os sistemas em maior abundância relativa que as demais famílias.

Nos sistemas sobre solo franco arenoso, a família Rabbididae seguida de Aphelenchidae e Cephalobidae foram as mais importantes, mas também se registrou maior abundância de Dorilaimidae e Mononchidae em comparação com as outras famílias no sistema FrAre CE. O sistema Fr CG caracterizou-se por apresentar a maior abundância de Rabbididae em relação aos demais sistemas. Neste sistema a família Acrobelidae foi a segunda em abundância.

Entre os sistemas sobre solo franco-argiloso e argiloso, o sistema Fr Arg CIC apresentou o maior número de famílias e mostrou a maior abundância relativa das famílias Rabbididae, Criconematidae e Dorilaimidae em comparação aos outros sistemas sobre textura fina. Os demais sistemas apresentaram uma estrutura similar, destacando-se no sistema FrArg CBA, alta abundância da família Hoplolaimidae (Gênero *Helicotilenchus*).

Os nematóides rabbidóides tem sido relatados como abundantes nos sistemas com altas deposições de resíduos orgânicos, sendo considerados colonizadores oportunistas, devido à alta taxa reprodutiva e rápido crescimento da população, na presença de matéria orgânica (WASILEWSKA, 1998). YATES (2003) menciona que dentro dos bacteriófagos, os grupos taxonômicos dominantes pertencem às famílias Cephalobidae, Rabbididae e Plectidae. Os integrantes da família Cephalobidae mostram-se abundantes em todos os tipos de solo, os Rabbididae respondem rapidamente ao incremento nos recursos orgânicos, e os Plectidae encontram-se em maior número sob condições de estresse ou degradação do solo. A proporção destes grupos depende da disponibilidade dos recursos e de outros fatores, tais como presença de metais pesados, textura e tipo de solo, umidade e estado sucessional do ecossistema.

A Tabela 16 mostra a abundância relativa dos grupos tróficos e os índices de diversidade e dominância trófica (FRECKMAN & ETTEMA, 1993), de acordo com os hábitos alimentares das famílias de nematóides identificadas (YEATES et al. 1993).

Tabela 16. Abundância relativa de grupos tróficos e índices de diversidade e dominância trófica das famílias de nematóides

Grupos funcionais	FrAre CE	FrAre CI	Fr CG	FrArg CIC	FrArg CBA	Arg CLArA	Arg CI	Arg CIB
	-----%-----							
Bacteriófagos	55,97	68,34	78,65	48,67	39,58	47,13	30,68	33,64
Herbívoros	9,81	6,38	5,00	27,55	40,92	22,92	26,69	24,53
Micófagos	18,22	16,38	3,80	8,36	12,43	17,52	25,30	20,60
Predadores	8,83	5,01	7,08	3,00	3,85	3,87	13,49	12,77
Onívoros	7,20	3,89	5,47	12,42	3,22	8,56	3,84	8,45
	Índices de Estrutura Trófica							
Diversidade	2,71	1,99	1,59	2,98	2,92	3,18	4,02	4,18
Dominância	0,37	0,50	0,63	0,34	0,34	0,31	0,25	0,24

Em negrito, os grupos com maior abundância e os maiores índices.

Observa-se que os nematóides bacteriófagos foram os mais abundantes em todos os sistemas. A maior abundância relativa de bacteriófagos foi observada no sistema FrCG, pela alta ocorrência de rabaditóides e acrobélóides, enquanto que a menor predominância deste grupo foi observado no sistema Arg CI. A presença abundante de bacteriófagos está relacionada com a decomposição da matéria orgânica. Um incremento na abundância deste grupo ocorre quando existem compostos de fácil decomposição e altas populações bacterianas que constituem o seu recurso alimentar (WASILEWSKA, 1998). Maior predominância de bacteriófagos foi encontrada por FIGUEIRA (2002) em sistemas sob manejo agroecológico, decorrente das adubações orgânicas e do manejo de resíduos nestes sistemas.

Os nematóides herbívoros, entre os quais se incluem alguns fitoparasitas, foram abundantes nos sistemas sobre solo argiloso e sobre solo franco-argiloso, tendo sobressaído entre eles os indivíduos da família Criconematidae e os dos gêneros *Helicotilenchus*, *Pratilenchus*, *Psilenchus* e *Tylenchus*. A maior proporção de nematóides herbívoros foi observado no sistema FrArg CBA, no qual registrou-se alta ocorrência de nematóides do gênero *Helicotilenchus*, especialmente durante a segunda amostragem.

Os micófagos estiveram presentes em todos os sistemas com predominância entre eles, dos nematóides dos gêneros *Aphelenchus* e *Aphelenchoides*. Os micófagos foram mais abundantes nos sistemas sobre solo argiloso e franco-arenoso, enquanto que a menor predominância se registrou no sistema Fr CG.

Os predadores, constituídos principalmente por membros da família Mononchidae e alguns dorilaimóides predadores, atingiram sua maior proporção nos sistemas Arg CI e Arg CIB. Estes não foram encontrados durante a segunda amostragem no sistema FrArg CBA. Os nematóides onívoros, representados por indivíduos do grupo Dorilaimidae, foram encontrados em maior abundância no sistema FrArg CIC.

Os sistemas sobre solo argiloso apresentaram os maiores índices de diversidade e os menores índices de dominância trófica sendo o contrário observado nos sistemas sobre solo franco e franco-arenoso, onde houve grande dominância de bacteriófagos.

3.2.3. Índices de diversidade de nematóides

Na Tabela 17 são apresentados os índices de riqueza de famílias, diversidade, uniformidade e dominância que caracterizaram as comunidades de nematóides em cada sistema.

Observa-se que a maior riqueza de famílias foi encontrada no sistema FrArg CIC, mas devido ao fato da comunidade ter apresentado alta abundância de rabaditóides, criconematóides e dorilaimóides, este sistema apresentou menor uniformidade na população (U), juntamente com o sistema Fr CG.

O sistema Arg CI caracterizou-se por apresentar o maior número de grupos igualmente abundantes. Neste sistema, observou-se também a maior diversidade (H), a maior uniformidade (U) e a menor dominância de grupos (D). Em geral, os sistemas sobre solo argiloso, por ter apresentado similaridade na abundância dos grupos taxonômicos (Tabela 16) apresentaram índices de diversidade muito semelhantes. Assim, a segunda maior riqueza de famílias, de grupos igualmente abundantes, o maior índice H e o menor índice D , foram encontrados no sistema Arg CI *Ara*.

No sistema Fr CG a maior abundância de nematóides bacteriófagos, rabaditóides e acrobélóides, refletiu nos menores índices de diversidade (H) e na maior dominância

(D). Este sistema também apresentou a menor riqueza de famílias e de grupos igualmente abundantes.

Tabela 17. Índices de diversidade das famílias de nematóides coletadas nos SAFs com café com base no total dos grupos identificados nas duas épocas de amostragens.

Sistemas Agroflorestais	Riqueza de Famílias	No. grupos igualmente abundantes	Índices de diversidade			
			Shannon <i>H</i>	Pielou <i>U</i>	Simpson <i>D</i>	Simpson <i>I-D</i>
FrAre CE	19	8,9	2,19	0,74	0,17	0,83
FrAre CI	21	8,4	2,13	0,70	0,20	0,80
Fr CG	18	5,7	1,73	0,60	0,32	0,68
FrArg CIC	22	7,2	1,97	0,64	0,22	0,78
FrArg CBA	20	10,9	2,39	0,80	0,12	0,88
Arg CL <i>Ara</i>	21	11,3	2,43	0,80	0,12	0,88
Arg CI	21	12,6	2,54	0,83	0,10	0,90
Arg CIB	18	9,6	2,26	0,78	0,13	0,87

Em negrito, os maiores índices.

3.3.Fungos Micorrízicos Arbusculares

O número de esporos de FMAs demonstrou diferenças entre os sistemas em cada época de amostragem, mas não houve efeito das épocas, nem da interação dos fatores. Na tabela 18 observam-se os resultados do número de esporos coletados em cada sistema.

Tabela 18. Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares nos SAFs com café, durante duas épocas de amostragem.

Sistemas Agroflorestais	Primeira amostragem Outubro-Novembro 2002	Segunda amostragem Maio - Junho 2003
	-----Número de esporos/100 ml de solo-----	
FrAre CE	79 c	70 c
FrAre CI	92 c	194 b
Fr CG	13 c	27 c
FrArg CIC	124 c	20 c
FrArg CBA	97 c	137 c
Arg CL <i>Ara</i>	1827 a*	915 a
Arg CI	229 b	183 b
Arg CIB	275 b	330 b

Médias com letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p = 0,05$). Asterisco (*) indica diferenças entre épocas de amostragem dentro do sistema.

O maior número de esporos, em ambas as épocas de amostragem, foi observado no sistema Arg CLAr, o que é explicável pela presença da cobertura de *Arachis pintoi* que favorece a multiplicação dos FMAs nas raízes da leguminosa. A ocorrência de um maior número de esporos neste sistema pode ser um indicador de alta atividade de FMAs, contribuindo para a absorção de fósforo num sistema que apresente baixa disponibilidade deste nutriente (ver Capítulo 2).

Nos demais sistemas, o número de esporos foi relativamente baixo quando comparado com os resultados encontrados nos demais sistemas de cultivo de café, (Capítulo IV e FONTANA et al., 2004). Estes resultados não necessariamente indicam baixa ocorrência de colonização micorrízica, embora este aspecto não tenha sido avaliado neste estudo.

Baixo número de esporos foi observado na cultura do café e em SAFs por MACEDO et al. (2004), em sistemas naturais de cerrado e mata ciliar por MELLONI et al. (2001), e em SAFs com diversas espécies de leguminosas arbóreas por INGLEBY et al. (1997). Entretanto, a ampla variação na colonização de diversas espécies vegetais (INGLEBY et al., 1997; DUPONNOIS et al., 2001; KOTTKE et al., 2004; PANDE & TARAFDAR, 2004) fazem supor que nos sistemas agroflorestais e naturais os principais meios de propagação dos FMAs sejam o micélio extraradical e as raízes micorrizadas, como mencionado por JASPER et al. (1989) e SYLVIA & JARSTFER (1992).

Em relação às espécies de FMAs presentes nos SAFs avaliados, foram identificadas oito espécies. A porcentagem de ocorrência destas espécies em relação ao total de amostras é apresentada na Tabela 19. O maior número de espécies (7) foi coletado no sistema Arg CLAr, pertencentes aos gêneros *Acaulospora* e *Glomus*. A menor ocorrência de espécies foi detectado no sistema Fr CG, no qual apenas a espécie *Glomus macrocarpum* foi recuperado nas amostras avaliadas. Possivelmente neste sistema, a aplicação de fertilizantes e pesticidas e a presença de apenas uma espécie arbórea sejam os fatores que influenciaram a baixa ocorrência de FMAs.

Tabela 19. Ocorrência relativa ao total de amostras das espécies de fungos micorrízicos arbusculares nos SAFs com café.

Espécies ⁽¹⁾	Sistemas agroflorestais								Ocorrência média
	FrAre CE	FrAre CI	Fr CG	FrArg CIC	FrArg CBA	Arg CLAr	Arg CI	Arg CIB	
	----- % -----								
<i>A. foveata</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0	3,1
<i>A. mellea</i>	37,5	37,5	0,0	62,5	31,3	43,8	25,0	37,5	34,4
<i>A. scrobiculata</i>	37,5	50,0	0,0	0,0	12,5	25,0	43,8	50,0	27,3
<i>Ar. leptoticha</i>	43,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5
<i>G. ambisporum</i>	0,0	25,0	0,0	50,0	31,3	56,3	0,0	18,8	22,7
<i>G. etunicatum</i>	0,0	0,0	0,0	31,3	0,0	56,3	37,5	0,0	15,6
<i>G. geosporum</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,5	0,0	0,0	4,7
<i>G. macrocarpum</i>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

⁽¹⁾ G.: *Glomus*; A.: *Acaulospora*; Ar.: *Archaeospora*; Gi.: *Gigaspora*; S.: *Scutellospora*.

Em cada um dos demais sistemas foram encontrados apenas quatro espécies. A espécie *Glomus macrocarpum* esteve presente em todas as amostras e foi seguida em abundância pela espécie *G. ambisporum* presente em cinco dos sistemas, mas não em todas as amostras. Entre as espécies de Acaulospora, *A. mellea* foi a de maior ocorrência seguida por *A. scrobiculata*, presente em seis sistemas avaliados. As espécies com menor frequência de ocorrência foram *Acaulospora foveata*, *Archaeospora leptoticha* e *Glomus geosporum*.

3.4. Agrupamento dos SAFs com Base nas Comunidades da Biota do Solo

Na Figura 14 mostra-se o agrupamento dos sistemas agroflorestais com base nas comunidades da mesofauna do solo, serapilheira, nematóides e fungos micorrízicos arbusculares identificadas.

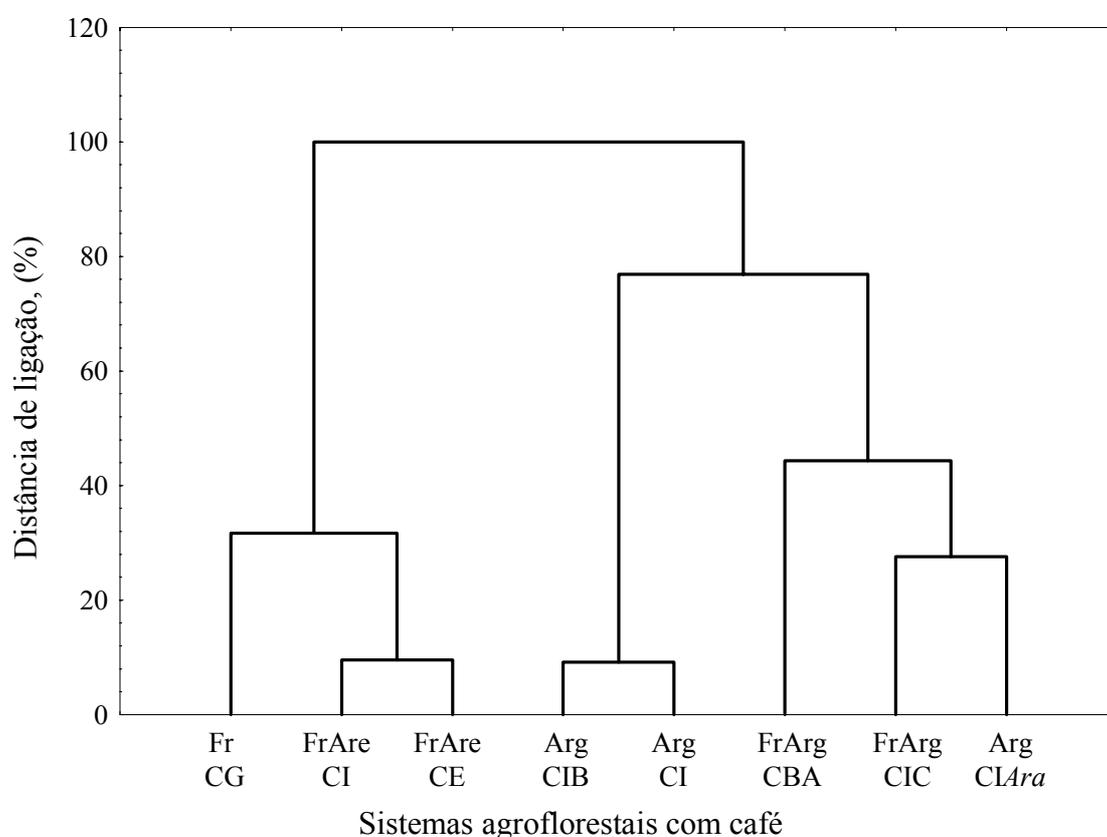


Figura 14. Agrupamento dos SAFs com café, com base nas comunidades da mesofauna do solo, serapilheira, nematóides e fungos micorrízicos arbusculares.

Os SAFs ordenaram-se em dois grupos que apresentaram 100 % de distância de ligação, evidenciando a influência da textura do solo, da composição vegetativa do sistema e do manejo, sobre as comunidades de organismos presentes. Assim, observa-se por um lado o agrupamento dos sistemas Fr CG, FrAre CE e FrAre CI, que além de terem similaridades quanto à textura do solo, se associam a uma única espécie arbórea e, além disso, são manejadas com maiores aportes de fertilizantes químicos e pesticidas do que os demais sistemas. Dentro deste grupo, os sistemas Fr Are CE e FrAre CI apresentaram entre si 90 % de similaridade e 70 % de similaridade entre eles e o sistema Fr CG.

No segundo grupo, os sistemas Arg CI e Arg CIB foram similares em 90 % entre si e separaram-se dos demais sistemas com 78 % de distância de ligação. Estes sistemas compartilham o mesmo tipo de solo, as mesmas condições de manejo, embora a estrutura vegetativa dos sistemas é diferente (Capítulo II). Os demais sistemas refletem também as propriedades do solo e do manejo sobre as comunidades de organismos do solo, o que se evidencia pelo agrupamento dos sistemas Arg *CI* e FrArg CIC, com 70 % de similaridade entre si. Estes sistemas apresentaram 55 % de similaridade com o sistema FrArg CBA.

Embora os sistemas representem diferentes manejos, a análise permitiu demonstrar que a manutenção da cobertura viva no sistema Arg *CI*, o manejo orgânico no sistema FrArg CIC e a pouca aplicação de fertilizantes químicos e pesticidas no sistema FrArg CBA, promoveram similaridades na estrutura de comunidades de organismos do solo nestes SAFs, sendo menos importante o tipo de solo e as condições climáticas, já que o sistema Arg *CI* se distanciou dos demais sistemas sobre solo argiloso.

4. CONCLUSÕES

1. As populações da mesofauna do solo foram mais abundantes nos sistemas sobre solo franco argiloso e argiloso, possivelmente favorecidas pelas melhores condições de qualidade do solo observados nestes sistemas.
2. A mesofauna mostrou-se sensível para detetar mudanças sazonais especialmente no sistema Arg CLara, cuja abundância de organismo foi significativamente mais alta ao final da estação chuvosa, estando relacionada ao desenvolvimento da cobertura de *Arachis pintoi*.
3. Nos sistemas sobre solo franco e franco-arenoso a mesofauna ocupou principalmente a serapilheira possivelmente pelas maiores reservas de umidade no material orgânico.
4. Nos sistemas sobre solo franco arenoso a menor abundância de organismos esta relacionado com as menores reservas orgânicas no solo destes sistemas.
5. Acari, Collembola e Formicidae foram os grupos taxonômicos da mesofauna de maior ocorrência. Dentro dos grupos funcionais os holometábolos, sociais e micófagos se destacaram como predominantes em todos os sistemas.
6. Os nematóides foram sensivelmente afetados pelo tipo de solo e pelas variações sazonais, tendo-se registrado a maior abundância deles nos sistemas desenvolvidos sobre solo argiloso, no final da estação chuvosa.
7. Os nematóides bacteriófagos foram os mais abundantes em todos SAFs, e dentro deles, os representantes da família Rabdítidae dominaram as comunidades, estimulados pela deposição de resíduos frescos e pela alta população bacteriana presente nestes sistemas.
8. Maiores índices de diversidade e menores índices de dominância trófica foram estimados nos sistemas sobre solo argiloso, indicando maior equilíbrio dos grupos funcionais de nematóides.
9. O maior número de esporos de FMAs encontrado no sistema Arg CLara demonstra os benefícios da cobertura de *Arachis pintoi* na multiplicação destes organismos, o que pode favorecer a absorção de nutrientes nos cafeeiros.
10. A textura do solo, a estrutura vegetativa e o manejo dos sistemas influenciaram a estrutura da comunidade da mesofauna do solo, serapilheira, nematóides e FMAs.
10. A análise de agrupamento permitiu ordenar os sistemas com base nas similaridades e diferenças entre as comunidades dos organismos do solo.

CAPÍTULO IV
RELAÇÕES ENTRE OS INDICADORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS
DA QUALIDADE DO SOLO NOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS
COM CAFÉ

RESUMO

Com o objetivo de avaliar diferenças na qualidade do solo nos SAFs com café, avaliados nos Capítulos anteriores, foi realizada análise multivariada de Componentes Principais levando em consideração vários indicadores de qualidade do solo. Na análise foram incluídas características relacionadas à composição vegetativa dos sistemas, como também, propriedades físicas, químicas e biológicas do solo previamente discutidas nos capítulos anteriores, sendo realizada a análise separadamente para cada época de amostragem. A análise dos Componentes Principais permitiu o ordenamento dos sistemas agrupando os que apresentam similares propriedades indicadoras de qualidade e sustentabilidade. Assim, os sistemas FrAre CE e FrAre CI apresentaram similaridade entre eles, formando um grupo. Um segundo grupo foi formado pelos sistemas Arg CI e Arg CIB, e um terceiro grupo pelos sistemas FrArg CBA e Fr CG. Os sistemas Arg CI*Ara* e FrArg CIC, localizaram-se separadamente no eixo de coordenadas dos componentes principais, evidenciando que as condições de manejo destes sistemas influenciaram as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e determinaram um diferente nível de funcionalidade e sustentabilidade quando comparados aos demais sistemas. A comparação da análise realizada entre as duas épocas de amostragem também evidenciou pouca variabilidade no comportamento dos sistemas demonstrando sua estabilidade com relação a sazonalidade.

Palavras chave: análise de componentes principais, interações organismos – solo, estabilidade de agroecossistemas.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate differences on soil quality at coffee agroforestry systems studied in previous Chapters. It was carried out a multivariate analysis of Principal Components considering several soil quality indicators. Variables included in the analyses were related to vegetative composition of agroforestry systems, as well as, soil physical, chemical and biological properties, previously discussed in chapter I to III. Analyses were conducted into two dates of samplings separately. The Principal Component Analyzes permitted to order systems by grouping them according similar quality and sustainability indicators. FrAre CE e FrAre CI systems presented similarity between them, forming a group. A second group with Arg CI e Arg CIB systems and a third, with FrArg CBA e Fr CG, were formed. Arg CLara e FrArg CIC systems were located separately on principal components coordinate axis, showing that management conditions in these systems had a major influence on status of soil physical, chemical and biological properties, and determine different level of functionality and sustainability, as compared to the other systems. Comparing analyzes from two sampling dates evidenced few variability on systems behavior showing their stability related to seasonality.

Key words: principal components analyses, organisms – soil interactions, agroeco-systems stability.

1. INTRODUÇÃO

Nas atuais condições de degradação dos recursos naturais ocasionada pela agricultura intensiva, torna-se preciso compreender e aprimorar o manejo de áreas que ainda são utilizadas menos intensivamente, as quais contribuem com a conservação da qualidade ambiental, de modo a conseguir uma utilização mais racional dos recursos naturais. Para isso é necessário melhorar o entendimento das relações que surgem entre os componentes bióticos e abióticos dos ecossistemas, no presente caso, dos sistemas agroflorestais com café. A manipulação desses componentes e de suas relações através das práticas de manejo tem como objetivo promover a qualidade do solo e incrementar a produtividade dos cafeeiros, como também, teria a intenção de que os SAFs atuem como unidades de conservação da biodiversidade (PERFECTO et al., 1996) e de seqüestro de carbono atmosférico (INGRAM & FERNANDES, 2001; OELBERMANN et al., 2004b).

É sabido que o nível de matéria orgânica em qualquer ecossistema é condicionado pela interação entre os fatores que determinam sua formação e entre aqueles que promovem sua decomposição (NYE & GREENLAND, 1964, citados por FERNÁNDES et al., 1997). Portanto, incrementos na matéria orgânica do solo podem ser obtidos mediante a manipulação dos elementos do sistema que favoreçam os processos de síntese, ciclagem e estabilização da matéria orgânica, e de estratégias de manejo que permitam reduzir as saídas destes compostos do sistema.

Nos SAFs estudados foi observado que diferentes propriedades utilizadas para estimar a qualidade do solo foram muito influenciadas pelas propriedades inerentes do solo (Capítulos I, II e III). A abundante deposição de resíduos em sistemas desenvolvidos sobre solo franco-arenoso não promoveu o carbono orgânico e nem a abundância e diversidade de organismos do solo, em comparação com os demais sistemas avaliados. Assim a condição física destes solos limita a retenção de umidade, afetando o desenvolvimento de uma biota ativa e diversa e do processo de estabilização do carbono orgânico no solo.

Entretanto, há a necessidade de se entender os processos e as relações que surgem entre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, verificando-se entre as variáveis estudadas aquelas que mais contribuíram sobre a variação geral dos SAFs com café. Para isto, pode-se utilizar a ferramenta estatística de Análise de Componentes Principais (ACP) (MANLAY et al., 2000).

A ACP tem como objetivo examinar as correlações entre as variáveis e reduzir o efeito de um grande número delas para um reduzido número de combinações lineares que mais contribuem para a variação geral (STATSOFT, 1997). Nesta análise cada componente é constituído pela combinação linear das variáveis originais, com a capacidade de reter a maior variância. Na ACP as variâncias extraídas por cada componente são chamadas de autovalores. Um autovalor expressa a contribuição de cada componente (em porcentagem), na variância total. Geralmente os primeiros dois ou três autovalores expressam a maior parte da variância total, permitindo reter apenas os primeiros dois ou três autovalores ou componentes principais (CPs) com o qual também se facilita sua representação gráfica. (STATSOFT, 1997; GOMES et al., 2004).

Este estudo teve, portanto, o objetivo de verificar as relações entre as variáveis estudadas nos Capítulos I, II e III através da Análise de Componentes Principais, buscando um ordenamento dos SAFs estudados com base nas características indicadoras da qualidade do solo que refletem seu nível de sustentabilidade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Na Análise de Componentes Principais foram avaliados oito tratamentos que representam os SAFs com café e 28 propriedades do solo e vegetação estudadas nos Capítulos I, II e III. Os SAFs, descritos no capítulo I, são os seguintes:

Sobre solo Franco Arenoso:

- 1) FrAre CE: Café – Eritrina
- 2) FrAre CI: Café – Ingazeiros

Sobre solo Franco

- 3) Fr CG: Café – Grevíleas

Sobre solo Franco Argiloso:

- 4) FrArg CIC: Café – Ingazeiros – Cuernavaca, com manejo orgânico
- 5) FrArg CBA: Café – Bananeiras – Diversas arbóreas

Sobre solo Argiloso:

- 6) Arg CI*Ara*: Café – Ingazeiros e cobertura de solo com *Arachis pintoi*
- 7) Arg CI: Café – Ingazeiros
- 8) Arg CIB: Café – Ingazeiros – Bananeiras

As 28 variáveis de solo e da vegetação incluídas na análise foram: número de espécies arbóreas no SAF, número de árvores na parcela avaliada, porcentagem de cobertura arbórea, qualidade do solo, densidade do solo (kg m^{-3}), teor de argila (g kg^{-1}), pH, carbono humificado (g kg^{-1}), frações de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas (g kg^{-1}), teores do carbono orgânico e nitrogênio (g kg^{-1}), fósforo ($\mu\text{g ml}^{-1}$), potássio, cálcio e magnésio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), relação carbono:nitrogênio, biomassa microbiana ($\mu\text{g C-BMS g}^{-1}$), quociente microbiano (%), respiração do solo ($\mu\text{g de CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$), quociente metabólico ($\mu\text{g de CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mg C-BMS}^{-1}$), massa seca e nitrogênio da serapilheira (g m^{-2}), mesofauna do solo e da serapilheira (indivíduos m^{-2}), nematóides (indivíduos em 200 g de solo) e esporos de FMAs (número em 100 ml de solo).

A análise foi realizada separadamente para as duas épocas de amostragem, utilizando-se o valor médio obtido para cada variável. A ACP foi baseada na matriz de correlação dessas variáveis e nos escores dos dois componentes principais (CPs), utilizando o programa estatístico SAEG 8.X (2001), sendo os dois primeiros CPs (CP1 e CP2) representados pelos eixos x e y do gráfico de coordenadas, respectivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 20 mostram-se os coeficientes de correlação entre as variáveis analisadas e os três primeiros componentes principais, CP1, CP2 e CP3, obtidos na ACP nas duas épocas de amostragem.

Observa-se que os três primeiros componentes principais permitiram explicar 74,6 % da variância total contida nas 28 variáveis originais para a primeira época de amostragem e 81,3 % na segunda época. A alta percentagem obtida em cada amostragem permitiu demonstrar a viabilidade do método para o agrupamento dos sistemas avaliados e permitiu situar a contribuição de cada variável no entendimento geral nos sistemas.

Para a primeira época de amostragem os CPs explicaram 38,4; 25,2 e 11,0 % da variância total. Na segunda época os CPs explicaram 40,9; 27,4 e 13,0 % da variância total contida nas 28 variáveis. Quanto maior o valor absoluto do coeficiente de correlação, maior será a contribuição da variável para a formação do componente principal, assim as variáveis cujo coeficiente de correlação aparecem em negrito na tabela são as que mais contribuem para o respectivo valor do componente.

Na primeira época de amostragem, as variáveis que apresentaram valores absolutos mais altos de coeficiente de correlação com o primeiro componente principal (CP1) foram, em ordem decrescente: teores de magnésio e cálcio, argila, respiração do solo, nematóides, nitrogênio do solo, fauna do solo, pH, carbono humificado, huminas, quociente microbiano, esporos de FMAs e carbono orgânico total, com coeficientes de correlação que se situaram entre 0,91 a 0,70.

As maiores contribuições para o segundo componente (CP2) foram das variáveis número de árvores por parcela, biomassa microbiana, teor de fósforo, densidade do solo e qualidade do solo com coeficientes de correlação entre 0,92 a 0,69. O terceiro componente (CP3) apresentou a mais alta correlação com as variáveis, massa seca e nitrogênio da serapilheira (0,81 e 0,89, respectivamente).

Na segunda amostragem, as variáveis que apresentaram a maior contribuição com o CP1 foram, em ordem decrescente, cálcio, biomassa microbiana, massa seca da serapilheira, nitrogênio do solo, nematóides, carbono humificado, carbono orgânico total, magnésio, argila, quociente metabólico, nitrogênio da serapilheira e fração huminas, com coeficientes de correlação entre 0,97 a 0,66.

As maiores contribuições para o segundo componente (CP2) foram das variáveis número de árvores por parcela, respiração do solo, fósforo, densidade do solo, ácidos fúlvicos e pH com coeficientes de correlação de 0,91 a 0,63, respectivamente. Já as variáveis que mais contribuíram para o terceiro componente principal (CP3) foram biomassa microbiana, espécies de árvores, fósforo e potássio, com coeficientes entre 0,82 a 0,63.

Tabela 20. Coeficientes de correlação linear entre as variáveis e os três primeiros componentes principais, porcentagem da variância e variância acumulada retida pelos componentes na ACP realizada nos SAFs com café, nas duas épocas de amostragem.

Variáveis	Primeira Amostragem (Outubro – novembro, 2002)			Segunda amostragem (Maio – junho, 2003)		
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
No. Espécies de árvores	0,196	0,158	0,067	0,351	0,124	-0,700
Número de árvores	-0,084	0,922	-0,060	0,152	0,915	-0,200
Cobertura arbórea (%)	0,440	0,209	-0,087	0,397	0,051	0,453
Qualidade do solo	0,254	0,689	-0,034	0,308	0,570	0,456
Densidade do solo (kg m ³)	0,461	-0,710	0,481	0,232	-0,858	-0,199
Argila (g kg ⁻¹)	0,880	-0,243	0,011	0,837	-0,449	-0,248
Ph	-0,756	0,507	0,051	-0,583	0,633	-0,328
C humificado (g kg ⁻¹)	0,747	0,630	-0,064	0,879	0,455	-0,056
Ácidos húmicos (g kg ⁻¹)	0,603	-0,477	-0,102	-0,659	-0,352	-0,088
Ácidos fúlvicos (g kg ⁻¹)	0,400	0,253	-0,340	-0,214	0,812	-0,410
Huminas (g kg ⁻¹)	0,743	-0,175	-0,091	0,662	-0,274	0,347
Fósforo (µ ml ⁻¹)	0,436	0,825	0,210	-0,290	0,878	-0,662
Potássio (cm _c dm ⁻³)	0,358	-0,569	-0,582	0,251	-0,561	0,631
Cálcio (cm _c dm ⁻³)	0,897	0,278	-0,008	0,970	0,068	-0,224
Magnésio (cm _c dm ⁻³)	0,912	-0,316	-0,119	0,841	-0,509	0,045
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	0,700	0,659	-0,155	0,861	0,446	0,174
Nitrogênio no solo (g kg ⁻¹)	0,828	0,437	0,107	0,889	0,364	-0,19
Relação C:N	0,121	0,472	-0,548	0,200	0,294	0,823
C-BMS (µg C-BMS g ⁻¹)	0,421	0,877	0,070	0,967	0,03	-0,191
Quociente microbiano (%)	-0,730	0,008	0,358	-0,603	-0,557	-0,505
Respiração do solo (µg de CO ₂ g ⁻¹ h ⁻¹)	0,856	0,400	0,204	-0,203	0,902	0,300
Quociente metabólico (µg de CO ₂ g ⁻¹ h ⁻¹ mg C-BMS ⁻¹)	0,621	-0,552	0,049	-0,763	0,527	0,361
Massa seca serapilheira (g m ²)	-0,227	-0,099	0,808	-0,923	-0,142	0,030
Nitrogênio serapilheira (g m ²)	-0,050	-0,132	0,892	-0,715	-0,098	-0,105
Mesofauna do solo (Indivíduos m ⁻²)	0,801	0,214	0,355	0,576	0,524	-0,550
Mesofauna serapilheira (Indivíduos m ⁻²)	0,594	-0,003	0,386	0,493	0,548	0,305
Nematóides (Indivíduos em 200 g)	0,846	-0,409	0,008	0,884	0,000	-0,223
Esporos de FMAs (Número em 50 ml)	0,714	-0,135	0,322	0,510	-0,545	0,159
% Variância	0,384	0,252	0,110	0,409	0,274	0,130
% Variância acumulada	0,384	0,636	0,746	0,409	0,683	0,813

Em negrito se destacam os valores mais altos de correlação linear.

Na Tabela 21 mostram-se os valores (autovalores) de cada componente principal para os sistemas avaliados. Estes valores foram ordenados do maior para o menor, o que resulta na ordenação decrescente dos sistemas para a disponibilidade das variáveis de solo que apresentaram os maiores valores de correlação com o CP1 e o CP2.

Tabela 21. Valores dos dois primeiros componentes principais para os SAFs com café obtidos nas duas épocas de amostragem.

Sistemas Agroflorestais	Primeira Amostragem (Outubro – novembro, 2002)		Segunda amostragem (Maio – junho, 2003)	
	CP1	CP2	CP1	CP2
FrAre CE	-4,499 (8)	-1,158 (5)	-4,672 (7)	-0,522 (4)
FrAre CI	-4,110 (7)	-1,325 (6)	-5,396 (8)	-0,870 (5)
Fr CG	-0,696 (5)	1,198 (2)	-0,273 (6)	2,192 (2)
Fr Arg CIC	0,522 (4)	5,816 (1)	2,026 (2)	5,574 (1)
FrArg CBA	-0,761 (6)	-0,526 (3)	0,313 (5)	0,613 (3)
Arg CLara	5,260 (1)	-0,531 (4)	4,235 (1)	-2,074 (6)
Arg CI	2,092 (3)	-2,592 (8)	1,844 (4)	-2,536 (8)
Arg CIB	2,193 (2)	-1,932 (7)	1,922 (3)	-2,376 (7)

Entre parênteses a ordenação decrescente dos valores.

Deste modo, na primeira amostragem os sistemas que se destacaram com a maior disponibilidade das variáveis que mais contribuíram para o CP1 foram os sistemas desenvolvidos sobre solo argiloso e os que apresentam a menor disponibilidade foram os sistemas sobre solo franco arenoso, ocupando os restantes sistemas uma posição intermediária. Em relação ao CP2, os sistemas FrArg CIC e Fr CG apresentaram a maior disponibilidade das variáveis com os maiores valores de correlação com o CP2.

Na segunda amostragem, os sistemas Arg CLara, FrArg CIC e Arg CIB apresentaram a maior disponibilidade das variáveis com maior correlação com o CP1 e os sistemas sobre solo franco arenoso continuaram apresentando a menor disponibilidade. A influência das variáveis do CP2 nos sistemas foi similar à obtida na primeira amostragem.

Na Figura 15 se mostra o plano de correlação entre as variáveis e os dois primeiros CPs obtido na análise da primeira época de amostragem.

Das variáveis que apresentaram a maior contribuição para a formação do CP1, a maioria se situou nas coordenadas positivas do eixo x sendo exceção o pH e o quociente microbiano que apresentaram coeficientes negativos. Outras variáveis com menor contribuição para este componente que também se situaram na coordenada negativa do eixo x foram número de árvores, massa seca e nitrogênio da serapilheira. Das variáveis que mais contribuíram para a formação do segundo componente, a densidade do solo situou-se na coordenada negativa do eixo y . Observa-se que a maior parte das variáveis se situaram na coordenada positiva do eixo x .

Na Figura 16 mostra-se o plano de localização dos SAFs avaliados, conforme os valores dos dois primeiros CPs para a primeira amostragem. O ordenamento dos sistemas nas coordenadas dos eixos x e y denota a influência da posição das variáveis mostradas na Figura 15.

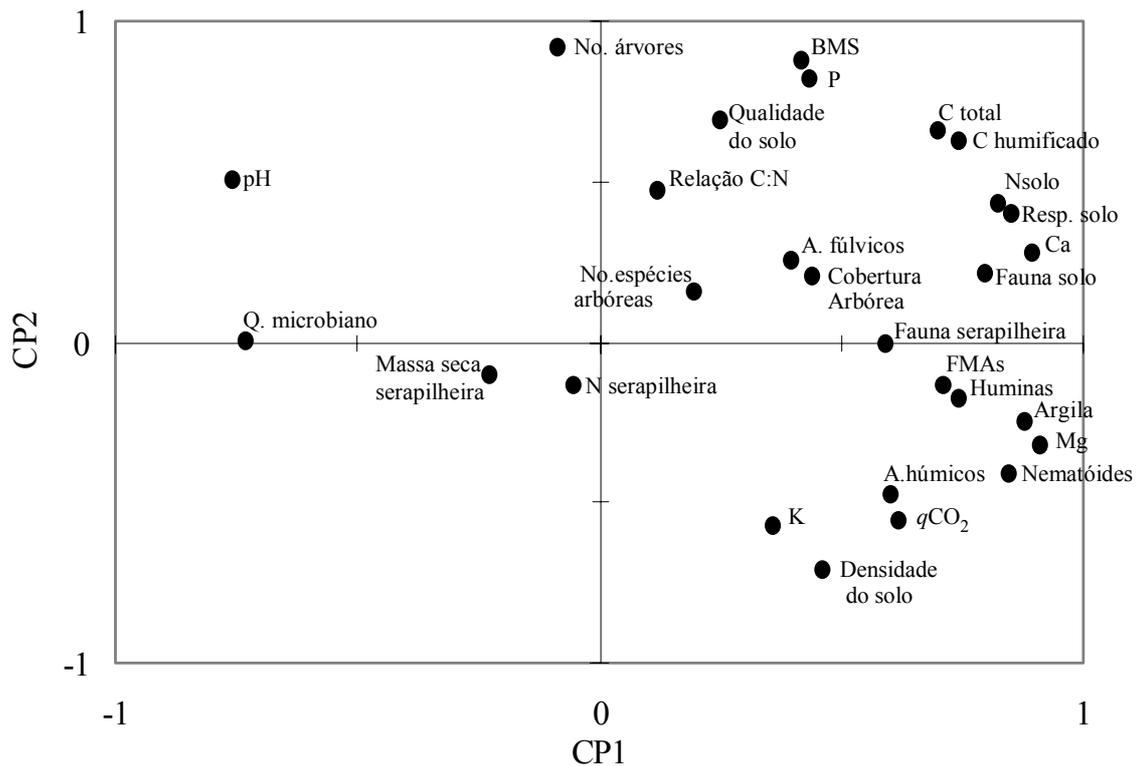


Figura 15. Plano das correlações entre as variáveis de solo e os eixos dos dois primeiros componentes principais para a amostragem realizada no final do período chuvoso (outubro – novembro, 2002).

A posição dos sistemas FrAre CE e FrAre CI na coordenada negativa dos eixos x e y está relacionado com o menor valor das variáveis que apresentaram a maior contribuição para o CP1 e o valor intermediário das variáveis que mais contribuíram para o CP2 obtido para estes sistemas (Tabela 21). Isto significa que nestes sistemas, os teores de magnésio, cálcio e argila, respiração do solo, nematóides, nitrogênio do solo, fauna do solo, pH, carbono humificado, huminas, quociente microbiano, esporos de FMAs e carbono orgânico total, como também o número de árvores, a qualidade do solo, o teor de fósforo e a biomassa microbiana apresentaram menores valores nestes sistemas. Entretanto, a posição destes sistemas à esquerda do gráfico permite inferir que tanto a massa seca quanto o teor de nitrogênio da serapilheira influenciam sobremaneira o comportamento destes sistemas desde que apresentaram altos valores, tanto na primeira como na segunda amostragem. Como foi discutido no Capítulo II, estes sistemas acumulam as maiores quantidades dos resíduos arbóreos sobre o solo, mas, por causa dos baixos teores de argila, é possível que grande parte do carbono orgânico e dos nutrientes mineralizados sejam perdidos através da drenagem. A pouca capacidade de retenção de nutrientes e da água, seriam os principais fatores que estariam afetando as comunidades de organismos decompositores, refletindo-se na menor taxa de humificação da matéria orgânica, e, por conseguinte, menor teor de huminas e de carbono humificado.

Ao contrário, a posição dos sistemas sobre solo argiloso à direita da Figura 16 esta relacionado aos maiores valores que apresentaram as variáveis com maior contribuição para o CP1. Assim, estes sistemas caracterizaram-se por apresentar os maiores teores de argila, cálcio, magnésio, carbono orgânico, nitrogênio e carbono humificado, como também maior número de organismos do solo e atividade microbiana

do que o observado nos outros sistemas. As variáveis que mais contribuíram para o CP2 apresentaram menores valores nos sistemas Arg CI e Arg CIB, sendo estas, número de árvores, qualidade do solo, densidade do solo, teor de fósforo e biomassa microbiana.

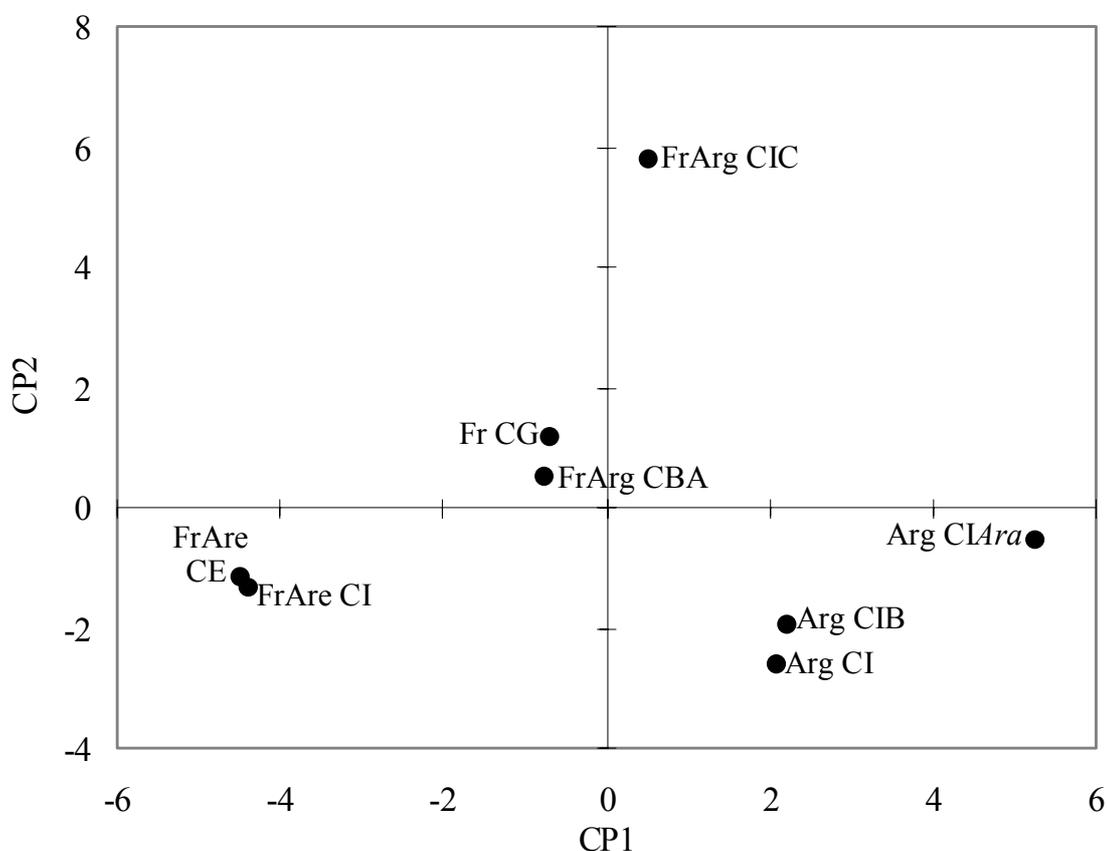


Figura 16. Análise de componentes Principais (ACP). Plano de localização dos sistemas agroflorestais com café avaliados durante a amostragem realizada no final da estação chuvosa (outubro – novembro, 2002).

O sistema Arg CLara apresentou altos teores de argila, carbono humificado, carbono orgânico, cálcio, magnésio e nitrogênio do solo, biomassa microbiana, mesofauna, nematóides e esporos de fungos micorrízicos arbusculares, muitos destes estimulados pela cobertura viva do *Arachis pintoi*. Por esta razão este sistema é localizado no extremo direito da Figura 16 coincidindo com a posição das variáveis mencionadas, no mesmo extremo da Figura 15.

As variáveis que mais contribuíram para o CP1 apresentaram altos valores no sistema FrArg CIC. Assim, neste sistema foi encontrado alto teor de carbono orgânico e nitrogênio do solo, altas populações de organismos e de atividade microbiana. A importância de todas estas variáveis do solo é consequência do manejo orgânico como também do maior número de árvores contribuindo com alta deposição de resíduos, que a sua vez, favorece a população microbiana e sua atividade como a dos integrantes da mesofauna do solo. As variáveis com maior contribuição para o CP2 apresentaram valores intermediários para o sistema Arg CLara, Fr CG e FrArg CBA e apresentaram os maiores valores no sistema Fr Arg CIC. Efetivamente, este último sistema caracterizou-se por apresentar a maior qualidade do solo, a maior densidade de árvores, altos teores de fósforo e biomassa microbiana, e junto aos sistemas Fr CG e FrArg CBA apresentou as melhores condições físicas de solo expressas pela densidade do solo.

Na Figura 17 mostra-se o plano de correlação entre as variáveis e os dois primeiros CPs obtido na análise da segunda época de amostragem. Ao igual que para a primeira amostragem a maior parte das variáveis que apresentaram alta contribuição para a formação do CP1, situou-se nas coordenadas positivas do eixo x sendo exceção a massa seca e o teor de nitrogênio da serapilheira, os quocientes metabólico e microbiano, e a fração dos ácidos húmicos. Outras variáveis com menor contribuição para este componente que também se situaram na coordenada negativa do eixo x foram o pH, a fração dos ácidos fúlvicos, o teor de fósforo e a respiração do solo.

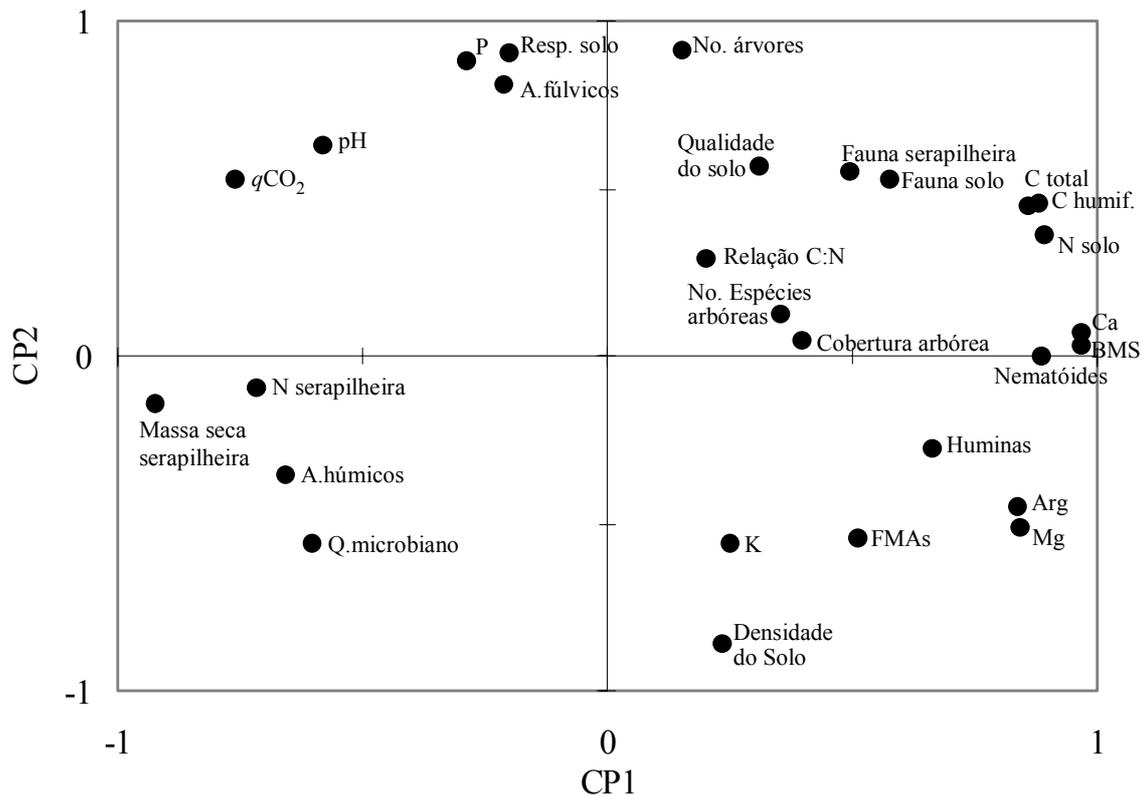


Figura 17. Plano das correlações entre as variáveis de solo e os eixos dos dois primeiros componentes principais para a amostragem realizada no início do período chuvoso (maio – junho, 2003).

Entre as variáveis que mais contribuíram para o segundo componente, a densidade do solo situou-se na coordenada negativa do eixo y , como também o teor de argila, a fração dos ácidos húmicos, huminas, teor de potássio, magnésio, quociente microbiano, massa seca e nitrogênio da serapilheira e número de esporos de FMAs, estas últimas com menor contribuição para a formação do CP2. Tal como na primeira amostragem a maior parte das variáveis se situaram na coordenada positiva do eixo x .

Na Figura 18 apresenta-se a posição dos SAFs para a segunda época de amostragem. Os sistemas Arg CLara e FrArg CIC foram posicionados a direita da figura indicando que estes sistemas apresentaram altos valores das variáveis que mais contribuíram com o CP1. Como foi observado na primeira amostragem, os sistemas sobre solo franco arenoso, apresentaram baixos valores das variáveis com maior disponibilidade para o CP1, ou seja menor teor de argila, carbono humificado, huminas, cálcio, magnésio, nitrogênio do solo, biomassa microbiana e nematóides. Entretanto, a posição das variáveis massa seca e nitrogênio da serapilheira, a esquerda da Figura 17

coincide com a posição à esquerda da Figura 18 dos sistemas FrAre CE e FrAre CI, indicando os altos valores dessas variáveis nesses sistemas.

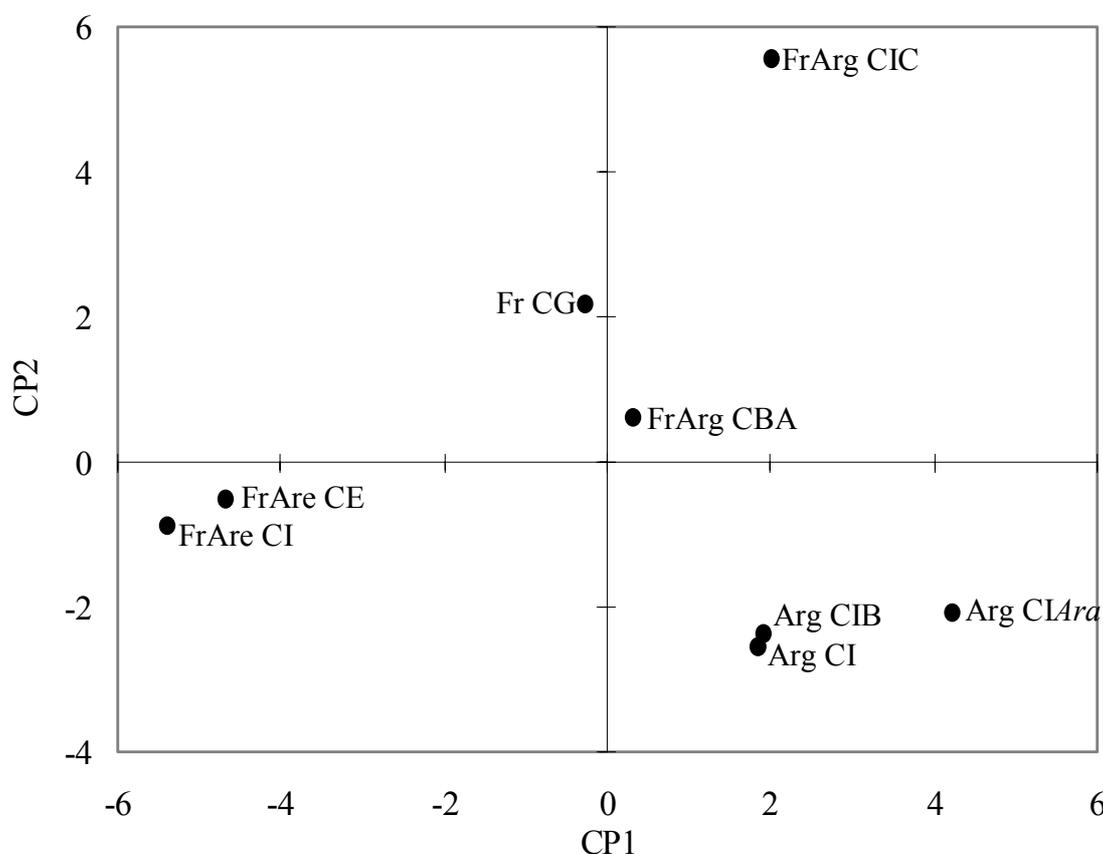


Figura 18. Análise de componentes Principais (ACP). Plano de localização dos sistemas agroflorestais avaliados durante a amostragem realizada no início da estação chuvosa (maio – junho, 2003).

Em termos gerais, o ordenamento dos sistemas no gráfico das coordenadas não variou substancialmente entre as épocas de amostragem, entretanto, foi observado que as maiores deposições da massa seca e nitrogênio da serapilheira e os maiores valores da biomassa microbiana registrados na segunda amostragem, passaram a se constituir em variáveis com maior influência na explicação da variação geral dos sistemas dentro da formação do CP1.

O similar comportamento na ordenação dos sistemas no gráfico de coordenadas reflete a estabilidade dos sistemas em relação a sazonalidade da amostragem, condição favorecida pelo manejo agroflorestal. Em ambas amostragens, o sistema FrArg CIC, manteve-se separado dos demais sistemas, refletindo a influência que o manejo orgânico tem sobre as diferentes variáveis indicadoras de qualidade do solo. De igual maneira, a separação do sistema Arg CLArA dos outros sistemas sobre solo argiloso, reflete a influência da cobertura viva do *Arachis pintoi*, que de forma contínua contribui com a deposição de resíduos (raízes e tecido verde senescentes) e de nitrogênio proveniente da fixação biológica, como também, favorece a diversidade dos organismos do solo e estimula a população de fungos micorrízicos arbusculares. A posição dos sistemas agroflorestais no gráfico de coordenadas também confirmou o ordenamento dos sistemas observado na análises de agrupamento baseado nos grupos taxonômicos de organismos do solo (Capítulo III, Figura 14).

4. CONCLUSÕES

1. As variáveis que expressam melhores condições de qualidade e fertilidade do solo apresentaram os maiores valores nos sistemas FrArg CIC e Arg CLara evidenciando os benefícios do manejo orgânico e da manutenção da cobertura viva de *Arachis pintoi* sobre tais propriedades.
2. A variação em resposta a sazonalidade determinou a formação de diferentes componentes principais em cada época de amostragem. Entretanto tal variação não modificou o agrupamento dos SAFs. Apesar do efeito da sazonalidade sobre as propriedades do solo, principalmente as biológicas, o manejo agroflorestal favorece a estabilidade de comportamento e funcionalidade dos agroecossistemas como um todo.
3. Os sistemas sobre solo franco arenoso apresentaram menores valores dos indicadores da fertilidade química e biológica do solo, sendo evidente sua maior dependência das contribuições de massa seca e nitrogênio da serapilheira para manter o funcionamento dos SAFs.
4. Confirmou-se que o manejo orgânico e práticas como a manutenção da cobertura viva de leguminosa estão relacionadas com maior atividade biológica do solo, decomposição, liberação de nutrientes e estabilização da matéria orgânica, sendo que a aplicação destas práticas podem contribuir para incrementar a qualidade do solo, a produtividade dos cafeeiros e a sustentabilidade dos SAFs.

CAPÍTULO V
OCORRÊNCIA DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CAFÉ SOB MANEJO
ORGÂNICO

RESUMO

Com o propósito de estudar a ocorrência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em sistemas de produção de café sob manejo orgânico, coletaram-se amostras de solo provenientes de três experimentos conduzidos pela Embrapa Agrobiologia. Dois experimentos situados na fazenda Santa Mônica, Distrito de Juparanã, Município de Valença, RJ, foram estabelecidos com o objetivo de avaliar a produtividade de seis cultivares de café cultivados sob manejo orgânico, solteiro ou consorciado com bananeiras. Em ambos os experimentos utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. Os cultivares avaliados foram Catuaí vermelho (IAC 144), Tupi (IAC 1669-33), Oeiras (MG 6851), Icatu amarelo (IAC 3282), Catucaí e Obatã (IAC 1669-20). As amostragens de solo para avaliar a ocorrência de FMAs foram realizadas em setembro de 2001 e maio de 2004. Uma terceira amostragem foi realizada em maio de 2002, e permitiu avaliar a ocorrência de FMAs em resposta a adubação verde com *Crotalaria juncea* no experimento onde o café foi plantado solteiro. Em cada amostragem foram também coletadas amostras de solo de áreas de mata nativa e capim napier, localizadas próximas à área experimental. Um terceiro experimento, localizado na Estação Experimental da Pesagro, em Paty de Alferes, RJ, também foi avaliado quanto a ocorrência de FMAs. O experimento foi estabelecido com o propósito de avaliar a influência de diferentes espaçamentos, da adubação verde e da associação com guandu (*Cajanus cajan*) sobre a produtividade dos cafeeiros sob manejo orgânico. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos avaliados foram: café estabelecido no espaçamento a 2,8 m x 1 m, sem plantio de guandu nas entrelinhas; café a 2,0 m x 1 m, com uma linha de guandu na entrelinha; café a 2,8 m x 1 m, com duas linhas de guandu; e café a 3,6 m x 1 m com três linhas de guandu. Também foram coletadas amostras em áreas de mata nativa e cultura de pimentão (*Capsicum annuum*), as quais serviram de testemunhas. As amostras coletadas foram processadas para a extração, a contagem e a identificação de espécies. Foi avaliada a ocorrência de gêneros e espécies de FMAs em todos os tratamentos e testemunhas dos três experimentos. Os resultados demonstraram alta ocorrência de esporos e de espécies de FMAs nos experimentos de café solteiro e associado com bananeira, na Fazenda Santa Mônica. Foi evidenciado que a mudança da comunidade vegetal de napier para cafeeiros ocasionou uma significativa redução no número e diversidade de espécies 40 meses após o plantio do café, como também mudanças na ocorrência de espécies. A adubação verde com crotalária não estimulou aumentos na esporulação das espécies de FMAs, embora maior número de espécies foram detectadas nas parcelas adubadas com a leguminosa. A associação dos cafeeiros com guandu estimulou maior número de esporos e de espécies de FMAs no tratamento com a maior densidade de leguminosa nas entrelinhas. Nos três experimentos foram coletadas um total de 30 espécies de FMAs com maior ocorrência de espécies dos gêneros *Glomus* e *Acaulospora*. Entre as espécies observou-se predominância *G. macrocarpum*, *A. mellea*, *G. ambysporum*, *G. geosporum*. Foi concluído que o plantio de leguminosas para adubação verde poderia minimizar os efeitos da mudança na vegetação dos ecossistemas e estimular a diversidade e capacidade de esporulação das espécies de FMAs.

Palavras chave: cafeeiros consorciados, diversidade de FMAs, adubação verde

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) species in coffee production systems with organic management. Soil samples were collected from three experiments conducted by Embrapa Agrobiologia. Two experiments, located in Santa Mônica Farm, at Juparanã, District Valença, Rio de Janeiro State, Brazil, were established with the objective to assess productivity of six coffee cultivars cultivated with organic management, in monoculture or associated with banana plants. A randomized block design with four replicates was used in both experiments. Coffee varieties were Catuaí vermelho (IAC 144), Tupi (IAC 1669-33), Oeiras (MG 6851), Icatu amarelo (IAC 3282), Catucaí and Obatã (IAC 1669-20). Soil sampling to assess occurrence of AMF were carried out on September 2001 and May 2004. A third soil sampling was done on May 2002 to assess AMF occurrence in response to green manuring with *Crotalaria juncea* in the coffee monoculture experiment. Soil samples of native forest and napier grass, located near experiments, were also collected in each sampling date. A third experiment, located in Estação Experimental da Pesagro, Paty de Alferes, RJ, was also evaluated for arbuscular micorrizal fungi occurrence. The experiment was established to assess the influence of spacing, green manure application and association with guandu (*Cajanus cajan*) on coffee productivity under organic management. A randomized block design with four replicates was used. Treatments to evaluate were: coffee plants on 2,8 m x 1 m spacing, without legume on interrows; one row of guandu between coffee plants planted on 2,0 m x 1 m; two row guandu between coffee plants on 2,8 m x 1 m spacing and three guandu rows between coffee plants on 3,6 m x 1 m spacing. Soil samples of native forest and pimentão culture were also collected. Collected samples were processed to extraction, counting and identification of AMF species. Occurrence of genera and species in all treatments and reference areas from three experiments were evaluated. Results showed high occurrence of AMF spores and species in experiments from coffee monoculture and consorciated with bananas, but it was detected a decrease on spore number and species diversity 40 months after planting coffee. Green manuring with crotalaria did not stimulate increase in esporulation of AMF species, however higher species number were collected from plots manured, suggesting that this practice could have a positive effect on AMF communities. Association of coffee and guandu stimulated higher spores number and species occurrence in plots with higher density of legume on coffee interrows. Thirty species of AMF were identified in the three experiments, with high occurrence of species from genera *Glomus* and *Acaulospora*. *G. macrocarpum*, *A. mellea*, *G. ambysporum* and *G. geosporum* were dominants. It was concluded that legume planting as green manure could minimize effects of vegetative change in ecosystems and stimulate diversity and sporulation capacity of AMF species.

Key words: associated coffee crop, AMF diversity, green manuring

1. INTRODUÇÃO

Das diferentes associações micorrízicas entre fungos e plantas que se estabelecem na natureza a associação do tipo "micorriza arbuscular" é a mais abundante nos ecossistemas terrestres (JOHANSSON et al., 2004). Ela tem um significado especial para a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas agrícolas e naturais devido ao papel desenvolvido por fungos e raízes na absorção de nutrientes.

As plantas superiores se beneficiam desta associação em uma diversidade de formas (SIQUEIRA & FRANCO, 1988). Os FMAs contribuem para o crescimento das plantas facilitando o fluxo dos nutrientes, desde os pontos menos acessíveis do solo até as raízes, por meio de complexos processos de transporte e transferência entre as células dos simbiossitos (GIANINAZZI PEARSON et al., 1996; HARRISON, 1997). Por outro lado, as hifas miceliais formam uma complexa rede que envolve as partículas de solo contribuindo para a formação de agregados estáveis que melhoram o intercâmbio gasoso e hídrico no solo (MILLER & JASTROW, 2000), favorecendo o desenvolvimento vegetal. As plantas superiores retribuem estes benefícios proporcionando aos FMAs parte do carbono fixado fotossinteticamente, estabelecendo-se uma relação simbiótica mutualista, que por sua eficiência e funcionalidade tem prevalecido durante milhões de anos (HODGE, 2000).

O papel dos FMAs, como facilitadores de absorção de nutrientes para plantas, tem conduzido a explorar as micorrizas arbusculares para melhorar a funcionalidade de sistemas agrícolas que se desenvolvem em solos de baixa fertilidade (MUNYANZIZA et al., 1997), assim como para recuperar ambientes naturais severamente degradados pela atividade humana (CUENCA et al., 1998). Nos sistemas agrícolas, o uso desta associação tem sido limitado pela dificuldade de produção de inoculantes em escala comercial. Entretanto, a produção de mudas micorrizadas de espécies arbóreas e de cultivos perenes é considerada uma prática viável e necessária para garantir sucesso no estabelecimento das plantações no campo (SAGGIN JÚNIOR, 1998). A utilização dos FMAs para este fim significa aprimorar o conhecimento sobre os diferentes padrões de comportamento entre espécies arbóreas e fúngicas, nas mais diversas condições edáficas, climáticas e de manejo dos sistemas. Assim, a identificação de espécies de FMAs presentes em um determinado local e o conhecimento de suas interações com as plantas é o primeiro passo para atingir o máximo benefício da associação (SIQUEIRA et al., 1989).

Nos sistemas de produção de café sob manejo orgânico, a utilização da associação micorrízica adquire uma importância ainda maior, por causa da dependência micorrízica que os cafeeiros apresentam na fase de mudas, e possivelmente também na fase adulta (SAGGIN JÚNIOR & SIQUEIRA, 1996). Assim, antes de explorar esta associação nos cafeeiros orgânicos deve-se fazer um levantamento das espécies presentes naturalmente nos cafezais sob este manejo. O levantamento de espécies de FMAs em cafezais orgânicos reveste-se de maior importância devido ao fato de que neste sistema de manejo os cafeeiros frequentemente estão associados a leguminosas para adubação verde. Isto pode aumentar ou diminuir a diversidade e as populações de FMAs no solo (COLOZZI FILHO & CARDOSO, 2000).

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados do levantamento de FMAs realizado em diferentes experimentos de café sob manejo orgânico, com objetivo de conhecer a ocorrência de espécies de FMAs e contribuir para o estudo da ecologia de populações destes organismos e de sua importância para os cafeeiros.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Experimentos 1 e 2: Ocorrência de Espécies de FMAs em Café Solteiro e Consorciado com Bananeiras sob Manejo Orgânico

2.1.1. Descrição da área

Uma área experimental de café sob manejo orgânico foi instalada em fevereiro de 2001 na Fazenda Santa Mônica, localizada no Vale do Paraíba, Distrito de Juparanã, Município de Valença, RJ. A área experimental apresenta menos de 5 % de declividade e acha-se situada a 22° 14' 44" de latitude Sul e 43° 42' 1" de longitude Oeste, a uma altitude aproximada de 608 metros. A precipitação e temperatura média anual são de 1280 mm e 25,5 °C, respectivamente (RICCI et al., 2002).

O solo apresenta textura franco-argilosa e no início dos experimentos apresentava as seguintes características químicas: pH = 5,3 (em solo:água 2:1); Al = 0,1 cmol_c dm⁻³; Ca = 1,8 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,7 cmol_c dm⁻³; P = 2,0 mg dm⁻³; K = 128 mg dm⁻³; C.O. = 13,5 g kg⁻¹; percentagem de saturação por bases (V%) = 56,5% (RICCI et al., 2002).

2.1.2. Estabelecimento e manejo dos experimentos

Na área experimental foram estabelecidos dois experimentos similares, com o objetivo de avaliar a resposta dos cultivares de café ao manejo orgânico, sendo que num deles o café foi plantado solteiro ou a pleno sol, e no outro, foi associado com bananeiras para sombreamento.

Os experimentos foram estabelecidos seguindo o delineamento em blocos ao acaso, com seis cultivares de café e quatro repetições. A unidade experimental foi uma parcela de 273 m², constituída por quatro linhas de cafeeiros dispostos em curvas de nível, no espaçamento 2,5 x 0,7 m (156 cafeeiros). No experimento onde o café foi consorciado com bananeiras, as mesmas foram plantadas nas entrelinhas do café no espaçamento de 3 m x 5 metros.

Os cultivares plantados foram Catuaí vermelho (IAC 144) - testemunha, não resistente à ferrugem, Tupi (IAC 1669-33), Oeiras (MG 6851), Icatu amarelo (IAC 3282), Catucaí e Obatã (IAC 1669-20), tidas como resistentes à ferrugem.

Antes de estabelecer os experimentos a área era cultivada com capim napier. O capim foi retirado, a área foi arada, gradeada e recebeu 0,5 T ha⁻¹ de calcário dolomítico (100 % de PRNT). A adubação inicial dos cafeeiros foi feita com 2,5 kg de esterco de gado e 300 g de termofosfato por cova. Após 40 dias, foi feita uma adubação de cobertura com 250 g de esterco de galinha por planta.

No experimento onde o café foi plantado a pleno sol ou solteiro avaliou-se o efeito da adubação verde com crotalária (*Crotalaria juncea*). Cada parcela foi dividida em duas subparcelas, sendo uma cultivada com a leguminosa e a outra permaneceu sem o adubo verde. Foram plantadas três linhas de crotalária nas entrelinhas dos cafeeiros, as quais foram cortadas 173 dias após do plantio.

2.1.3. Amostragem dos experimentos

Em setembro de 2001, antes do plantio da crotalária, foram coletadas amostras compostas de solo em cada parcela dos dois experimentos, para registrar a comunidade de FMAs no início do manejo orgânico, 8 meses após o plantio dos cafeeiros. Esta amostragem foi repetida 32 meses depois, ou seja, 40 meses após o estabelecimento dos experimentos, em maio de 2004.

Nas duas amostragens, as amostras compostas foram constituídas por seis subamostras retiradas na camada de 0-10 cm, a aproximadamente 30 cm de distância do caule dos cafeeiros, em pontos selecionados ao acaso dentro da área útil da parcela, sempre do lado superior da curva de nível. Também foram obtidas amostras de solo em áreas vizinhas de mata secundária e pastagem de napier, como testemunha.

No experimento de café solteiro, 22 dias após de ter sido cortada a crotalária, em maio de 2002, foi realizada uma amostragem de solo nas subparcelas com e sem adubação verde, coletando-se também amostras na área de mata secundária e de capim napier.

2.1.4. Processamento das amostras

Imediatamente após de cada amostragem, o solo foi processado para a extração dos esporos de FMAs. Para isso, o solo foi secado à sombra até peso constante e passado em peneira de 5 mm. Uma amostra de 50 ml foi utilizada para extrair os esporos pelo método de peneiramento úmido, conforme GERDEMANN E NICOLSON (1963), seguido de centrifugação em água e sacarose (JENKINS, 1964). Os esporos foram contados e posteriormente separados segundo tamanho e cor, montados em lâminas microscópicas e fixados com PVLG (polivinil álcool lactoglicerol) e com a mistura de PVLG e reagente de Melzer (1:1), para a sua posterior identificação. A identificação das espécies foi feita conforme SCHENCK E PÉREZ (1987) e INVAM (2001).

Os dois experimentos, café solteiro e café consorciado com bananeiras, foram analisados estatisticamente em separado. Os resultados de número de esporos foram transformados (raiz quadrada) e posteriormente submetidos à análise de variância, considerando o delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 8 x 2 (seis cultivares de café + duas áreas de referência e duas épocas de amostragens), com quatro repetições.

No experimento café solteiro foi realizada uma análise de variância adicional para avaliar o efeito da adubação verde em arranjo fatorial 6 x 2 com quatro repetições (seis cultivares de café, com e sem adubação verde). No caso de significância, aplicou-se o teste de Scott-Knott para a separação das médias. Em todos os casos foram calculadas as porcentagens de ocorrência de gêneros e espécies de FMAs em relação ao número total de amostras tomadas, bem como uma análise de agrupamento, com base na presença e ausência das espécies de FMAs identificadas.

2.2. Experimento 3: Ocorrência de Espécies de FMAs em Café Consorciado com Guandu sob Manejo Orgânico

2.1.2. Descrição da área e do experimento

Uma área experimental de café consorciado com guandu (*Cajanus cajan*), sob manejo orgânico, foi estabelecida em julho de 1999, na Estação Experimental da

Pesagro-Rio, localizada no Vale do Paraíba, Distrito de Avelar, Município de Paty do Alferes, RJ. A área experimental acha-se situada a 22° 14' 44" de latitude Sul e 43° 24' 17" de longitude Oeste, a uma altitude aproximada de 507 metros. A precipitação e temperatura média anual é de 1184 mm e 20,9 °C, respectivamente (RICCI et al., 2002).

O solo foi classificado como Argisolo Vermelho Amarelo e suas características químicas no início do experimento eram as seguintes: pH (em solo:água 2:1) 4,8; Al = 0,6 cmol_c dm⁻³, Ca = 1,4 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,8 cmol_c dm⁻³; P = 2 mg dm⁻³ e K = 36 mg dm⁻³. O solo teve acidez corrigida com 80 g de calcário dolomítico por cova (RICCI et al., 2002).

Este experimento tem como objetivo avaliar o efeito de espaçamentos e da adubação verde sobre a produtividade dos cafeeiros sob manejo orgânico. Utilizou-se café arábica, cultivar Catuaí amarelo e crotalária (*Crotalaria juncea*) como adubo verde, durante o verão. Após o corte da crotalária foi plantado o guandú (*Cajanus cajan*) como leguminosa bi-anual.

Antes da amostragem dos FMAs, o experimento possuía os seguintes tratamentos dispostos no delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições:

Tratamento 1: Café solteiro (Sem leguminosa), plantado no espaçamento 2,8 m x 1 m.

Tratamento 2: Café consorciado a uma linha de guandú; o café plantado a 2,0 m x 1 m;

Tratamento 3: Café + duas linhas de guandú; o café plantado a 2,8 m x 1 m;

Tratamento 4: Café + três linhas de guandú; o café plantado a 3,6 m x 1 m;

2.2.2. Amostragem, processamento e análise dos resultados

Em maio de 2002, aproximadamente seis meses após ter sido incorporada a poda do guandú foram coletadas amostras de solo na profundidade de 10 cm, proveniente de cada parcela, bem como das áreas vizinhas de mata nativa e cultivo de pimentão (*Capsicum annuum*) tomados como testemunhas.

As amostras foram processadas para a extração dos esporos de FMAs, que foram contados e montados em lâminas para observação microscópica e identificação das espécies, conforme descrito no item 7.2.1, inciso D. Os resultados de número de esporos foram transformados (raiz quadrada) e submetidos à análise de variância para delineamento em blocos ao acaso com seis tratamentos (quatro espaçamentos de plantio de café consorciados com adubo verde e duas áreas testemunhas), com quatro repetições. Para a separação das médias foi utilizado o teste de Scott Knott, sendo também calculada a porcentagem de ocorrência de gêneros e espécies. Com base na presença e ausência de espécies de FMAs foi realizada uma análise de agrupamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando-se todos os experimentos foram identificadas um total de 30 espécies de FMAs (Anexo 9), mostrando uma comunidade bastante diversificada. A seguir serão apresentados os resultados para cada experimento em separado.

3.1. Experimento de Café Solteiro sob Manejo Orgânico

A Figura 19 apresentam os resultados de número de esporos de FMAs nas parcelas de café solteiro e nas áreas vizinhas de napier e mata nativa, correspondentes às amostragens realizadas em setembro de 2001 e maio de 2004.

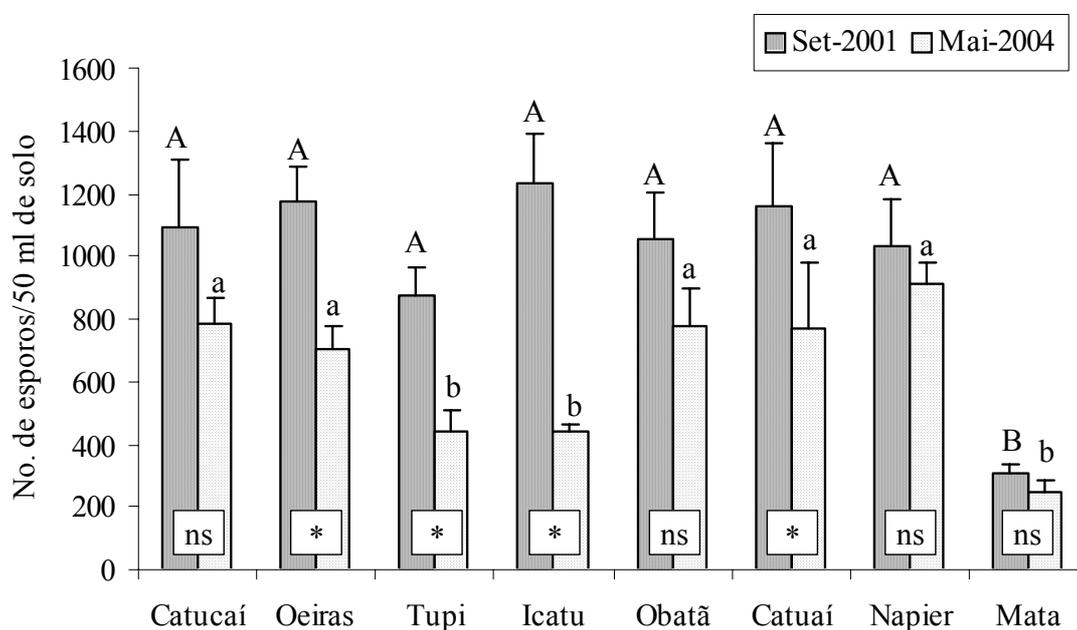


Figura 19. Número de esporos em 50 ml de solo em diferentes cultivares de café solteiro sob manejo orgânico e em áreas de capim napier e mata nativa, em duas épocas de amostragem. Letras iguais em uma mesma época de amostragem não apresentam diferenças estatísticas significativas, pelo teste de Scott-Knott, $p=0,05$; *, ns: indicam diferenças significativas ou não, respectivamente, entre as épocas de amostragem pelo teste t de Student ($p = 0,05$). A linha vertical acima das barras representa o erro padrão da média.

A análise de variância indicou efeito dos tratamentos de cultivares de café e épocas de amostragem, como também efeito da interação entre estes fatores. Na primeira época de amostragem (setembro de 2001), o número de esporos recuperados da mata nativa foi menor que nos demais tratamentos amostrados. Os cultivares de café e o capim napier apresentaram uma média de 1087 (± 117) esporos em 50 ml de solo, enquanto que a mata nativa apresentou uma média de 307 (± 66) esporos em 50 ml de solo. Este resultado era esperado, visto que a lavoura havia sido recentemente estabelecida (fevereiro de 2001) sobre uma área anteriormente ocupada pelo capim

napier. Assim, a população de esporos de FMAs na área ainda encontrava-se uniformizada pelo cultivo de napier em toda a sua extensão.

Na segunda amostragem, os cultivares Catucaí, Oeiras, Obatã e Catuaí mostraram similar número de esporos que o napier, enquanto que Tupi e Icatú reduziram significativamente o número de esporos em relação aos outros cultivares, igualando-se à mata nativa. A média do número de esporos nas variedades de café e o napier foi de 690 (± 180) e na mata nativa (250 ± 74).

Na segunda amostragem houve tendência de redução no número de esporos em todos os tratamentos, sugerindo um efeito sazonal. Este efeito foi somente significativo nos cultivares Oeiras, Tupi, Icatu e Catuaí, particularmente nos cultivares Tupi e Icatú, que apresentaram as maiores reduções na esporulação. As áreas de napier e mata nativa foram as que apresentaram menor variação entre as duas amostragens. Isto indica uma pequena variação das condições ecológicas nestas áreas, em relação às áreas que tiveram a cobertura vegetal alterada pelo plantio do café, implicando em maiores variações no agroecossistema.

O maior número de esporos encontrado na primeira amostragem nos cafeeiros, possivelmente é reflexo da elevada capacidade de multiplicação dos fungos micorrízicos em gramíneas de alta capacidade fotossintética (KOIDE, 1991), como o capim napier que ocupava a área antes do plantio do café. Em áreas de pastagem de gramíneas freqüentemente encontra-se elevado número de esporos devido às características do sistema radicular, ramificado e abundante. FONTANA et al. (2004) encontrou maior número de esporos em pastagem em comparação com áreas de café em monocultura e floresta nativa.

A quantidade de esporos recuperados das áreas de café nas duas amostragens foi mais elevada do que as observadas em outros cafezais desenvolvidos em associação com árvores (SCHERER et al., 2004) bem como as observadas em cafezais em monocultura (FONTANA et al., 2004). Na mata nativa, o baixo número de esporos coletado concorda com os resultados obtidos por MACEDO et al. (2004) e CAPRONI (2002). Nestes sistemas é possível que a esporulação dos fungos micorrízicos não seja tão importante quanto a propagação por meio de hifas, como foi relatado por JASPER et al. (1989). O baixo número de esporos e a alta colonização em florestas também foi relatado por GUADARRAMA & ALVAREZ SANCHEZ (1999) e igualmente alta colonização foi encontrada por KOTTKE et al. (2004) em diversas espécies arbóreas de florestas tropicais úmidas.

Tais resultados levam a pensar que em ecossistemas mais diversificados, com condições mais tamponadas de temperatura e umidade, o baixo número de esporos não necessariamente significa baixa presença de FMAs, nem minimiza a importância do papel que estes fungos estão desempenhando na funcionalidade do ecossistema.

SIEVERDING (1991) menciona que a variação na cobertura vegetal é um fator importante que afeta diretamente a multiplicação dos fungos. HUSBAND et al. (2002), encontraram que a diversidade de FMAs decresceu com o tempo e com a idade da planta hospedeira, observando inclusive mudanças na estrutura da comunidade dos fungos, o que pode causar diferenças na esporulação de acordo com o potencial de cada espécie. Além disto, variações na população de esporos, ainda que sob as mesmas espécies de plantas, podem ser atribuídas a diferentes condições de solo (ENTRY et al., 2002; CLARK, 1997), a efeito de fatores climáticos (ABBOTT & ROBSON, 1991; BALOTA & LOPES, 1996) e a condições de estresse causadas pela atividade antropogênica (EASON et al., 1999; ABD-ALLA et al., 2000) que alteram a fisiologia dos fungos e sua relação com as plantas.

A Figura 20 mostra o número de espécies de FMAs identificadas nas duas amostragens realizadas no café solteiro.

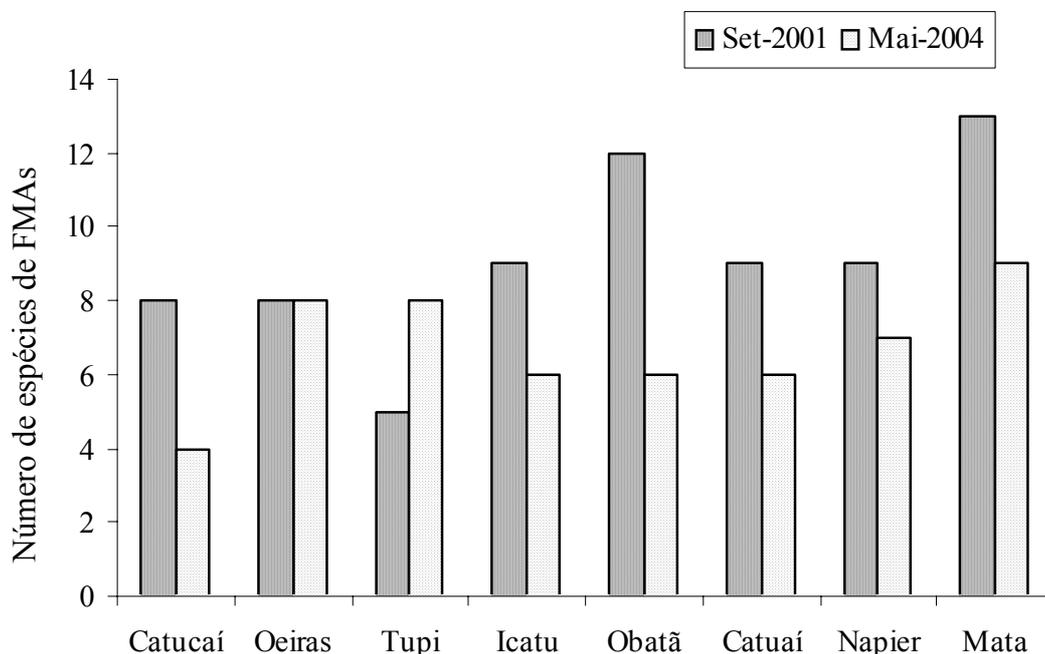


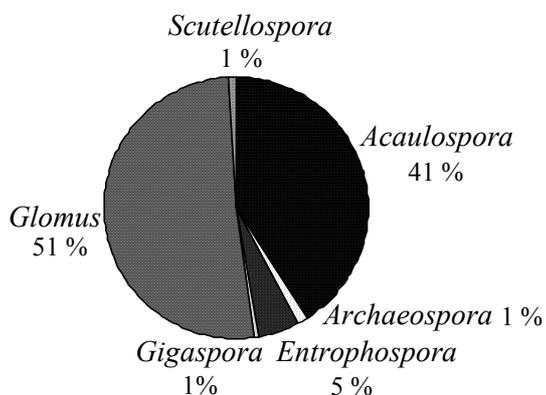
Figura 20. Número de espécies de FMAs identificadas em diferentes cultivares de café solteiro sob manejo orgânico e nas áreas testemunhas de capim napier e mata nativa, em duas épocas de amostragem. Valores absolutos onde não é aplicável análise estatística.

O número de espécies identificadas associadas aos cultivares de café variou entre 5 a 12 na amostragem realizada em setembro de 2001, e entre 4 a 8 na amostragem realizada em maio de 2004, sendo evidente que a redução do número de esporos foi acompanhada de uma redução na diversidade de espécies. Este comportamento foi observado tanto no cafeeiro como nas áreas vizinhas com napier e mata nativa o que indica que existe um efeito sazonal sobre a esporulação e diversidade de FMAs, resultando pouco evidente que a alteração da cobertura vegetal tenha sido a causa desta mudança na comunidade de FMAs.

Na Figura 21, observa-se a porcentagem de ocorrência dos gêneros de FMAs no café solteiro.

Entre as espécies identificadas em ambas amostragens observou-se uma maior ocorrência das espécies do gênero *Glomus* e *Acaulospora*, como já foi reportado por LOPES et al. (1983) em cafezais do Estado de São Paulo. A ocorrência de espécies de *Acaulospora* manteve igual nas duas amostragens enquanto que *Glomus* apresentou uma pequena redução na segunda amostragem. O contrário foi observado nos gêneros *Scutellospora* e *Archaeospora* que apresentaram incremento na sua ocorrência nesta mesma amostragem. Espécies do gênero *Entrophospora* não foram encontradas na segunda amostragem.

a) Primeira amostragem (setembro 2001)



b) Segunda amostragem (maio 2004)

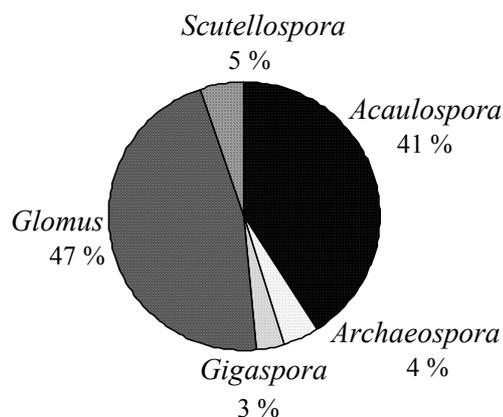


Figura 21. Porcentagem de ocorrência de gêneros de FMAs no café solteiro sob manejo orgânico e nas áreas testemunhas com capim napier e mata nativa, na primeira (setembro 2001) e segunda amostragem (maio 2004). Fazenda Santa Mônica, Valença – RJ.

A porcentagem de ocorrência de cada espécie de FMA em relação ao total de amostras tomadas em cada área e a ocorrência média das espécies é apresentada na Tabela 22. Verificou-se que as espécies *G. macrocarpum*, *A. mellea*, *A. morrowiae* e *G. ambisporum* foram as mais comuns na primeira amostragem, ocorrendo em quase todas as áreas amostradas. Na segunda amostragem as espécies mais comuns foram *G. macrocarpum*, *A. mellea*, *A. scrobiculata* e *A. leptoticha*. Na primeira amostragem as espécies mais raras foram *A. rehmi*, *G. margarita* e *S. persica*, que ocorreram apenas na área de mata nativa. Na segunda amostragem as espécies mais raras foram *A. tuberculata*, *G. clarum*, e *G. microagregatum* que ocorreram apenas nas áreas com napier, mata nativa e cafeeiros do cultivar Oeiras, respectivamente.

As espécies *A. morrowiae*, *A. colosica*, *A. rehmi*, *G. coronatum* e *E. infrequens* ocorreram apenas na primeira amostragem, enquanto que *A. denticulata* e *A. reticulata* ocorreram apenas na segunda amostragem. As demais espécies ocorreram em ambas amostragens.

Tabela 22. Ocorrência relativa ao total de amostras de espécies de FMAs em cultivares de café solteiro sob manejo orgânico e nas áreas de napier e mata nativa, em duas épocas de amostragem.

Espécies ⁽¹⁾	Tratamentos								O. ⁽²⁾ Média
	Catuaí	Oeiras	Tupi	Icatu	Obatã	Catuaí	Napier	Mata	
	----- % -----								
	Setembro de 2001								
<i>A. colosica</i>	50			25	25				12,5
<i>A. foveata</i>					25	25	25	25	12,5
<i>A. mellea</i>	75	100	100	100	100	50	75	50	81,2
<i>A. morrowiae</i>	50	50	50	50	50	50	25		53,1
<i>A. rehmi</i>								50	6,2
<i>A. scrobiculata</i>							50	75	15,6
<i>A. tuberculata</i>					25	25		50	12,5
<i>Ar. leptoticha</i>		25		25					6,2
<i>E. infrequens</i>					25	25	50	75	14,6
<i>Gi. margarita</i>								25	3,1
<i>G. ambisporum</i>	100	100		50	50	25	50	25	33,3
<i>G. clarum</i>		25						25	6,2
<i>G. coronatum</i>	25			25	25	25			12,5
<i>G. etunicatum</i>	25	25	25		25		25		15,6
<i>G. geosporum</i>	25	25	25	25	25	25	25	50	28,1
<i>G. macrocarpum</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>G. microagregatum</i>				50	25			25	12,5
<i>S. persica</i>								25	3,1
	Maio de 2004								
<i>A. denticulata</i>			25				25		6,2
<i>A. foveata</i>		25	25					25	9,4
<i>A. mellea</i>		50	25	75	25	25	75	50	53,1
<i>A. reticulata</i>		25		25	25	25			12,5
<i>A. scrobiculata</i>	25	50		50	75	25		75	37,5
<i>A. tuberculata</i>							25		3,1
<i>Ar. leptoticha</i>	25	25	25	50		75	25	75	37,5
<i>Gi. margarita</i>		25						50	9,4
<i>G. ambisporum</i>			50		50		50		18,8
<i>G. clarum</i>								25	3,1
<i>G. etunicatum</i>							50	25	9,4
<i>G. geosporum</i>	50		25						9,4
<i>G. macrocarpum</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>G. microagregatum</i>		25							3,1
<i>S. persica</i>			25	25	25	50		50	14,6

⁽¹⁾ G.: *Glomus*; A.: *Acaulospora*; Ar.: *Archaeospora*; Gi.: *Gigaspora*; S.: *Scutellospora*.

⁽²⁾ O. = Ocorrência.

A Figura 22 mostra a análise de agrupamento da primeira amostragem efetuada com base na presença e na ausência de espécies de FMAs no experimento de café solteiro. Observa-se que a mata não apresentou similaridade com os grupos formados (100 % de distância de ligação). Os dois grupos formados apresentaram similaridade de 40 %. Um deles agrupa o napier com os cultivares Oeiras e Tupi com 65 % de similaridade, sendo que entre os cultivares a ligação mostra 82 % de similaridade. O outro grupo, também com 65 % de similaridade, foi formado pelos cultivares de café Catucaí e Obatã, que apresentaram 76 % de similaridade entre si, e os cultivares Catuaí e Icatu, com 72 % de similaridade.

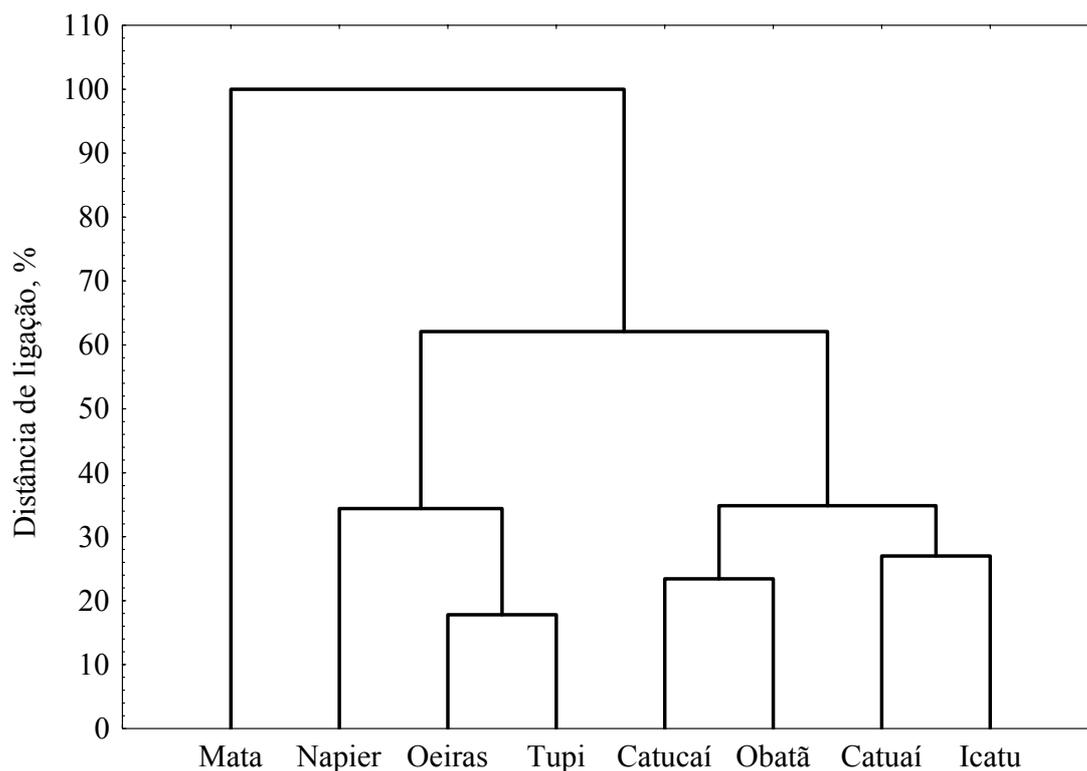


Figura 22. Análise de agrupamento dos cultivares de café, na área de café solteiro sob manejo orgânico, e áreas testemunhas de capim napier e mata nativa, com base na presença e na ausência de espécies de FMAs identificadas na amostragem de setembro de 2001. Fazenda Santa Mônica, Valença, RJ.

Na Figura 23 observa-se o agrupamento das áreas quanto à presença e à ausência de espécies de FMAs durante a segunda amostragem. Nesta época, o napier e o cultivar Tupi formaram um grupo sem similaridade com os grupos restantes (100 % de distância de ligação) e com 45 % de similaridade entre eles. Os cultivares Obatã, Catuaí e Icatu formaram um grupo com aproximadamente 75 % de distância do grupo formado pelos cultivares Catucaí e Oeiras e com a área de mata. No primeiro destes grupos os cultivares Catuaí e Icatu apresentaram 100 % de similaridade e estas, 78 % de similaridade com o cultivar Obatã, sendo o grupo de maior proximidade formado. No outro grupo, a mata e o cultivar Oeiras apresentaram 45 % de similaridade entre si e apenas 30 % de similaridade com o cultivar Catucaí.

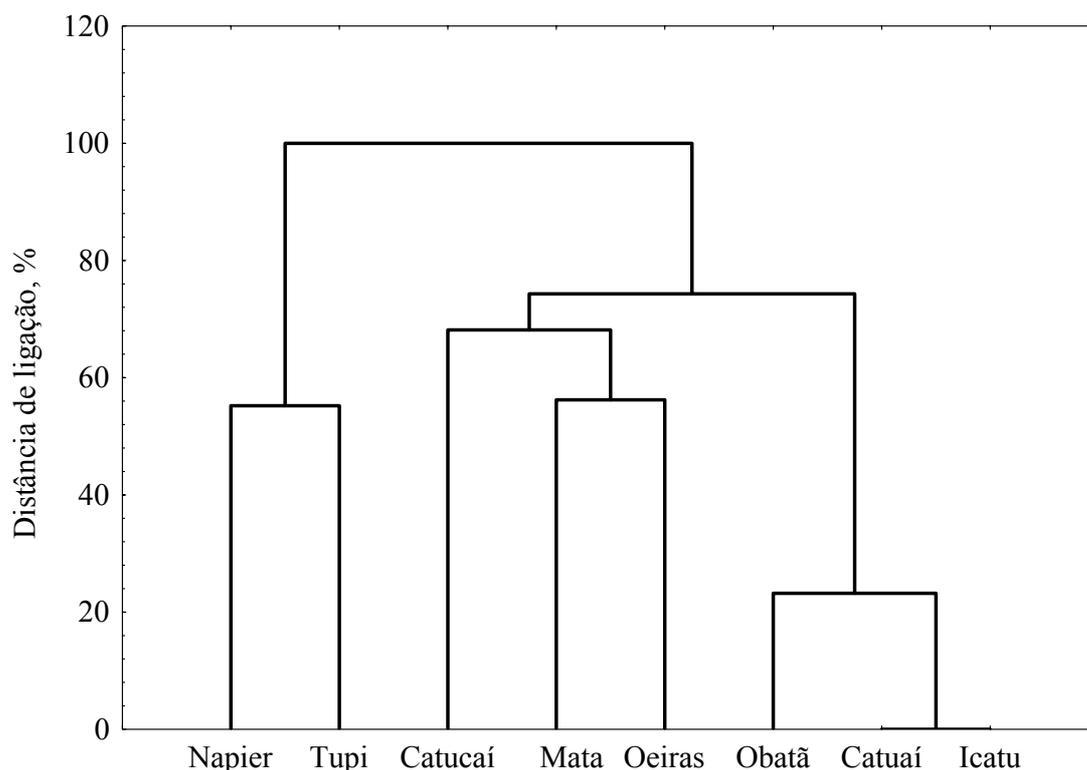


Figura 23. Análise de agrupamento dos cultivares de café, na área de café solteiro sob manejo orgânico, e áreas testemunhas de capim napier e mata nativa, com base na presença e ausência de espécies de FMAs identificadas na amostragem de maio de 2004. Fazenda Santa Mônica, Valença, RJ.

Comparando as Figuras 22 e 23 observa-se que, nas duas épocas de amostragem, os cultivares Obatã, Catuai e Icatu, se ordenaram em um mesmo grupo, sendo isto bastante evidente na segunda amostragem. Também nas duas épocas, a área com capim napier ficou agrupada com o cultivar Tupi. Os cultivares Oeiras e Catucaí e a área de mata nativa mudaram de grupo entre uma época e outra. Na primeira amostragem, a área de mata apresentou grande distância das demais áreas, como seria esperado pela diferença existente no tipo de cobertura vegetal, apesar da proximidade física das áreas. Na segunda amostragem, embora a mata nativa tenha-se agrupado com os cultivares Catucaí e Oeiras, estas áreas apresentaram baixa similaridade entre elas (< 45%).

3.2. Experimento de Café Consorciado com Bananeiras

A análise de variância do número de esporos em 50 ml de solo demonstrou efeito dos tratamentos e das épocas de amostragem, assim como efeito da interação dos fatores. A Figura 24 apresenta os resultados desta variável.

Tal como no café solteiro, na primeira amostragem foi verificado menor número de esporos na área de mata em comparação com os cultivares de café e a área de napier. Nesta amostragem, o número de esporos nos cultivares de café e no capim napier foi, em média, 1311 (\pm 183) esporos em 50 ml de solo, enquanto que na mata foi de 307 (\pm 66) esporos. Na segunda amostragem apenas os cultivares Catucaí e Icatu e o napier apresentaram número de esporos superior ao da mata.

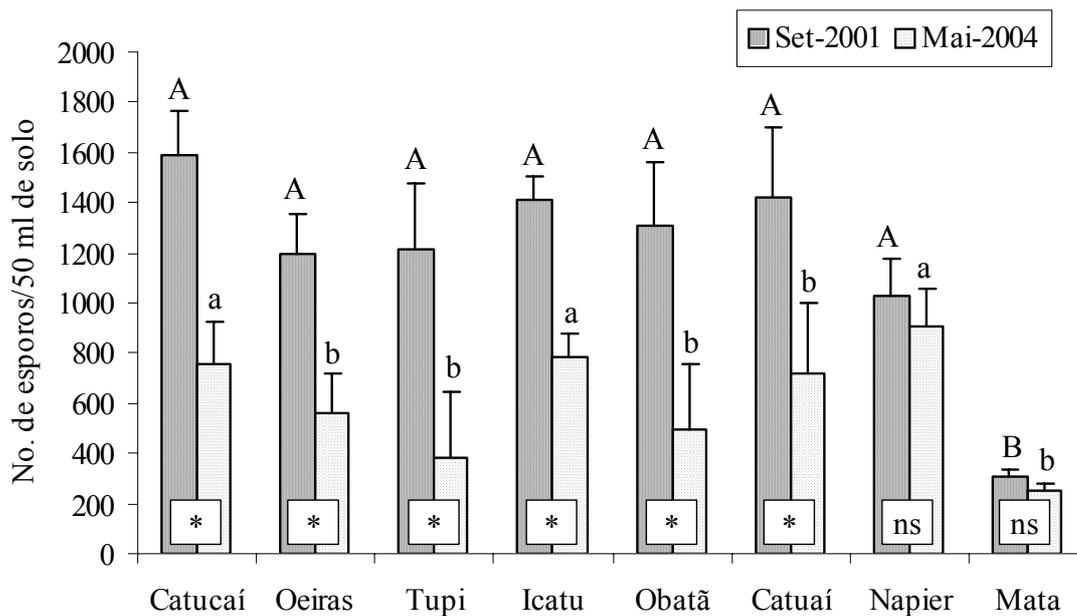


Figura 24. Número de esporos em 50 ml de solo em diferentes cultivares de café consorciadas com bananeiras sob manejo orgânico, e em áreas de capim napier e mata nativa, em duas épocas de amostragem. Letras iguais em uma mesma época de amostragem não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Scott-Knott, ($p=0,05$); *, ns: indicam diferenças significativas ou não, respectivamente, entre as épocas de amostragem pelo teste t de Student ($p = 0,05$). A linha vertical acima das barras representa o erro padrão da média.

O número de esporos variou significativamente entre as amostragens em todos os cultivares de café, sendo superior na primeira amostragem, com uma média de 1357 (± 401), comparado a 618 (± 223) esporos em 50 ml de solo coletados na segunda amostragem. Nas áreas testemunhas (napier e mata) as diferenças entre as amostragens não foram estatisticamente significativas, indicando que a modificação da cobertura vegetal com cafeeiros foi a causa da acentuada diminuição no número de esporos. Assim, o plantio de cafeeiros reduziu a quantidade de esporos na área anteriormente coberta com gramínea (capim napier), aproximando o número ao valor obtido na mata nativa.

Pode-se observar que o café consorciado com bananeiras apresentou diminuição no número de esporos mais significativa estatisticamente ao observado no café solteiro. Portanto, pode-se deduzir que a mudança na composição vegetativa da pastagem para uma comunidade de plantas com sistema radicular diferente e com menos capacidade fotossintética, afetou a comunidade de FMAs em ambos experimentos, existindo um efeito adicional do consórcio de café com bananeiras. Este agroecossistema associativo trouxe a densidade de esporos no solo para mais próximo do valor observado na mata nativa.

Estes resultados podem ser devidos a que as interações entre espécies vegetais, sua influência sobre os padrões de desenvolvimento radicular, assim como, as modificações no microclima do solo podem modificar a capacidade de esporulação das hifas de FMAs, estimulando sua propagação por meio de micélio intraradicular (MUTHKUMAR et al., 2003). Tampouco pode-se descartar que as interações entre espécies vegetais e as modificações microclimáticas exercem uma marcante influência

sobre a fauna fungívora, com possibilidades de reduzir o número de esporos no solo (INGHAM, 1988; RABATIN & STINNER, 1988).

Na Figura 25, encontra-se o número de espécies identificadas durante as duas amostragens realizadas. Na primeira amostragem foram identificadas entre 10 a 14 espécies nos cultivares de café, nove no napier e 13 na mata nativa. Já na segunda amostragem foram identificadas entre três a seis espécies no café, sete no napier e nove na mata, evidenciando-se uma importante redução no número de espécies identificadas, com a redução de número de esporos no solo.

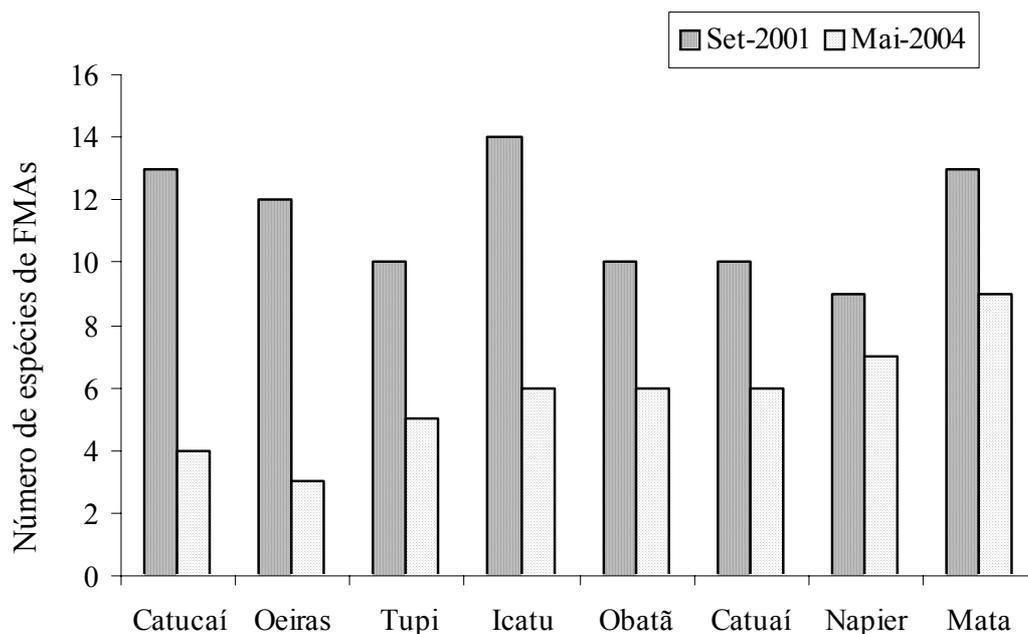


Figura 25. Número de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) identificadas em diferentes cultivares de café consorciado com bananeiras sob manejo orgânico e nas áreas testemunhas de capim napier e mata nativa, em duas épocas de amostragem. Valores absolutos onde não é aplicável a análise estatística.

Na Figura 26, observa-se a porcentagem de ocorrência dos gêneros de FMAs observados no café consorciado com bananeiras. Tal como no experimento com café solteiro, durante a primeira amostragem observou-se uma maior ocorrência das espécies do gênero *Glomus* e *Acaulospora*. Na segunda amostragem, o gênero *Acaulospora* mostrou uma pequena redução na porcentagem de ocorrência, enquanto que observou-se um incremento na frequência do A ausência de gênero *Entrophospora* e o pequeno incremento na ocorrência do gênero *Archaeospora* demonstram que o efeito sazonal afetou em forma similar à composição de espécies de FMAs em ambos experimentos.

a) Primeira amostragem (setembro 2001)

b) Segunda amostragem (maio 2004)

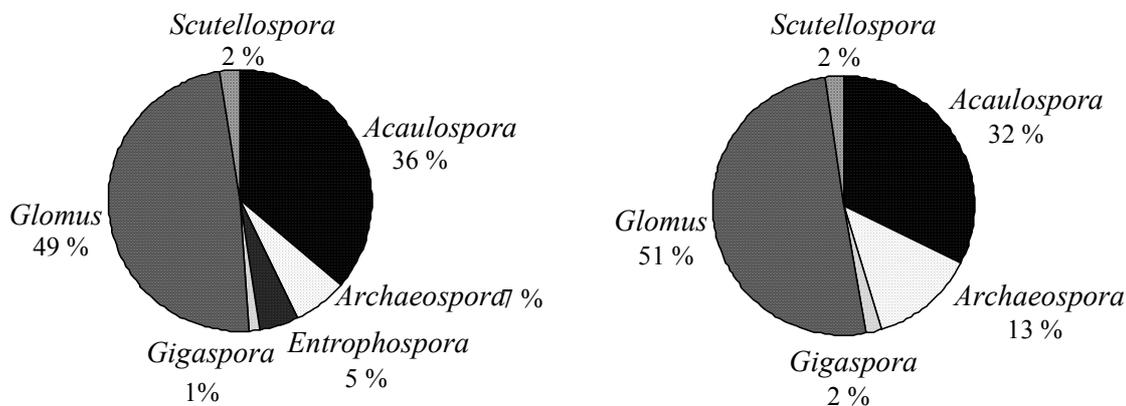


Figura 26. Porcentagem de ocorrência de gêneros de FMAs no café consorciado com bananeiras sob manejo orgânico e áreas testemunhas de capim napier e mata nativa, na primeira (setembro 2001) e segunda amostragem (maio 2004). Fazenda Santa Mônica, Valença – RJ.

A Tabela 23 mostra a ocorrência das espécies identificadas no café consorciado com bananeiras e nas áreas testemunhas, assim como, a ocorrência média em todas as áreas. Na primeira amostragem, verificou-se que as espécies *G. macrocarpum* e *A. mellea* foram as mais comuns, ocorrendo em todas as áreas, seguidas das espécies *G. ambisporum*, *G. geosporum*, *A. foveata* e *G. etunicatum*, que deixaram de ocorrer apenas em uma das áreas estudadas e *A. leptoticha* que ocorreu nas áreas de café mas não nas testemunhas.

Esta combinação de espécies dominantes é praticamente a mesma observada no experimento com café solteiro, mostrando que a população de FMAs em toda a área experimental encontrava-se bastante uniformizada pelos anos de cultivo do napier. Na segunda amostragem, as espécies mais comuns foram *G. macrocarpum* e *A. scrobiculata* seguida de *A. leptoticha* e *A. mellea*, também coincidindo com a área de café solteiro.

O número de espécies raras, ou seja, aquelas que ocorreram apenas em uma das áreas, foi maior neste experimento consorciado com bananeiras do que no experimento de café solteiro, indicando maior diversidade. Na primeira amostragem, as espécies *A. delicata*, *A. remhi*, *G. claroideum*, *G. intrarradices*, *G. ocultum* e *S. persica* ocorreram em apenas uma das áreas. Na segunda amostragem, as espécies que ocorreram em apenas uma das áreas foram *A. denticulata*, *A. reticulata*, *A. tuberculata*, *G. margarita* e *S. persica*.

Entre as 23 espécies verificadas na primeira amostragem, 12 ocorreram também na segunda amostragem. Entre as 14 espécies verificadas na segunda amostragem, apenas duas não haviam sido verificadas na primeira amostragem.

Tabela 23. Ocorrência relativa ao total de amostras de espécies de FMAs em cultivares de café consorciados com bananeiras sob manejo orgânico e nas áreas testemunhas de capim napier e mata nativa, em duas épocas de amostragem.

Espécies ⁽¹⁾	Tratamentos							O. ⁽²⁾	
	Catuaí	Oeiras	Tupi	Icatu	Obatã	Catuaí	Napier	Mata	Média
----- % -----									
Setembro de 2001									
<i>A. colosica</i>	25	50	25	25	25	50			25,0
<i>A. delicata</i>					25				3,1
<i>A. foveata</i>	25	50	25	50		25	25	25	28,1
<i>A. mellea</i>	25	75	75	100	75	75	75	50	68,7
<i>A. morrowiae</i>	25	50	25	25	25		25		21,9
<i>A. rehmi</i>								50	6,2
<i>A. scrobiculata</i>							50	75	15,6
<i>A. tuberculata</i>	50			25				50	15,6
<i>Ar. leptoticha</i>	50	75	50	50	25	25			34,4
<i>E. infrequens</i>			25	25	25		50	75	25,0
<i>Gi. margarita</i>			25					25	6,2
<i>G. ambisporum</i>	100	25		50	50	75	50	25	46,9
<i>G. claroideum</i>				25					3,1
<i>G. clarum</i>	25	25				25		25	12,5
<i>G. coronatum</i>		50	25			25			12,5
<i>G. etunicatum</i>	25	25	25	25	25	50	25		25,0
<i>G. geosporum</i>	50	50		25	75	25	25	50	37,5
<i>G. intrarradices</i>				25					3,1
<i>G. macrocarpum</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>G. microagregatum</i>	25							25	6,2
<i>G. oculum</i>		25							3,1
<i>S. calospora</i>	25			50					9,4
<i>S. persica</i>								25	3,1
Maio de 2004									
<i>A. denticulata</i>							25		3,1
<i>A. foveata</i>					25			25	6,2
<i>A. mellea</i>		25	50	25		25	75	50	31,2
<i>A. reticulata</i>				50					6,2
<i>A. scrobiculata</i>	50	50	25	50	25	75		75	43,8
<i>A. tuberculata</i>							25		3,1
<i>Ar. leptoticha</i>	50			75	50	25	25	75	37,5
<i>Gi. margarita</i>								50	6,2
<i>G. ambisporum</i>	25		50				50		15,6
<i>G. clarum</i>					25	25		25	9,4
<i>G. etunicatum</i>							50	25	6,2
<i>G. geosporum</i>			25	25	25	25			12,5
<i>G. macrocarpum</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100,00
<i>S. persica</i>								50	6,2

⁽¹⁾ G.: *Glomus*; A.: *Acaulospora*; Ar.: *Archaeospora*; Gi.: *Gigaspora*; S.: *Scutellospora*.

⁽²⁾ O = Ocorrência.

A Figura 27 mostra a análise de agrupamento dos cultivares de café e das áreas de referência na primeira amostragem. Observa-se que a mata separou-se das variedades de café com 100 % de distância de ligação, evidenciando falta de similaridade com os cultivares de café e com o napier. Dentro dos cultivares de café formaram-se dois grupos com 40 % de similaridade entre eles. O primeiro desses grupos foi formado com a cultivar Catucaí, que apresentou similaridade de 65 % com os cultivares Oeiras e Catuaí, sendo estas similares em 85 %. O segundo grupo foi formado pela cultivar Tupi, que apresentou 45 % de similaridade com os cultivares Icatu, Obatã e com o capim napier, estes dois últimos com 65 % de similaridade. Nesta amostragem, exceto pela completa separação da área de mata nativa das demais áreas, os grupos formados foram diferentes aos grupos formados no café solteiro (Figura 22).

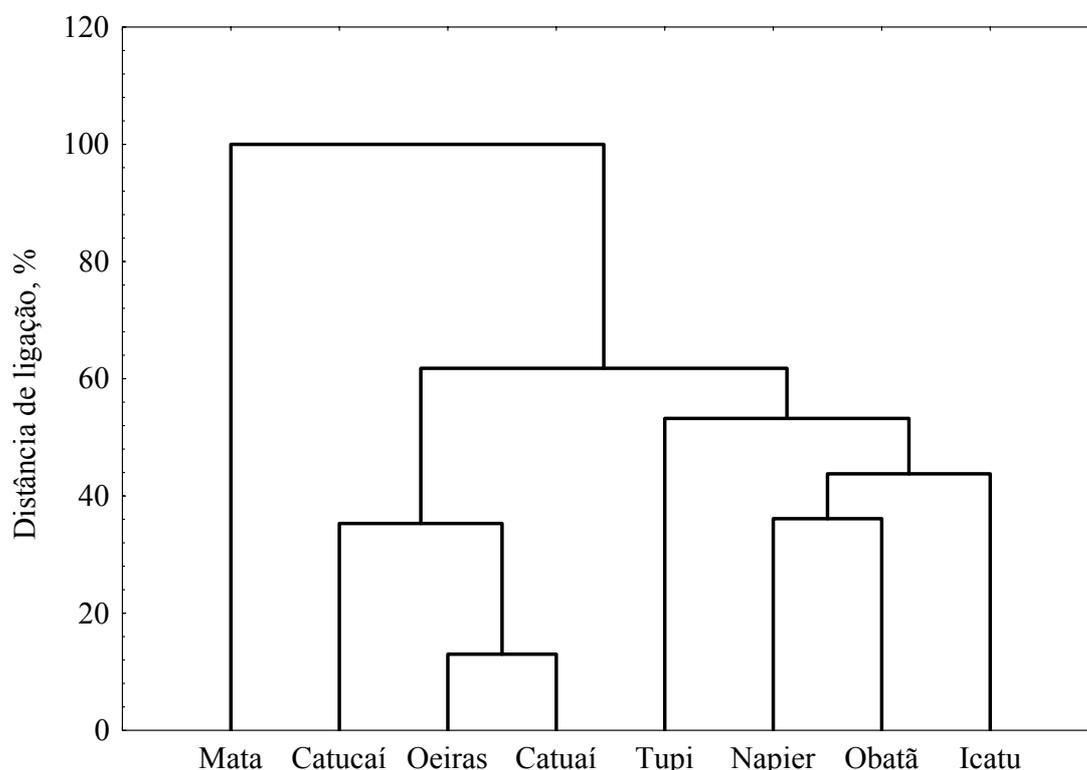


Figura 27. Análise de agrupamento dos cultivares de café consorciadas com bananeiras sob manejo orgânico e áreas testemunhas de capim napier e mata nativa, com base na presença e na ausência de espécies de FMAs, identificadas na amostragem de setembro 2001. Fazenda Santa Mônica, Valença, RJ.

Na segunda amostragem, apresentada na Figura 28, a mata e a cultivar Oeiras formaram um grupo a parte, com 50 % de similaridade entre elas, mas separadas 100 % das demais variedades e do napier. O napier separou-se das demais cultivares de café apresentando apenas 78 % de distância de ligação. A cultivar Icatu separou-se das variedades Catucaí, Catuaí, Tupi e Obatã com 45 % de distância de ligação. Estes quatro últimos cultivares agruparam-se entre si com 70 % de similaridade, sendo os cultivares Catucaí e Catuaí mais próximos (80 % de similaridade), assim como a Tupi e a Obatã (80 % de similaridade). Nas duas épocas de amostragens os cultivares Catucaí e Catuaí tenderam a ficar no mesmo agrupamento, assim como os cultivares Obatã, Tupi e Icatu (Figuras 27 e 28).

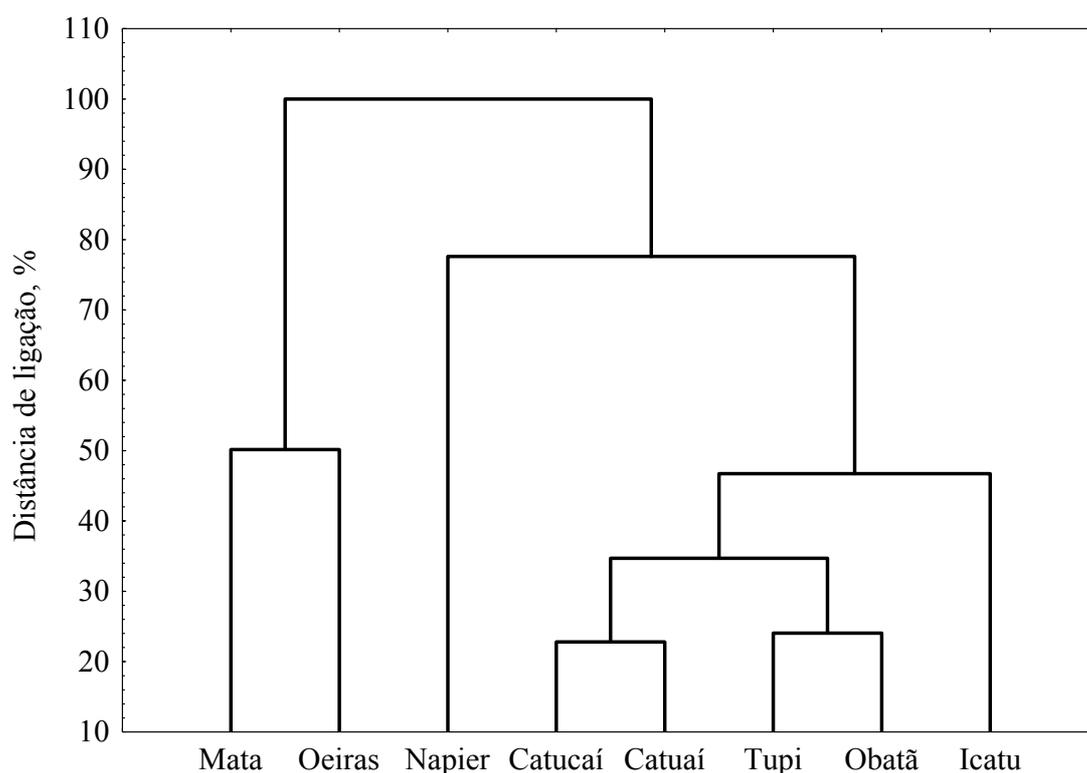


Figura 28. Análise de agrupamento dos cultivares de café consorciados com bananeiras sob manejo orgânico e áreas testemunhas de capim napier e mata nativa, com base na presença e na ausência de espécies de FMAs, identificadas na amostragem realizada em maio de 2004. Fazenda Santa Mônica, Valença, RJ.

Comparando-se estes resultados com os obtidos no experimento de café solteiro (Figura 23), verifica-se que a mata agrupou-se com a variedade Oeiras nos dois experimentos, embora com cerca de 50 % de distância de ligação. Os demais grupos formados não apresentaram consistência entre os dois experimentos.

3.3. Efeito da Adubação Verde sobre a Comunidade de FMAs

A Figura 29 apresenta os resultados do número de esporos de FMAs nas parcelas cultivadas com café solteiro, com e sem adubação verde, assim como, nas áreas testemunhas com napier e mata nativa, correspondentes à amostragem realizada em maio de 2002.

A análise de variância não evidenciou efeito dos cultivares de café nem da adubação verde, havendo um pequeno efeito da interação entre estes fatores, evidenciado no cultivar Oeiras. Apenas neste cultivar os resultados concordam com os obtidos por COLOZZI FILHO et al., (2000) e COLOZZI FILHO & CARDOSO (2000), que demonstraram os efeitos favoráveis da associação de cafeeiros com leguminosas no estímulo à esporulação dos FMAs. Durante esta amostragem (maio, 2002), o número de esporos apresentou comportamento semelhante ao observado na amostragem de setembro de 2001 (figura 23) mostrando todas as áreas com número equilibrado de esporos e superior à área de mata nativa. Entretanto foi observada uma pequena redução no número de esporos nas parcelas sem adubação verde nesta amostragem, efetuada oito meses após da primeira, em setembro de 2001.

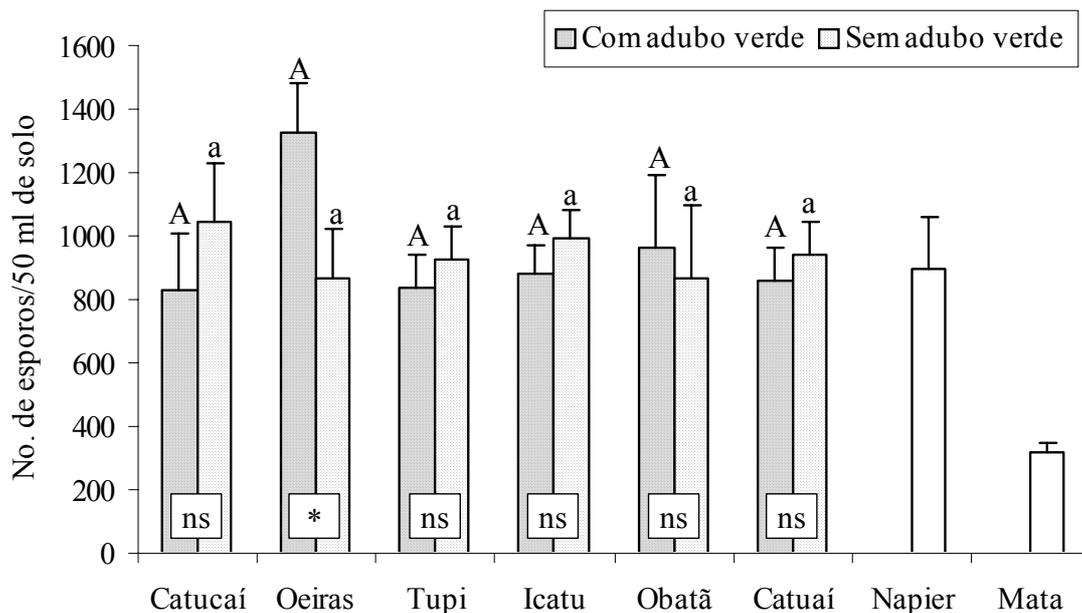


Figura 29. Número de esporos em 50 ml de solo em diferentes cultivares de café com e sem adubação verde, no experimento de café solteiro sob manejo orgânico e em áreas de capim napier e mata nativa, em amostragem realizada em maio de 2002. Letras iguais no mesmo tratamento de adubação verde não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Scott-Knott, ($p=0,05$); *, ns: indicam diferenças significativas ou não, respectivamente, entre tratamentos de adubação verde pelo teste t de Student ($p=0,05$). A linha vertical acima das barras representa o erro padrão da média.

O pouco efeito da adubação verde sobre o número de esporos, possivelmente tenha sofrido influência da área de amostragem, que foi escolhida mais perto do cafeeiro do que da linha de plantio da crotalária.

A Figura 30 apresenta o número de espécies identificadas em cada cultivar de café em resposta à adubação verde, como também nas áreas testemunhas. O número de espécies identificadas variou entre 6 e 10 nos cafeeiros sem adubação verde, e entre 8 e 14 nos cultivares adubados com crotalária. Nos cultivares Icatu, Obatã e Catuaí a adubação verde aumentou de 4 a 6 as espécies identificadas, concordando com os resultados mostrados por COLOZZI FILHO & CARDOSO (2000) sobre a mudança na composição de espécies de FMAs devido a presença de crotalária nas entrelinhas do café. Nesta amostragem recuperou-se o maior número de espécies na mata, chegando a ser identificadas 19 espécies. Na área com napier, identificaram-se apenas cinco espécies.

Na Figura 31 se observa a frequência de ocorrência dos gêneros de FMAs associadas aos cultivares de cafeeiros com e sem adubação verde. Os gêneros *Glomus* e *Acaulospora* dominaram a comunidade de FMAs nas parcelas com e sem adubação verde. A adubação verde estimulou a esporulação de mais espécies do gênero *Glomus*, o que provocou a diminuição relativa das espécies dos gêneros *Acaulospora*, *Archaeospora* e *Gigaspora*. Os gêneros *Scutellospora* e *Entrophospora* não foram afetados pela adubação verde.

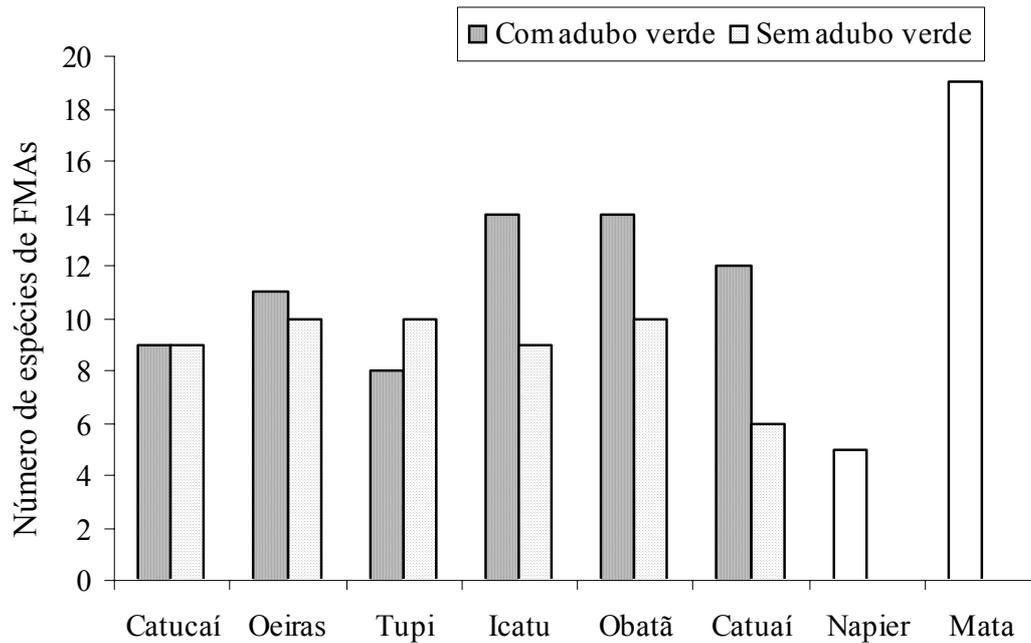
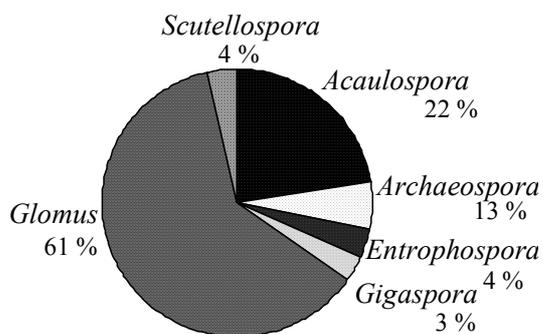


Figura 30. Número de espécies de FMAs identificadas nos cultivares de café com e sem adubação verde, no experimento de café solteiro sob manejo orgânico, e nas áreas testemunhas de napier e mata, durante a amostragem realizada em maio 2002. Valores absolutos onde não é aplicável a análise estatística.

a) Cafeeiros com adubo verde



b) Cafeeiros sem adubo verde

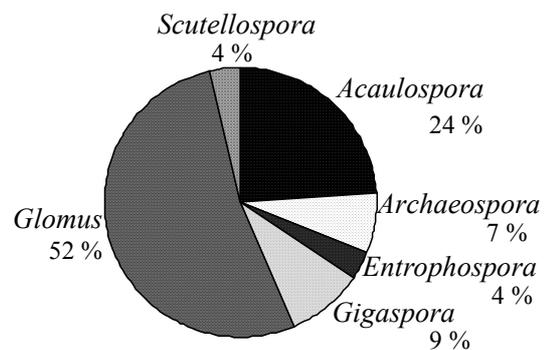


Figura 31. Porcentagem de ocorrência de gêneros de FMAs associadas a cafeeiros sob manejo orgânico, com e sem adubação verde. Fazenda Santa Mônica, Valença – RJ.

A Tabela 24 mostra a porcentagem de ocorrência de espécies de FMAs identificadas em cada tratamento e nas áreas testemunhas, assim como, a ocorrência média em todas as áreas.

Tabela 24. Ocorrência relativa ao total de amostras de espécies de FMAs identificadas na área de café solteiro sob manejo orgânico, em diferentes cultivares de café, com e sem adubação verde e nas área de capim napier e mata nativa, em maio de 2002.

Espécies	Cultivares de café sem adubo verde					Cultivares de café com adubo verde					Ocorrência média				
	Catuaí	Oeiras	Tupi	Icatu	Obatã	Catuaí	Catuaí	Oeiras	Tupi	Icatu		Obatã	Catuaí	Napier	Mata
----- % -----															
<i>A. colosica</i>						50		25		25		25		25	10,7
<i>A. foveata</i>		25												25	3,6
<i>A. mellea</i>	50	25	25	50	50	50	50	25		25	25	75	75	25	39,3
<i>A. morrowiae</i>	50	100				25	50	75	25		25	25			26,7
<i>A. scrobiculata</i>				25										25	3,6
<i>A. tuberculata</i>			25					25			50		75	25	14,3
<i>Ar. leptoticha</i>	50	25	25		50		25	25		25	25	50			21,4
<i>E. colombiana</i>					25										1,8
<i>E. infrequens</i>		25	25		25		25	25		25	25		50	50	19,6
<i>Gi. margarita</i>		25	25	50	50	50			25		25	25		25	21,4
<i>G. ambisporum</i>	50	50			75	25	25	75	25	50	75	75	75	25	44,6
<i>G. claroideum</i>				25	50			25	25	50	25	25			16,1
<i>G. clarum</i>	50			50			25	50		25	25	50		25	21,4
<i>G. clavisorum</i>														25	1,8
<i>G. coronatum</i>			25							25				25	5,4
<i>G. etunicatum</i>			50	50		75	25	25	50	25	25	50		25	28,6
<i>G. geosporum</i>	25	50		25			25	25	25	25	25	25		25	19,6
<i>G. macrocarpum</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>G. microagregatum</i>		25		25	25					75	25				12,5
<i>G. mosseae</i>	25									25	25			25	7,1
<i>S. calospora</i>									25			25		25	5,4
<i>S. pellucida</i>	25		50							25		25		25	10,7
<i>S. persica</i>														25	1,8
<i>S. verrucosa</i>														50	3,6

⁽¹⁾ G.: *Glomus*; A.: *Acaulospora*; Ar.: *Archaeospora*; Gi.: *Gigaspora*; S.: *Scutellospora*.

Tal como observado na amostragem realizada em setembro de 2001, na área de café solteiro (Tabela 22), na amostragem de maio 2002 as espécies mais comuns continuavam sendo *G. macrocarpum*, *G. ambisporum*, *A. mellea*, *G. etunicatum* e *A. morrowiae* (Tabela 24). As espécies mais raras foram *E. colombiana* identificada no cafeeiro da cultivar Obatã sem adubação verde e *Glomus clavisorum*, *Scutellospora persica* e *Scutellospora verrucosa*, encontradas apenas na área de mata nativa. Por outro lado, *A. foveata* foi identificada apenas no cafeeiro sem adubação verde e mata nativa enquanto que *S. calospora* foi encontrada no cafeeiro com adubação verde e na mata nativa. As espécies *E. colombiana*, *G. clavisorum*, *G. mosseae*, *S. pellucida* e *S. verrucosa* foram verificadas apenas nesta época de amostragem.

A Figura 32, mostra o agrupamento dos cultivares de café com e sem adubação verde e nas áreas testemunhas. Similarmente ao que ocorreu na amostragem de setembro 2001 nas áreas de café solteiro (Figura 22) e café consorciado com bananeiras (Figura 27), a área de mata nativa se separou dos cultivares de café com 100 % de distância de ligação. Todos os cultivares com e sem adubação verde, e a área de napier formaram dois grupos que apresentaram 40 % de similaridade. Porém, tal como observado na amostragem de setembro de 2001, nas duas áreas experimentais, os cultivares de café e o napier não se ordenaram em grupos similares nas análises, como se evidencia ao comparar as Figuras 22, 27 e 32. Possivelmente estes resultados se devam à uniformidade da área quanto às populações de FMAs. Existiu apenas uma certa tendência do napier se agrupar com as variedades Oeiras e Obatã.

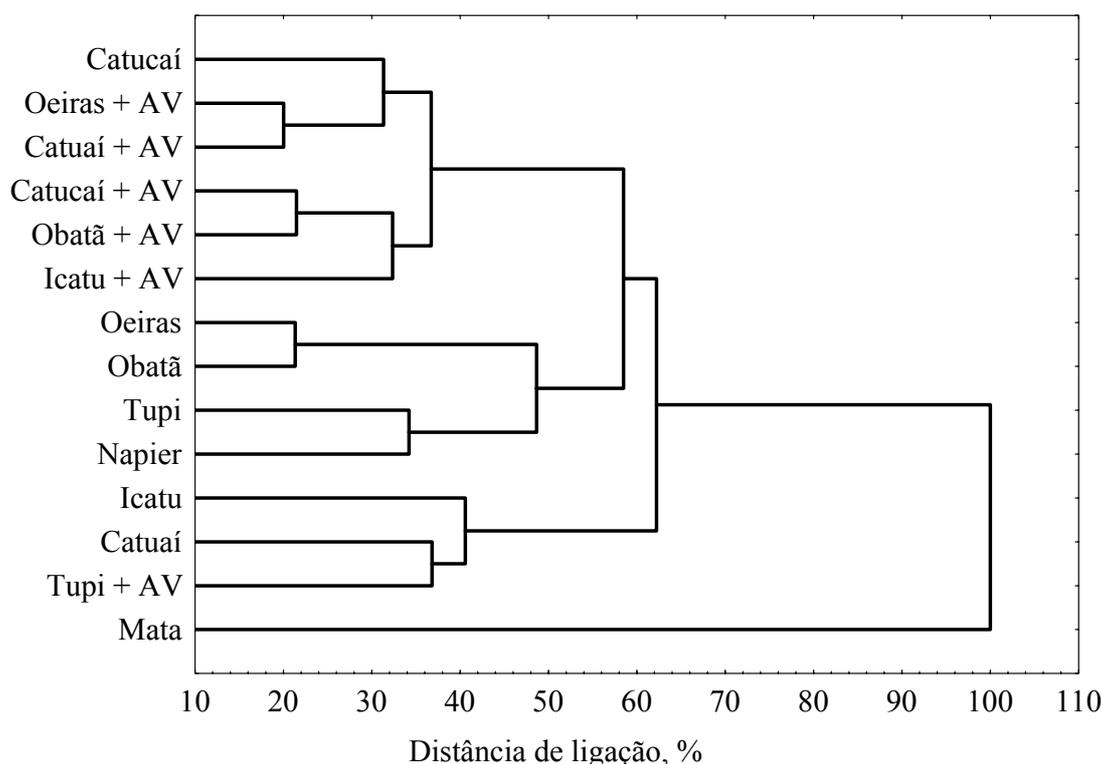


Figura 32. Análise de agrupamento dos cultivares de café, com e sem adubação verde na área de café solteiro sob manejo orgânico, e áreas de napier e mata nativa, com base na presença e na ausência de espécies de FMAs, identificadas na amostragem realizada em maio de 2002. Fazenda Santa Mônica, Valença, RJ.

Foi evidenciado nesta análise, que os tratamentos com adubo verde influenciaram a população de FMAs, mostrando tendência a formar um grupo com mais de 60 % de similaridade entre os cultivares com adubo verde, com exceção do cultivar Tupi com adubo verde, que se agrupou com as variedades Icatu e Catuaí sem adubação verde.

3.4. Experimento de Café Consorciado com Guandu

Neste experimento foi observado o efeito significativo dos tratamentos para número de esporos de FMAs em 50 ml de solo, como se observa na Figura 33. No tratamento de café mais três linhas de guandu obteve-se o maior número de esporos (1510 esporos em 50 ml de solo), sendo este valor estatisticamente superior aos demais tratamentos. A área de mata nativa foi similar em número de esporos aos tratamentos de café sem guandu e com uma e duas linhas de leguminosa entando que a área de pimentão (*Capsicum annuum*) caracterizou-se por apresentar o menor número de esporos (455 esporos em 50 ml de solo), evidenciando que em áreas agrícolas onde se aplicam altas doses de adubo, como é o caso das olerícolas, a população de FMAs pode resultar afetada em sua capacidade de esporulação e possivelmente na sua sobrevivência (HARINIKUMAR & BAGYARAJ, 1989).

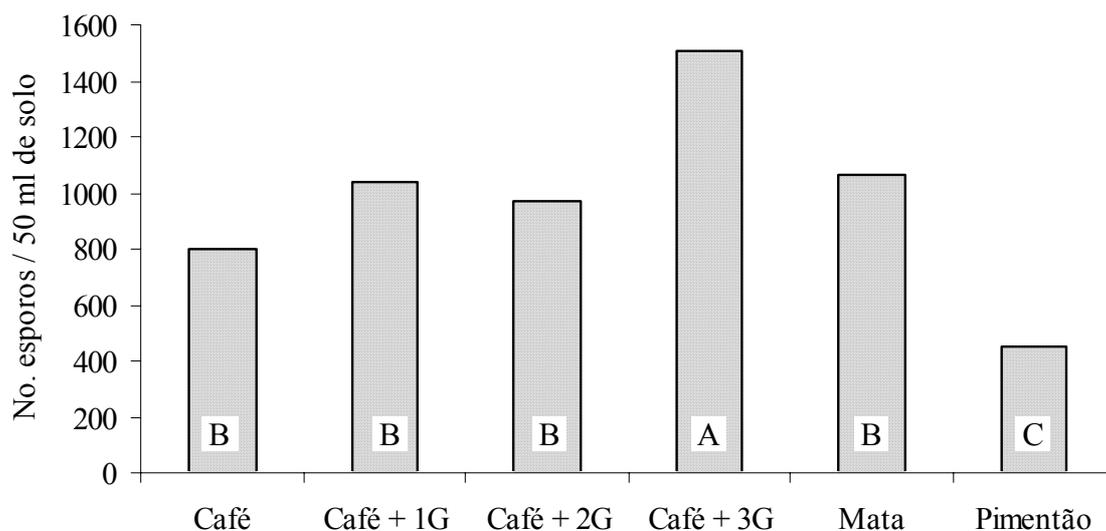


Figura 33. Número de esporos de FMAs em 50 ml de solo nas parcelas do café consorciado com guandu e nas áreas testemunhas de mata e pimentão. Letras iguais entre barras não representam diferenças estatísticas significativas segundo o teste de Scott-Knott, ($p=0,05$). Café = café solteiro; 1G = 1 linha de guandu na entrelinha; 2G = 2 linhas de guandu na entrelinha; 3G = 3 linhas de guandu na entrelinha.

Na Tabela 25 observa-se que a maior densidade de guandu entre as linhas de café teve um efeito favorável sobre o número de espécies de FMAs recuperadas do solo. As espécies de *Glomus* e *Acaulospora* predominaram no cafeeiro, com 69 e 22 % de ocorrência, respectivamente, confirmando as observações de BALOTA & LOPES (1994), assim como resultados de RICCI et al. (1999), em cafeeiros sob manejo convencional e em processo de conversão para orgânico.

As espécies predominantes neste experimento foram *G. macrocarpum* (100 %), *A. mellea* (54 %), *G. occultum* (45 %), *G. ambisporum* (37 %) e *G. geosporum* (29 % de ocorrência). As espécies *A. tuberculata*, *G. margarita* e *G. caledonium* foram consideradas raras devido a sua baixa ocorrência, ocorrendo a primeira apenas no café com três linhas de guandu, a segunda na área de mata e a terceira na área de pimentão.

Tabela 25. Ocorrência de espécies de FMAs identificadas em solos cultivados com café sob diferentes tratamentos de adubação verde e nas áreas testemunhas de mata e cultura de pimentão.

Espécies ⁽¹⁾	Café	Café+1G	Café+2G	Café+3G	Mata	Pimentão
	----- % -----					
<i>A. mellea</i>	50	25	50	100	100	
<i>A. scrobiculata</i>	50	25	50		25	
<i>A. tuberculata</i>				25		
<i>A. colosica</i>	50			25		
<i>Ar. leptoticha</i>				25	50	
<i>E. colombiana</i>					25	50
<i>Gi. margarita</i>					25	
<i>G. ambisporum</i>	75		25	50	75	25
<i>G. caledonium</i>						50
<i>G. claroidium</i>	50	50	25			25
<i>G. clarum</i>	50		25			
<i>G. etunicatum</i>			25	75		
<i>G. geosporum</i>	25	25	50	50	75	
<i>G. macrocarpum</i>	100	100	100	100	100	100
<i>G. microagregatum</i>	50			25	25	
<i>G. oculum</i>	50	50	75	100		
<i>S. persica</i>				50	25	
Total de espécies	10	6	9	11	10	5

⁽¹⁾ *G.*: *Glomus*; *A.*: *Acaulospora*; *Ar.*: *Archaeospora*; *Gi.*: *Gigaspora*; *S.*: *Scutellospora*. Café = cafeeiros solteiros; 1G = 1 linha de guandu, 2G= 2 linhas de guandu, 3G = 3 linhas de guandu na entrelinha.

Com base na presença e na ausência de espécies foi efetuada uma análise de agrupamento apresentada na Figura 34. Observa-se que a cultura de pimentão foi completamente diferente dos tratamentos com café e mata apresentando uma distância de ligação de 100 % em relação aos outros grupos. A mata e os diferentes tratamentos com café apresentam similaridade de 28 %, e entre eles, separou-se um grupo formado pela mata e o tratamento de café associado a três linhas de guandu, que apresentaram similaridade de aproximadamente 45 % entre si. Já o tratamento de café solteiro apresentou similaridade de 71 % com os tratamentos de café associados a uma e duas linhas de guandu, que por sua vez, foram similares em 78 %. O café sem guandu, apesar de ter apresentado igual número de espécies de FMAs que a mata, agrupou-se com maior similaridade com as áreas de café associado com uma e duas linhas de guandu.

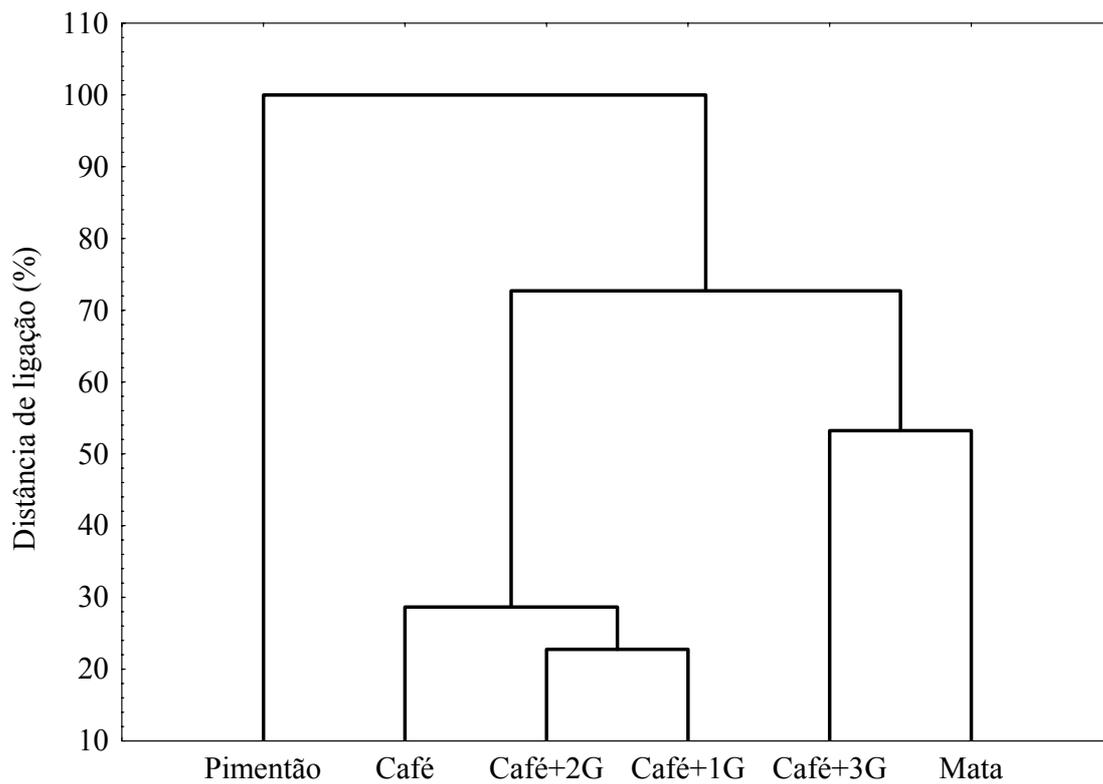


Figura 34. Análise de agrupamento dos tratamentos de café consorciado com guandu e áreas testemunhas de pimentão e mata. Distrito de Avelar, Paty de Alferes, RJ. 1G, 2G e 3G significam uma, duas e três linhas de guandu cultivadas nas entrelinhas do café.

4. CONCLUSÕES

1. A mudança da cobertura vegetal de napier para café promoveu uma modificação na comunidade de FMAs e reduziu o número de esporos no solo. Esta modificação foi verificada aos 40 meses após a mudança da cobertura vegetal de napier pelos cafeeiros.
2. Após 40 meses de cultivo de café, o manejo associado com bananeiras e o cultivo do cultivar Oeiras levou a população de FMAs do solo ser mais próxima à população da mata nativa.
3. O cultivo de capim napier por longo período promoveu uniformidade e maior número de esporos no solo, porém baixa diversidade de espécies de FMAs, em relação à mata nativa.
4. A análise de agrupamento baseada na comunidade de espécies de FMAs permitiu a separação de ecossistemas com vegetação diferentes, assim como das áreas com manejo recém implantados.
5. Os gêneros de FMAs mais comuns em todas as áreas foram *Acaulospora* e *Glomus*.
6. Todas as comunidades de FMAs levantadas foram dominadas pelas espécies *G. macrocarpum*, *A. mellea*, *G. ambysporum* e *G. geosporum*.
7. A diversidade de espécies de FMAs nas comunidades levantadas foram influenciadas pelos cultivares de café, pela cobertura e pela diversidade vegetal, bem como pela época de amostragem.
8. Um ciclo de adubação verde com crotalária cultivada na entrelinha do café teve influência na comunidade de FMAs na rizosfera dos cafeeiros tendo sido observada uma tendência a aumento do número de esporos e sua diversidade, embora estas mudanças foram apenas detectadas na análise de agrupamento.
9. A adubação verde com crotalária seguida de guandu também aumentou o número de esporos e a diversidade de FMAs quando utilizou-se maior espaçamento entre cafeeiros (3,6 x 1m) e três linhas de guandu.
10. O cultivo de pimentão utilizando altas doses de fertilizantes, mesmo que de origem orgânica, reduz a comunidade de esporos de FMAs, em número e diversidade.

CONCLUSÕES FINAIS

1. Os sistemas agroflorestais avaliados apresentaram diferentes níveis de complexidade florística e manejo dos cafeeiros que refletiram-se no estado fitossanitário dos cafeeiros e na qualidade do solo.
2. Nos sistemas agroflorestais, os indicadores de qualidade do solo relacionados com a matéria orgânica e as propriedades biológicas mostraram-se afetadas pela textura do solo, a sazonalidade da amostragem e o manejo, tendo sido verificadas as melhores condições destes indicadores nos sistemas sobre solo franco argiloso e argiloso.
3. O manejo orgânico da cultura e a manutenção da cobertura viva de *Arachis pintoi* promoveram altos teores de carbono orgânico e nitrogênio do solo, alta atividade microbiana e abundância da mesofauna, demonstrando os benefícios destas práticas na conservação da fertilidade química e biológica do solo.
4. A maior abundância e diversidade da mesofauna do solo e serapilheira foi observada nos sistemas com melhores condições de qualidade do solo.
5. O manejo agroflorestal promoveu populações diversas de nematóides. A manipulação de fatores para promover o equilíbrio destas populações pode conduzir à eficiente reciclagem dos nutrientes e ao controle das espécies que atuam como patógenos para o cafeeiro.
6. A cobertura viva de *Arachis pintoi*, estimulou a ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares o que pode ser aproveitado para melhorar a eficiência de uso de fósforo em solos com deficiência deste elemento.
7. Nos experimentos de cafeeiros sob manejo orgânico, a capacidade de esporulação de FMAs foi significativamente afetada pela mudança de vegetação de gramínea a cafeeiros, entretanto, o número de espécies de FMAs foi maior nas áreas com cultivo de café solteiro, consorciado com bananeiras ou com espécies de leguminosas para adubação verde do que no capim napier.
8. O levantamento de espécies de FMAs permitiu detectar as espécies de maior frequência associadas ao cafeeiros. Esta informação pode ser utilizada na procura das melhores combinações entre espécies de FMAs e cafeeiros para melhorar a eficiência da associação micorrízica.
9. A adubação verde com leguminosas promoveu a diversidade e esporulação de espécies de FMAs nos experimentos de café sob manejo orgânico, pelo que esta prática é recomendável para a obtenção dos benefícios da associação micorrízica no cafeeiro.
10. O manejo orgânico, a manutenção da cobertura viva de leguminosas, o manejo da vegetação arbórea, assim como a aplicação de práticas oportunas de renovação do cafezal podem contribuir para incrementar a produtividade dos cafeeiros, reduzir os custos de fertilização e controle químico de pragas e doenças, contribuindo para a produtividade e sustentabilidade dos sistemas de produção de café.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande oferta mundial de café gerada nos últimos anos pelo aumento da produtividade e da expansão da cultura, ocasionou uma crise sem precedentes para os produtores da região centro-americana devido à queda nos preços do grão. Diante de tal situação muitos cafeicultores decidiram realizar mudanças radicais no uso da terra, que durante muitos anos foi dedicada à produção de café sob manejo agroflorestal. As conseqüências ambientais dessa mudança, poderiam ser desastrosas para a preservação da qualidade do solo e da diversidade biológica. Esta situação torna-se mais grave nas regiões em que, por causas demográficas, as áreas de reserva florestal tem sido reduzidas consideravelmente, e em locais em que o uso da terra para fins agrícolas é limitado pela susceptibilidade dos solos à erosão.

Pelas evidências apresentadas neste estudo, corrobora-se que o manejo agroflorestal oferece a oportunidade de melhorar e preservar a qualidade do solo em uma diversidade de formas. A manipulação das espécies vegetais que integram o sistema, como também, dos fatores que levariam a incrementar a diversidade dos organismos do solo seriam alguns dos aspectos mais importantes para melhorar as condições para os cafeeiros, preservar a qualidade do solo e promover a sustentabilidade dos sistemas agroflorestais com café.

A seleção e introdução de espécies para produção de resíduos de diferente qualidade é uma medida estratégica para regular os ingressos de matéria orgânica, as taxas de mineralização e a disponibilidade dos nutrientes. As podas da vegetação, quando oportunamente realizadas permite sincronizar tal disponibilidade de nutrientes com as etapas de maiores requerimentos nutricionais dos cafeeiros. Por outro lado, a distribuição adequada das árvores facilita o controle do sombreamento para o melhor desenvolvimento dos cafeeiros. Assim, o manejo da cobertura arbórea e da distribuição espacial das árvores visaria obter o melhor aproveitamento das interações benéficas entre as espécies vegetais que integram o sistema e, ao mesmo tempo, favorecer as condições para estimular a ocorrência das diversas populações de organismos de solo, responsáveis pela decomposição dos resíduos, estabilização da matéria orgânica, transferência de nutrientes entre solo e espécies vegetais e outras diversas funções que eles desempenham.

A manipulação dos fatores que promovem o maior retorno de matéria orgânica e sua estabilização torna-se uma das principais ferramentas para o manejo da fertilidade e para a otimização dos diferentes processos biológicos do solo. Incrementar o número de espécies arbóreas e de estratos da cobertura vegetal pode ter impactos benéficos sobre a abundância e diversidade da fauna, permitindo melhorar o equilíbrio entre espécies com diversas funções dentro do ecossistema. Assim, por exemplo, pode-se favorecer a presença das espécies que exercem algum controle sobre organismos patogênicos, como também, das que participam dos processos de estruturação do solo e de estabilização da matéria orgânica. Atingir tal equilíbrio é uma meta desejável que pode conduzir à redução no uso de pesticidas e fertilizantes químicos, com impactos positivos para a conservação da qualidade ambiental e economia da produção de café.

Neste estudo foi demonstrado que o manejo agroflorestal, quando acompanhado de práticas de manejo orgânico e agroecológico, influencia positivamente a condição de diversas propriedades químicas e biológicas, indicadoras de melhor qualidade de solo. Evidenciou-se que incrementos nos teores de carbono, nitrogênio, biomassa microbiana e maior diversidade e abundância da mesofauna do solo estiveram relacionados ao

sistema com manejo orgânico. Observou-se também que a esporulação de FMAs foi estimulada pela presença de *Arachis pintoii* no sistema com esta cobertura, o que demonstra a utilidade desta prática nos solos com limitações de fósforo.

A introdução de leguminosas nas entrelinhas dos cafeeiros é, portanto, recomendável para estimular a população de FMAs. Esta prática, além de beneficiar a absorção do fósforo, permite introduzir apreciáveis quantidades de nitrogênio provenientes da fixação biológica, contribuindo a diminuir os custos da fertilização química. Por outro lado, a cobertura providenciada pelo uso de leguminosas e pelo manejo dos resíduos contribui para a redução de ervas daninhas com o qual os custos de mão de obra e as intervenções humanas no sistema também se reduzem. No entanto, é recomendável que o manejo das coberturas vivas seja realizado visando reduzir as relações de competição pelo uso da água e nutrientes, especialmente nas épocas de maior limitação destes recursos para a cultura, como também, obter o maior benefício para o fornecimento de nutrientes e para o incremento da diversidade da fauna benéfica para o sistema.

Na tentativa de melhorar a rentabilidade e conservar a sustentabilidade dos SAFs com café, recomenda-se avaliar a introdução de plantas que além de resíduos orgânicos, provejam produtos de alto valor comercial. Más, por outro lado, é indispensável que junto ao manejo das árvores, se apliquem as medidas necessárias para a renovação oportuna dos cafezais, desde que, a aplicação das podas e a substituição de plantas velhas e improdutivas são necessárias para melhorar o nível de produtividade dos cafeeiros.

O monitoramento da qualidade do solo mediante a seleção de indicadores apropriados, é uma atividade que deveria acompanhar qualquer mudança provocada pela introdução de novas espécies ou técnicas de manejo, com o propósito de garantir que a função do solo seja mantida de forma sustentável para uso atual e no longo prazo. Recomenda-se então, selecionar os indicadores de acordo com as facilidades para sua análise e interpretação, de modo que possa ser uma atividade de rotina como acontece com a avaliação da fertilidade e o monitoramento de pragas e doenças.

Neste estudo foi evidente que alguns dos sistemas agroflorestais avaliados mostraram deficiências no manejo dos cafeeiros. Tais deficiências podem ser o reflexo do período de recessão ou baixa rentabilidade da cultura durante o período em que foi realizado este estudo. A queda nos preços do grão no comércio internacional foi, em muitos casos, causa do abandono das lavouras cafeeiras. Entretanto, pela importância da cafeicultura dentro do contexto econômico e social de muitos países da região, sua permanência como atividade agrícola estaria garantida se se conseguissem melhorar as condições de rentabilidade da cultura. Este objetivo seria atingido mediante o incremento da produtividade dos sistemas tradicionais de cultivo de café e através da obtenção de certificados de produção orgânica, ecológica ou de comércio justo. Esta seria também uma forma de aproveitar e valorizar a quantidade de experiências e de conhecimentos acumulados pelos produtores através de muitos anos de dedicação à produção de cafeeiros sob manejo agroflorestal.

Finalmente tomando em consideração o impacto positivo do manejo agroflorestal sobre a qualidade do solo e a preservação da diversidade biológica, recomenda-se que a permanência destes sistemas sejam estimulados, juntamente com práticas de manejo orgânico e agroecológico, especialmente nas áreas com limitações para outros tipos de agricultura, como também, nas áreas de monocultura de café onde o manejo intensivo do solo e o alto uso de defensivos agrícolas colocam em risco a qualidade ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 35, n. 2-3, p. 121-150, 1991.
- ABD-ALLA, M. H.; OMAR, S. A.; KARANXHA, S. The impact of pesticides on arbuscular mycorrhizal and nitrogen-fixing symbioses in legumes. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.14, n. 3, p.191-200, 2000.
- ACKERMAN, I. L.; McCALLIE, E. L.; FERNANDES, E. C. M. *Inga* and Insects: the potential for management in agroforestry. In: PENNINGTON, T. E FERNANDES, E.C.M. (Ed.). **The genus Inga: utilization**. Eds. Kew: The Royal Kingdom Garden, 1998. p.117-132.
- AERTS, R. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. **Oikos**, v.79, n. 3, p.439-449, 1997.
- AGUILAR, A.; GUHARAY, F. **Como realizar un diagnóstico productivo en nuestro cafetal**. Costa Rica: Ed. Pascal Chaput, CATIE, 2002. 12 p. (Serie Cuadernos de Campo).
- ALPIZAR, L. FASSBENDER, H. W.; HEUVELDOP, J.; ENRIQUEZ, G.; FOLSTER H. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) e com poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. I. Biomasa y reservas nutritivas. **Turrialba**, Costa Rica, v. 35, n. 3, p. 233-242, 1985.
- ALTIERI, M. A. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 93, n. 1-3, p. 1-24, 2002.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, Turrialba, n. 64, p.17-24, 2002.
- ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. 1999. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. **Ciência e Agrotécnica**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 617-625, 1999.
- ANACAFÉ. **Manual de caficultura**. 3a. ed. Guatemala, Asociación Nacional del Café, 1998. 318 p.
- ANDERSON, J. P. E. Soil respiration. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, 1982. Part 2. p. 831-871.
- ANDERSON, J. M. Invertebrate-mediated transport processes in soils. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 24, n. 1-3, p. 5-19, 1988.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.25, n. 3, p.393-395, 1993.

- ANDERSON, T. H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 98, n. 1-3, p. 285-293, 2003.
- ARANGUREN, J.; ESCALANTE, G.; HERRERA, R. 1982. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. I. Coffee. **Plant and Soil**, The Hague, v. 47, p. 247-258, 1982.
- ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. de S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 597-603, 2003.
- ARAYA, M. Distribución y niveles poblacionales de *Meloidogyne spp.* y *Pratilenchus spp.* en ocho cantones productores de café en Costa Rica. **Agronomía Costarricense**, San José, n. 18, p. 183-187, 1994.
- ARMBRECHT, I.; PERFECTO, I. Litter-twig dwelling ant species richness and predation within a forest fragment and neighboring coffee plantations of contrasting habitat quality in México. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 97, n. 1-3, p. 107-115, 2003.
- ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 88, n. 2, p. 153-160, 2002.
- AUGÉ, R. M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v. 11, n. 1, p. 3-42, 2001.
- BABBAR, L. I.; ZAK, D. R. Nitrogen cycling in coffee agroecosystems: net N mineralization and nitrification in the presence and absence of shade trees. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 48, n. 2, p. 107-113, 1994.
- BAGO, B.; PFEFFER, P. E.; SHACHAR-HILL, Y. Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhiza. **Plant Physiology**, Rockville, v. 124, n. 3, 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**, Campinas, 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 associados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 225-232, 1996b.
- BAMFORTH, S. S. Interactions between protozoa and other organisms. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 24, n. 1-3, p. 229-234, 1988.
- BARBERENA-ARIAS, M. F.; AIDE, T. M. Species diversity and trophic composition of litter insects during plant secondary succession. **Caribbean Journal of Science**, Rio Piedras, v. 39, n. 2, p. 161-169, 2003.
- BARDGETT, R. D.; FRANKLAND, J. C.; WHITTAKER, J. B. The effect of agricultural practices on the soil biota of some upland grasslands. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 45, n. 1-2, p. 25-45, 1993.
- BARDGETT, R.D.; COOK, R. Functional aspects of soil animal diversity in agricultural grasslands. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 10, n. 3, p. 263-276, 1998.

- BARRADAS, V. L.; FANJUL, L. Microclimatic characterization of shaded and open grown coffee (*Coffea arabica*) plantations in Mexico. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 38, n. 1-3, p. 101-112, 1986.
- BAUHUS, J.; PARÉ, D.; CÔTE, L. Effects of tree species, stand age and soil type on soil microbial biomass and its activity in a southern boreal Forest. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 30, n. 8-9; p.1077-1089, 1998.
- BAKONYI, G.; NAGY, P. Temperatura and moisture induced changes in the structure of the nematode fauna of a semiarid grassland – patterns and mechanisms. **Global Change Biology**, v. 6, p. 697 – 707, 2000.
- BEARE, M. H. Fungal and bacterial pathways of organic matter decomposition and nitrogen mineralization in arable soil. P.33-70. In: BRUSSARD, L.; FERRERA CERRATO (Ed.). **Soil ecology in sustainable agricultural systems**. Boca Raton: CRC, 1997. p.33-70.
- BEER, J. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. **Agroforestry Systems**, Holland, v. 5, n. 1, p. 3-13, 1987.
- BEER, J. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. **Agroforestry Systems**, Holland, v. 7, n. 2, p. 103-114, 1988.
- BEER, J.; MUSCHLER R.; KASS D.; SOMARRIBA E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, Holland, v. 38, n. 1-3, p. 139-164, 1998.
- BENDING, G. D.; PUTLAND, C.; RAYNS, F. Changes in microbial community metabolism and labile organic matter fractions as early indicators of the impact of management on soil biology quality. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 31, n. 1, p. 78-84, 2000.
- BENDING, G. D.; TURNER, M. K.; RAYNS, F.; MARX, M. C.; WOOD M. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, 2004. No prelo.
- BONGERS, T. The maturity index: An ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. **Oecologia**, Heidelberg, v. 83, n. 1, p. 14-19, 1990.
- BONGERS, T.; BONGERS, M. Functional diversity of nematodes. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 10. n. 3, p. 239-251, 1998.
- BONGERS, T.; FERRIS, H. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v. 14, n. 6, p. 224-229, 1999.
- BONKOWSKI, M.; CHENG, W.; GRIFFITHS, B. S.; ALPHEI, J.; SCHEU, S. Microbial-faunal interactions in the rhizosphere and effects on plant growth. **European Journal of Soil Biology**, New Jersey, v. 36, n. 3, p. 135-147, 2000.
- BORNEMISZA, E. Nitrogen cycling in coffee plantations. **Plant and Soil**, The Hague, v. 67, p. 241-246, 1982.
- BRUSSAARD, L. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 9, n. 1-3, p. 123-135, 1998.

- CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, G. A.; GUERRA, J. G. M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Matéria orgânica em ecossistemas tropicais e subtropicais – fundamentos e aplicações**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 27-39.
- CAMPANHA, M. M.; SANTOS, R. H. S.; FREITAS, G. B.; MARTINEZ, H. E. P.; JARAMILLO-BOTERO, C. Avaliação da fertilidade e umidade do solo e fluxo de carbono e nutrientes na serrapilheira em sistema agroflorestal de café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro, BA. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2003. p. 274.
- CANELLAS, L. P.; BERNER, P. G.; DA SILVA, S. G.; SILVA, M. B.; SANTOS, G. A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma toposeqüência no Estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.1, p. 133-143, 2000.
- CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RUMJANEK, V. M.; MORAES, A. A.; GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.12, p.1529-1538, 2001.
- CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana de açúcar com preservação de palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 935;944, 2003.
- CANELLAS, L. P.; FAÇANHA, A. R. Chemical nature of soil humified fractions and their bioactivity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 3, p.233;240, 2004.
- CAPRONI, A. L. **Fungos micorrízicos arbusculares em áreas reflorestadas remanescentes da mineração de bauxita em Porto Trombetas/PA**. 2001. 186 p. Tese (Doutorado em Agronomia), UFRRJ, Seropédica, RJ.
- CARMO, L. A. do; COSTA, R. S. C. da; CAMPELO, K. de O. Ocorrência de micorrizas arbusculares em sistemas agroflorestais com café (*Coffea canephora*) em Rondônia. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro, BA. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2003. p. 305.
- CARPENTER-BOGGS, L.; KENNEDY, A. C.; REGANOLD, J. P. Organic and biodynamic management: effects on soil biology. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 64, n. 5, p. 1651-1659, 2000.
- CASTILLO, X.; JOERGENSEN, R. G. Impact of ecological and conventional arable management systems on chemical and biological soil quality indices in Nicaragua. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 33, n. 11-12, p. 1591-1597, 2001.
- CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 2, p. 133-142, 1990.
- CHANDER, K.; GOYAL, S.; NANDAL, D. P.; KAPOOR, K. K. Soil organic matter, microbial biomass and enzyme activities in a tropical agroforestry system. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 27, n. 4, p. 168-172, 1998.

CHAPMAN, K.; WHITTAKER, J. B.; HEAL, O. W. Metabolic and faunal activity in litters of tree mixtures compared with pure stands. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 24, n. 1-3, p. 33-40, 1988.

CLARK, R. B. Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization and host plant growth and mineral acquisition at low pH. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 192, p. 15-22, 1997.

COLEMAN, D.; FU, S.; HENDRIX, P.; CROSSLEY JR., D. Soil foodwebs in agroecosystems: impacts of herbivory and tillage management. **European Journal of Soil Biology**, v. 38, n. 1, p. 21-28, 2002.

COLEMAN, D. C.; CROSSLEY Jr., D. A.; BEARE, M. H.; HENDRIX, P. F. Interactions of organisms at root/soil and litter/soil interfaces in terrestrial ecosystems. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 24, n. 1-3, p. 117-134, 1988.

COLOZZI FILHO, A.; BALOTA, E. L.; CHAVES, J. C.; ANDRADE D. S. Alterações na biomassa microbiana do solo e em alguns de seus componentes em função da adubação verde do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas, MG. **Resumos expandidos...** Brasília: Embrapa Café/MINASPLAN, 2000. v. 2. p. 1393-1395.

COLOZZI FILHO, A.; CARDOSO, E. J. B. N. Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalária cultivada na entrelinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 2033-2042, 2000.

CONCEIÇÃO, M.; FREIXO, A. A.; ARAUJO, W. S.; CUNHA, T. J. F.; NETO, L. M.; SAAB, S. C. **Caracterização das substâncias húmicas em solos orgânicos do Estado do Rio de Janeiro, sob diversas atividades agrícolas**. Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 1999. 6 p. (Embrapa-Solos, Pesquisa em andamento, 5).

CONSTANTINIDES, M.; FOWNES, J. H. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: Relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 26, n. 1, p. 49-55, 1994.

CORRÊA NETO, T. de A.; PEREIRA, M. G.; CORREA, M. E. F.; DOS ANJOS, L. H. C. Deposição da serrapilheira e mesofauna edáfica em áreas de eucalipto e floresta secundária. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 70-75, 2001.

CRAGG, R. G.; BARDGETT, R. D. How changes in soil faunal diversity and composition within a trophic group influence decomposition processes. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 33, n. 15, p. 2073-2081, 2001.

CUENCA, G.; ARANGUREN, J.; HERRERA, R. Root growth and litter decomposition in a coffee plantation under shade trees. **Plant and Soil**, The Hague, v. 71, p. 477-486, 1983.

CUENCA, G.; ANDRADE, Z.; ESCALANTE, G. Diversity of Glomalean spores from natural, disturbed and revegetated communities growing on nutrient-poor tropical soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 30, n. 6, p. 711-719, 1998.

CUEVAS, E.; LUGO, A. E. Dynamics of organic matter and nutrient return from litterfall in stands of ten tropical tree plantation species. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 112, n. 3, p. 263-279, 1998.

- DA COSTA, P. **Fauna do solo em plantios experimentais de *Eucalyptus grandis* Maiden, *Pseudosamanea guachapele* Dugand e *Acacia mangium* Willd.** 2002. 93 p. Dissertação (Mestrado), UFRRJ, Seropédica, RJ.
- DA MATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field and Crops Research**, v. 86, n. 2-3, p. 99-114, 2004.
- DE GOEDE, R. G. M.; BONGERS, T. Nematode community structure in relation to soil and vegetation characteristics. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 29-44, 1994.
- DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: Método da fumigação-extração.** Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1997. 10 p. (Embrapa-CNPAB, Documentos, 37).
- DÍAS-RAVIÑA, M.; ACEA, M. J.; CARBALLAS, T. Seasonal fluctuations in microbial population and available nutrients in forest soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 16, n. 3, p. 205-210, 1994.
- DILLY, O.; MUNCH, J. C. Ratios between estimates of microbial biomass content and microbial activity in soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 27, n. 4, p. 374-379, 1998.
- DODD, J. C. 1999. Recent advances in understanding the role of arbuscular mycorrhizas in plant production. P.687-703. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.C. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas = Soil fertility, soil biology and plant nutrition interrelationships.** Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. p 687-703.
- DONALD, P. F. Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. **Conservation Biology**, Cambridge, v. 18, n. 1, p. 17-37, 2004.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W., COLEMAN, D.C., BEZDICEK, D.F., STEWART, B.A. (Ed.), **Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison: Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, 1994. p.3-22. (SSSA Special Publication, 35)
- DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 15, n. 1, p. 3-11, 2000.
- DUPONNOIS, R.; PLENCHETTE, C.; THIOULOUSE, J.; CADET, P. The mycorrhizal soil infectivity and arbuscular mycorrhizal fungal spore communities in soils of different aged fallows in Senegal. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 17, n. 2, p. 239-251, 2001
- EASON, W. R.; SCULLION, J.; SCOTT, E. P. Soil parameters and plant responses associated with arbuscular mycorrhizas from contrasting grassland management regimes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 73, n. 2, p. 245-255, 1999.
- EKSCHMITT, K.; GRIFFITHS, B. S. Soil biodiversity and its implications for ecosystem functioning in a heterogeneous and variable environment. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 10 n. 2, p. 201-215, 1998.
- EMBRAPA-CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPAS, 1997. 212 p. (Embrapa-CNPAS, Documentos 1).

- ENTRY, J. A.; RYGIEWICZ, 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**, New York, v. 7, n. 1, p.123-138, 2002.
- ESCALANTE, E. Café y agroforestería en Venezuela. **Agroforesteria en las Américas**, Turrialba, v. 4, n. 13, p 21 - 24, 1997.
- ESPINDOLA, J.A.A.; DE ALMEIDA, D.L.; GUERRA, J.G.M.; DA SILVA, E.M.R. Flutuação sazonal da biomassa microbiana e teores de nitrato e amônio de solo coberto com *Paspalum notatum* em um agroecossistema. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 104-113, 2001.
- ETTEMA, C. H.; BONGERS, T. Characterization of nematode colonization and succession in disturbed soil using the Maturity Index. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 16, n. 1, p. 79-85, 1993.
- ETTEMA, C.H.; WARDLE, D.A. Spatial soil ecology. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v. 17, n. 4, p. 177-183, 2002.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. 2004. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Consultado em: 09/2004.
- FASSBENDER, H. W.; BEER, J.; HEUVELDOP, J.; IMBACH, A.; ENRIQUEZ, G.; BONNEMANN, A. Ten year balances of organic matter and nutrients in agroforestry systems at CATIE. Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 45, n. 1-4, p. 173-183, 1991.
- FASSBENDER, H. W. **Modelos edafológicos de sistemas agroflorestales**. 2. ed. CATIE, Turrialba, 1993. 530 p.
- FERNANDEZ, C. E.; MUSCHLER, R. G. 1999. Aspectos de la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de café en América Central. In: BERTRAND, B. E RAPIDEL, B (Ed.). **Desafíos de la caficultura en Centroamérica**. San José, CIRAD/IRD/PROMECAFÉ, 1999. p.69-96.
- FERNANDES, E. C. M.; MOTAVALLI, P. P.; CASTILLA, C.; MUKURUMBIRA, L. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land use systems. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, n. 1-2, p.49-67, 1997.
- FERREIRA, D. F. **SISVAR versão 4.3**. (Computer program). DEX/UFLA, CNPq. 1999-2003.
- FIGUEIRA, A. F. **Dinâmica da população de nematóides do solo em quatro sistemas de manejo de uma unidade de produção agroecológica**. 2002, 48 p. Dissertação (Mestrado). UFRRJ, Seropédica. RJ.
- FNP. CONSULTORIA & COMERCIO. Disponível em: www.fnp.com.br Consultado em novembro, 2003
- FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; DA SILVA, E. M. R. Propriedades edáficas e fungos micorrízicos arbusculares como indicadores de qualidade em solos de tabuleiro. 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. **Resumos expandidos...** Lages, SC: UDESC. 2004. Não paginado. CD-ROM.

- FRANCIS, R.; READ, D. J. The contribution of mycorrhizal fungi to the determination of plant community structure. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 159, p. 11-25, 1994.
- FRECKMAN, D. W. Bacterivorous nematodes and organic-matter decomposition. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 24, n. 1-3, p. 195-217, 1988.
- FRECKMAN, D. W.; CASWELL, E. P. The ecology of nematodes in agroecosystems. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 23, p. 275-296, 1985.
- FRECKMAN, D. W.; ETTEMA, C. H. Assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 45, n. 3-4, p. 239-261, 1993.
- FREITAS, H. R.; MENDONÇA, E. S. Dinâmica de matéria orgânica em sistemas agroflorestais: caracterização da matéria orgânica do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus, BA. **500 anos de uso do solo no Brasil: (anais...)**. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2000. p. 271-272. CD ROM.
- FREITAS, R. B.; OLIVEIRA, L. E. M.; FILHO, N. D.; SOARES, A. M. Influência de diferentes níveis de sombreamento no comportamento fisiológico de cultivares de café (*Coffea arabica* L). **Ciência e Agrotécnica**, Lavras, v. 27, n. 4, p. 804-810, 2003.
- FROMM, H.; WINTER, K.; FILSER, J.; HANTSCH, R.; BEESE, F. The influence of soil type and cultivation system on the spatial distribution of the soil fauna and microorganisms and their interactions. **Geoderma**, Amsterdam, v. 60, n. 1-4, p. 109-118, 1993.
- FU, S.; COLEMAN, D. C.; HENDRIX, P. F.; CROSSLEY Jr., D. A. Responses of trophic groups of soil nematodes to residue application under conventional tillage and no till regimes. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, n. 11-12, p. 1731-1741, 2000.
- GALLINA, S.; MANDUJANO, S.; GONZÁLEZ-ROMERO, A. Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of central Veracruz, México. **Agroforestry Systems**, Holland, v. 33, n. 1, p. 13-27, 1996.
- GAMA-RODRIGUES, E. F. da; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p. 361-365, 1997.
- GAMA-RODRIGUES, E. F. da. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A. & CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Matéria orgânica em ecossistemas tropicais e subtropicais – fundamentos e aplicações**. Porto Alegre, Genesis, 1999. p. 227-243.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; DE-POLLI, H. Biomassa na ciclagem dos nutrientes. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria-RS. **Biodinâmica do Solo...** Santa Maria: SBCS, SBM, 2000. FERTBIO 2000. CD-ROM.
- GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogamous species extracted from soil by wet sieving and decanting. **British Mycological Society Transactions**, Cambridge, v. 46, p. 235-244, 1963.

- GIANINAZZI-PEARSON, V.; DUMAS-GAUDOT, E.; GOLLOTE, A.; TAHIRI-ALAOUI, A.; GIANINAZZI, S. Cellular and molecular defence-related root responses to invasion by arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, Oxford, v. 133, n. 1, p. 45-57, 1996.
- GONZÁLEZ, G.; LEY, R.E.; SCHMIDT, S.K.; ZOU, X.; SEASTEDT, T.R. Soil ecological interactions: comparisons between tropical and subalpine forests. **Oecologia**, Berlin, v. 128, n. 4, p. 549-556, 2001.
- GOMES, J. B. V.; CURI, N.; MOTTA, P. E. F.; KER, J. C.; MARQUES, J. J. G. S. M.; SCHULZE, D. G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos do bioma cerrado. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p.137-153, 2004.
- GUADARRAMA, P.; ALVAREZ-SÁNCHEZ, F. J. Abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores in different environments in a tropical rain forest, Veracruz, México. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v. 8, n. 5, p. 267-270, 1999.
- GUHARAY, F.; MONTERROSO, D.; STAYER, C. El diseño y manejo de la sombra para la supresión de plagas en cafetales de América Central. **Agroforesteria en las Américas**, Turrialba, v. 8, n. 29, p. 22-27, 2001.
- HAGGAR, J. P.; SCHIBILI, C.; STAYER, C. Como manejar árboles de sombra em cafetales. **Agroforesteria en las Américas**, Turrialba, v. 8, n. 29, p. 32-36, 2001.
- HANDAYANTO, E.; CADISCH, G.; GILLER, K.E. Nitrogen release from prunings of legume hedgerow trees in relation to quality of the prunings and incubation method. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 160, n. 2, p.237-248, 1994.
- HARINIKUMAR, K. M.; BAGYARAJ, D. J. Effects of cropping sequence, fertilizer and farmyard manure on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in different crops over three consecutive seasons. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 7, p. 173-175, 1989.
- HARTE, J.; RAWA, A.; PRICE, V. Effects of manipulated soil microclimate on mesofaunal biomass and diversity. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 28, n. 3, p. 313-322, 1996.
- HARRISON, M.J. The arbuscular mycorrhizal symbiosis: an underground association. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v. 2, n. 2. p. 54-60, 1997.
- HASELWANDTER, K.; BOWEN, G. D. Mycorrhizal relations in trees for agroforestry and land rehabilitation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 1-17, 1996.
- HENEGHAN, L.; COLEMAN, D. C.; ZOU, X.; CROSSLEY Jr., D. A.; HAINES, B. L. Soil microarthropod community structure and litter decomposition dynamics: A study of tropical and temperate sites. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 9, n. 1-3, p. 33-38, 1998.
- HENDERSON, P. A.; SEABY, R. M. H. **Species diversity and richness, versão 1.2** (Computer program). CNPq. Projeto Mamirauá. 1997.
- HERNANDEZ G. O.; BEER, J.; VON PLATEN, H. Rendimiento de café (*Coffea arabica* cv Caturra), producción de madera (*Cordia alliodora*) y análisis financiero de plantaciones con diferentes densidades de sombra en Costa Rica. **Agroforesteria en las Américas**, Turrialba, v. 4, n. 13, p 8-13, 1997.

- HERZOG, F. Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Côte d'Ivoire. **Agroforestry Systems**, Holland, v. 27, n. 3, p. 259-267, 1994.
- HODGE, A. Microbial ecology of the arbuscular mycorrhiza. **FEMS Microbiology Ecology**, Haren, v. 32, n. 2, p. 91-96, 2000.
- HUSBAND, R.; HERRE, E. A.; YOUNG, J. P. W. Temporal variation in the arbuscular mycorrhizal communities colonising seedling in a tropical forest. **FEMS Microbiology Ecology**, Haren, v. 42, n. 2, p. 131-136, 2002.
- IBARRA-NUÑES, G.; GARCIA-BALLINAS, J. A. Diversidad de tres familias de arañas tejedoras (Araneae: Araneidae, Tetragnathidae, Theridiidae) en cafetales del Soconusco, Chiapas, México. **Folia Entomologica Mexicana**, México, n.102, p.11-20, 1998.
- ICO – INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Statistics**. Disponível em: www.ico.org. Consultado em: 2/03/2004.
- IMAZ, A.; HERNÁNDEZ, M. A.; ARIÑO, A. H.; ARMENDÁRIZ, I.; JORDANA, R. Diversity of soil nematodes across a Mediterranean ecotone. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 20, n. 3, p. 191-198, 2002.
- INGLEBY, K.; DIAGNE, O.; DEANS, J. D.; LINDLEY, D. K.; NEYRA, M.; DUCOUSSO, M. Distribution of roots, arbuscular mycorrhizal colonisation and spores around fast growing tree species in Senegal. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 90, n. 1, p. 19-27, 1997.
- INGHAM, R.E. Interactions between nematodes and vesicular arbuscular mycorrhizae. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 24, n. 1-3, p. 169-182, 1988.
- INGRAM, J. S. I.; FERNANDES, E. C. M. Managing carbon sequestration in soils. Concepts and terminology. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 87, n. 1, p. 111-117, 2001.
- INVAM. International culture collection of (vesicular) arbuscular mycorrhizal fungi. <http://invam.caf.wvu.edu/>. Consultado em: agosto 2001 – agosto 2003.
- JANOS, D. P. Mycorrhizas applications in tropical forestry: Are temperate-zone approaches appropriate?. In: F. S. P. NG. (Ed.). **Trees and Mycorrhiza**. Kuala Lumpur, Malaysia, Forest Research Institute, 1988. p. 2 - 58.
- JASPER, D. A.; ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. Soil disturbance reduces the infectivity of external hyphae of VA mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, Oxford, v. 112, n. 1, p. 93-99, 1989.
- JENKINS, W. R. A rapid centrifugal flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, Beltsville, v. 48, p. 62, 1964.
- JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. 1981. Microbial biomass in soil. Measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Ed.). **Soil biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1981, p.415-471.
- JOERGENSEN, R. G.; CASTILLO, X. Interrelationships between microbial and soil properties in young volcanic ash soils of Nicaragua. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 33, n. 11-12, p. 1585-1589, 2001.

- JOHANSSON, J. F.; PAUL, L. R.; FINLAY, R. D. Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. **FEMS Microbiology Ecology**, Haren, v. 48, n. 1, p. 1-13, 2004.
- JOHNSON, D.; LEAKE, J. R.; OSTLE, N.; INESON, P.; READ, D. J. In situ (CO₂)-C-13 pulse-labelling of upland grassland demonstrates a rapid pathway of carbon flux from arbuscular mycorrhizal mycelia to the soil. **New Phytologist**, Oxford, v. 153, n. 2, p. 327-334, 2002.
- JOHNSON, M. D. Effects of shade-tree species and crop structure on the winter arthropod and bird communities in a Jamaican shade coffee plantation. **Biotrópica**, Washington, v. 32, n. 1, p.133-145, 2000.
- KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 61, n. 1, p. 4-10, 1997.
- KASS, D. C. L.; SYLVESTER-BRADLEY, R.; NYGREN P. The role of nitrogen fixation and nutrient supply in some agroforestry systems of the Americas. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 29, n. 5-6, p. 775-785, 1997.
- KENNEDY, A. C. Bacterial diversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 74, n. 1-3, p. 65-76, 1999.
- KHANNA, P. K. Nutrient cycling under mixed-species tree systems in southeast Asia. **Agroforestry Systems**, Holland, v. 38, n. 1-3, p. 99-120, 1998.
- KLADIVKO, E. J. Tillage systems and soil ecology. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, n. 1-2, p. 61-76, 2001.
- KNOEPP, J. D.; COLEMAN, D. C.; CROSSLEY Jr., D. A.; CLARK, J. S. Biological indices of soil quality: an ecosystem case study of their use. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 138, n. 1-3, p. 357-368, 2000.
- KOEHLER, H. Secondary succession of soil mesofauna: A thirteen year study. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.9, n. 1-3, p.81-86, 1998.
- KOEHLER, H. Natural regeneration and succession – results from a 13 years study with reference to mesofauna and vegetation, and implications for management. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 51, n. 2-4, p. 123-130, 2000.
- KOIDE, R. T. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. **The New Phytologist**, Cambridge, v. 117, p. 365-386.
- KONONOVA, M. M. **Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación**. Barcelona, Oikos-tau, 1982. 364 p.
- KONONOVA, M. M.; BELCHIKOVA, N. Rapid method of determining the humus composition of mineral soils. **Sovietic Soil Science**, v. 10, p. 75-87, 1961.
- KOTTKE, I.; BECK, A.; OBERWINKLER, F.; HOMEIER, J.; NEILL D. Arbuscular endomycorrhizas are dominant in the organic soil of a neotropical montane cloud forest. **Journal of Tropical Ecology**, New York, v. 20, n. 1, p. 125-129, 2004.
- KUMAR, D.; TIESZEN, L.L. Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, Trinidad, v. 16, n. 1, p. 13-16, 1980.

LAGEMANN, J.; HEUVELDOP, J. Characterization and evaluation of agroforestry systems: the case of Acosta Puriscal, Costa Rica. **Agroforestry Systems**, Holland, v. 1, n. 2, p. 101-115, 1983.

LEE, K.E.; FOSTER, R. C. Soil fauna and soil structure. **Australian Journal of Soil Research**, Beltsville, v. 29, p. 745-776, 1991.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. L. C.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 821-832, 2003.

LI, Q.; LEE ALLEN, H.; WOLLUM II, A. G. Microbial biomass and bacterial functional diversity in forest soils: effects of organic matter removal, compaction and vegetation control. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 36, n. 4, p. 571-579, 2004.

LOPES, E. S.; OLIVEIRA, E.; DIAS, R.; SCHENK, N. C. Ocurrence and distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in central São Paulo State, Brazil. **Turrialba**, San José, v. 33, n. 4, p. 417-422, 1983.

LÓPEZ-FANDO, C.; BELLO, A. Variability in soil nematode populations due to tillage and crop rotation in semi-arid Mediterranean agrosystems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 36, n. 1-2, p. 59-72, 1995.

MACÊDO, T.S.; ABREU, S.L.; DA COSTA, R.S.C.; SAMPAIO, F.A.R.; MILESKI, L.M. 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. **Resumos expandidos...** Lages, SC: UDESC. 2004. Não paginado. CD-ROM.

McSORLEY, R. Relationship of crop and rainfall to soil nematode community structure in perennial agroecosystems. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 6, n. 2, p. 147-159, 1997.

McSORLEY, R.; FREDERICK, J. J. Effect of subsurface clay on nematode communities in sandy soil. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 19, n. 1, p. 1-11, 2002.

MAFONGOYA, P. L.; GILLER, K. E.; PALM, C. A. Decomposition and nitrogen release patterns of tree prunings and litter. **Agroforestry Systems**, Holland, v. 38, n. 1-3, p. 77-97, 1998.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A.de. **Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações**. 2. Ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MANLAY, R. J.; CADET, P.; THIOULOUSE, J.; CHOTTE, J. Relationships between abiotic and biotic soil properties during fallows periods in the sudanian zone of Senegal. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 14, n. 2, p. 89-101, 2000.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; DE MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solos de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1177-1182, 2000.

MARSCHENER, H. Role of root growth, arbuscular mycorrhizal and root exudates for the efficiency in nutrient acquisition. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 56, n. 1-2, p. 203-207, 1998.

MARSCHNER, P.; MARINO, W.; LIEBEREI, R. Seasonal effects on microorganisms in the rhizosphere of two tropical plants in a polyculture agroforestry system in Central Amazonia, Brazil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 35, n. 1, p. 68-71, 2002.

MASCIANDARO, G.; CECCANTI, B.; GALLARDO-LANCHO, J. F. Organic matter properties in cultivated versus set-aside arable soils. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 67, n. 2-3, p. 267-274, 1998.

MATIELLO, J. B.; DANTAS, F. A. S.; CAMARGO, A. P.; RIBEIRO, R. N. C. Níveis de sombreamento em cafezal na região serrana de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 15, Maringá, PR. **Trabalhos apresentados** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1989. p. 182.

MAZZARINO, M. J.; SZOTT, L.; JIMENEZ, M. Dynamic of soil total C and N, microbial biomass, and water soluble C in tropical agroecosystems, **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 2. p. 205-214, 1993.

McSORLEY, R.; FREDERICK, J. J. Effect of subsurface clay on nematode communities in a sandy soil. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 19, n. 1, p. 1-11, 2002.

MELE, P. M.; CARTER, M. R. Effect of climatic factors on the use of microbial biomass as an indicator of changes in soil organic matter. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. (Ed.). **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. New York: John Wiley & Sons, 1993. p. 57-64

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

MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; FERREIRA NETO, P. S. Cultivo do café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 3. p. 375-383, 2001.

MENDONÇA, E. S.; STOTT, D. E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee systems in Southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, Holland, v. 57, n. 2. p. 117-125, 2003.

MENDONÇA, M. M. **Diagnóstico de propriedades edáficas em áreas agrícolas e de floresta com elevado teor de matéria orgânica no Município do Rio de Janeiro**. 1999, 195 p. Dissertação (Mestrado). UFRRJ, Itaguaí, RJ.

MEZQUITA, H. A.; DE PAULA, M. B.; ALVARENGA, M. I. N. Indicadores de impacto das atividades agropecuárias. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 202, p. 57-62, 70-71, 2000.

MIGUEL, A. E.; MATIELLO, J. B.; CAMARGO, A. P.; ALMEIDA, S. R.; GUIMARAES, S. R. Efeitos da arborização do cafezal com *Grevillea robusta* nas temperaturas do ar e umidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 21, 1995, Caxambu, MG. **Resumos...** Rio de Janeiro, MARA/PROCAFE, 1995. p.55-60.

- MILLNER, R.M.; JASTROW, J.D. Mycorrhizal fungi influence soil structure. In: KAPULNIK, Y.; DOUDS, D.D. (Ed.). **Arbuscular mycorrhizae: Molecular biology and physiology**. The Netherlands: Kluwer, 2000. p. 3-18.
- MIRANDA, E. M.; PEREIRA, R. C. A.; BERGO, C. L. Comportamento de seis linhagens de café (*Coffea arabica* L) em condições de sombreamento e a pleno sol no estado do Acre, Brasil. **Ciência e Agrotécnica**, Lavras, v. 23, n. 1, p. 62-69, 1999.
- MOGUEL, P.; TOLEDO, V. M. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of México. **Conservation Biology**, Cambridge, v. 13, n. 1. p. 11-21, 1999.
- MONRO, A.; ALEXANDER, D.; REYES, J.; RENDEROS, M.; VENTURA, N. **Arboles de los cafetales de El Salvador**. El Salvador: The Natural History Museum, 2001, 183 p.
- MONTEITH, J. L.; ONG, C. K.; CORLETT, J. E. Microclimate interactions in agroforestry. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 45, n. 1-4, p. 31-44, 1991.
- MONTERROSO SALVATIERRA, D.; CALDERON VEGA, M. **Las enfermedades del café**. Nicaragua: CATIE-INTA/MIP-NORAD, 1995. 55 p.
- MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. de A.; GOMES, J. C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1131-1137, 2003.
- MORÓN, M. A.; LÓPEZ-MÉNDEZ, J. A. Análisis de la entomofauna necrófila de un cafetal en el Soconusco, Chiapas, México. **Folia Entomológica Mexicana**, México, n. 63, p. 47-59, 1985.
- MÜLLER, T.; HÖPER, H. Soil organic matter turnover as a function of the soil clay content: consequences for model applications. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.36, n.6, p.877-888, 2004.
- MUNYAZIZA, E.; KEHRI, H. K.; BAGYARAD, D. J. Agriculture intensification, soil biodiversity and agro-ecosystem function in the tropics: the role of mycorrhiza in crops and trees. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.6, n. 1, p.77-85, 1997.
- MUÑOZ, G.; ALVARADO, J. Importancia de la sombra en el cafetal. **Agroforesteria en las Américas**, Turrialba, v. 4, n. 13, p 25 – 27, 1997.
- MURAGE, E. W.; KARANJA, N. K.; SMITHSON, P. C.; WOOMER, P. L. Diagnostic indicators of soil quality in productive and non productive smallholders' fields of Kenya's Central Highlands. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 1-8, 2000.
- MUSCHLER, R. G. **Arboles en cafetales**. Turrialba: CATIE/GTZ, 1999. 139 p.(CATIE, Materiales de enseñanza, 45) (CATIE/GTZ, Proyecto agroflorestal. Modulo de Enseñanza Agroforestal, 5).
- MUSCHLER, R. G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, Holland, n. 51, v. 2, p. 131-139, 2001.
- MUTHUKUMAR, T.; SHA, L.; YANG, X.; CAO, M.; TANG, J.; ZHENG, Z. Distributions of roots and arbuscular mycorrhizal associations in tropical forest types of Xishuangbanna, southwest China. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 22, n. 3, p. 241-253, 2003.

- NAIR, P. K. R. **An introduction to Agroforestry**. Dordrecht: Kluwer, 1993. 499 p.
- NAIR, P. K. R.; BURESH, R. J.; MUGENDI, D. N.; LATT, C. R. Nutrient cycling in tropical agroforestry systems: Myths and Science. In: BUCK, L. E.; LASSOIE, J. P.; FERNANDES, E. C. M. (Ed.). **Agroforestry in Sustainable Agricultural Systems**. Boca Raton: CRC, 1999. p.1-31 (Advances in Agroecology).
- NARDI, S.; MORARI, F.; BERTI, A. ; TOSONI, M.; GIARDINI, L. Soil organic matter properties after 40 years of different use of organic and mineral fertilisers. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 21, n. 3, p. 357-367, 2004.
- NEHER, D. A. Soil community composition and ecosystem processes. **Agroforestry Systems**, Holland, v.45, n. 1-3, p.159-185, 1999.
- NEHER, D. A. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. **Journal of Nematology**, St. Paul, v. 33, n. 4, p. 161-168, 2001.
- NESTEL, D. Coffee in Mexico: international market, agricultural landscape and ecology. **Ecological Economics**, New York, v. 15, n. 2, p. 165-178, 1995.
- NGUYEN, K. B. **Nematode identification**. Disponível em: [www. Ifas.efl.edu](http://www.ifas.efl.edu). Consultado em: novembro de 2002.
- NORTCLIFF, S. Standardization of soil quality attributes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 88, n. 2, p. 161-168, 2002.
- NUNES, L. A. P. L.; CORREIA, M. E. F.; DIAS, L. E.. Diversidade de fauna de um solo cultivado com café e sob mata secundária em diferentes períodos em Viçosa-MG. 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. **Resumos expandidos...** Lages, SC: UDESC. 2004. Não paginado. CD-ROM.
- NUNES, M. A.; RAMALHO, J. D. C.; DIAS, M. A. Effect of nitrogen supply on the photosynthetic performance of leaves from coffee plants exposed to bright light. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 44, n. 4, p. 893-899, 1993.
- NYBERG, G.; EKBLAD, A.; BURRESH, R.; HÖGBERG, P. Short term patterns of carbon and nitrogen mineralisation in a fallow field amended with green manures from agroforestry trees. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 36, n. 1, p. 18-25, 2002.
- OELBERMANN, M.; VORONEY, R. P.; KASS, D. C. L.; SCHLÖNVOIGT, A. M. Above and belowground carbon inputs in 19-, 10- and 4-year-old Costa Rican alley cropping systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, 2004a. No prelo.
- OELBERMANN, M.; VORONEY, R. P.; GORDON, A. M.. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, 2004b. No prelo.
- OADES, J. M.; JENKINSON, D. S. Adenosine triphosphate content of the soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 11, n. 2, p. 201-204, 1979.

- ONG, C. K.; CORLETT, J. E.; SING, R. P.; BLACK, C. R. Above and belowground interactions in agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 45, n. 1-4, p. 45-57, 1991.
- PALM, C. A.; SÁNCHEZ, P. A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 23, n. 1, p. 83-88, 1991.
- PALM, C. A. Contributions of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. **Agroforestry Systems**, Holland, v. 30, n. 1-2, p. 105-124, 1995.
- PANDE, M.; TARAFDAR, J. C. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in neem-based agroforestry systems in Rajasthan. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 26 n. 2, p. 233-241, 2004.
- PARFITT, R. L.; THENG, B. K. G.; WHITTON, J. S.; SHERPERD, T. G. Effect of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, Amsterdam, v.75, n. 1, p. 1-12, 1997.
- PARKINSON, D. Linkages between resource availability, microorganisms and soil invertebrates. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 24, n. 1-3, p. 21-32, 1988.
- PEDERSEN, C. T.; SYLVIA, D. M. 1996. Mycorrhiza: ecological implications of plant interactions. In: MUKERJ, K.G. (Ed.). **Concepts in Mycorrhizal Research**. Netherlands: Kluwer, 1996. p. 195-222.
- PEREIRA, R. de C. A.; VALENTIM, J. F.; SÁ, C. P.de; SALES, F. de. **Efeito da cobertura do solo com amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* e *Arachis labrata*) na produtividade de café no Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa-CPAF/AC, 1997. 5p. (Embrapa-CPAF/AC. Pesquisa em Andamento. 96).
- PEREZ MARIN, A. M. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 2002. 83 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- PERFECTO, I.; RICE, R. A.; GREENBERG, R., VAN DER VOORT, M. E.. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. **BioScience**, Washington, v. 46, n. 8, p. 598-608, 1996.
- PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. Microclimatic changes and the indirect loss of ant diversity in a tropical agro-ecosystem. **Oecologia**, Heidelberg, v. 108, n. 3, p. 577-582, 1996.
- PETERS, L. Y. K.; SOTO-PINTO, L.; PERALES, H.; MONTOYA, G.; ISHIKI, M. Coffee production, timber and firewood in traditional and Inga-shaded plantations in Southern Mexico. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 95, n. 2-3, p. 481-493, 2003.
- PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; EBELING, G. A. Frações da matéria orgânica em diferentes sistemas de cultivo de oleráceas e cobertura do solo após seis anos de cultivo em Latossolo Vermelho Amarelo. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTANCIAS HÚMICAS. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, Departamento de Solos, 2001. p.126-127.
- PORAZINSKA, D. L.; DUNCAN, L. W.; McSORLEY, R.; GRAHAM, J. H. Nematode communities as indicators of status and processes of a soil ecosystems influenced by

agricultural management practices. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 13, n. 1, p. 69-86, 1999.

RABATIN, S. C.; STINNER, B. R. Indirect effects of interactions between VAM fungi and soil-inhabiting invertebrates on plant processes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 24, n. 1-3, p. 135-146, 1988.

RAMALHO, J. D. C.; CAMPOS, P. S.; TEXEIRA, M.; NUNES, M. A. Nitrogen dependent changes in antioxidant system and in fatty acid composition of chloroplast membranes from *Coffea arabica* L. Submitted to high irradiance. **Plant Science**, Himerick, v. 135, n. 2, p. 115-124, 1998.

RAO, M. R.; NAIR, P. K. R.; ONG, C. K. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Holland, v. 38, n. 1, p. 3-50, 1998.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 26-40, 1985.

RICCI, M. dos S. F.; ALVES, B. J. R.; AGUIAR, L. A. de; MANOEL, R. M.; SEGGES, J. H.; OLIVEIRA, F. F. de; MIRANDA, S. C. de. **Influência da adubação verde sobre o crescimento, estado nutricional e produtividade do café (*Coffea arábica*), cultivado no sistema orgânico**. Seropédica: Embrapa-Agrobiologia, 2003. 28 p. (Embrapa-Agrobiologia. Documentos, 153).

RICCI, M. dos S. F.; AQUINO, A. M.; SILVA, E. M. R. da; PEREIRA, J. C.; REIS, V. M. **Transformações biológicas e microbiológicas ocorridas no solo de um cafezal convencional em conversão para orgânico**. Seropédica: Embrapa-Agrobiologia, 1999. 10 p. (Embrapa-Agrobiologia. Comunicado Técnico, 31).

RICE, R. A.; WARD, J. R. 1996. **Coffee, Conservation and Commerce in the western hemisphere**. Smithsonian Migratory Bird Center, Natural Resources Defense Council, Washington, 1996. 47 p.

RIVERO, C.; PAOLINI, J. Caracterización de la materia orgánica de tres suelos venezolanos. **Revista Facultad de Agronomía**, Macaray, n. 20, p. 167-176, 1994.

RODRIGUES, G. S.; LIGO, M. A. V.; MINEIRO, J. L. de C. Organic matter decomposition and microarthropod community structure in corn fields under low input and intensive management in Guaíra (SP). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, n. 1-2, p. 69-77, 1997.

ROMERO-ALVARADO, Y.; SOTO-PINTO, L.; GARCIA-BARRIOS, L.; BARRERA-GAYTÁN; J. F. Coffee yields and soil nutrients under the shades of Inga sp. vs. multiple species in Chiapas, México. **Agroforestry Systems**, Holland, v. 54, n. 3, p. 215-224, 2002.

ROSS, D. J.; SPARLING, G. P.; BURKE, C. M.; SMITH, C. T. Microbial biomass C and N, and mineralizable-N in litter and mineral soil under *Pinus radiata* on a coastal sand: Influence of stand age and harvest management. **Plant and Soil**, The Hague, v. 175, p. 167-177, 1995.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O. 1996. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: SIQUEIRA, J. O. (Ed.). **Avanços em Fundamentos e Aplicação de Micorrizas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras/DCS e DCF, 1996. p.203-254.

SAGGIN JÚNIOR, O. J. Dependência micorrízica de espécies arbóreas nativas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23. **Resumos...** Caxambu, Lavras: UFLA/SBCS/SBM, 1998. p. 783.

- SCHENK, N. C.; PEREZ, Y. **A manual of identification of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi**. 2. ed. Gainesville: University of Florida, 1988. 241 p.
- SCHERER, A.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; TAVARES FILHO, J. Biomassa microbiana e micorrizas arbusculares em agrossistema café orgânico arborizado. 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. **Resumos expandidos...** Lages, SC: UDESC. 2004. Não paginado. CD-ROM.
- SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 138, n. 1-3, p. 335-356, 2000.
- SCHROTH, G.; LEHMANN, J.; RODRIGUES, M. R. L.; BARROS, E.; MACEDO, J. L. V. Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. **Agroforestry Systems**, Holland, v. 58, n. 3, p. 85-102, 2001.
- SEASTEDT, T. R. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. **Annual Review of Entomology**, St. Paul, v. 29, n. 1, p. 25-46, 1984.
- SENEVIRATNE, G. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 31, n. 1, p. 60-64, 2000.
- SENEVIRATNE, G.; VAN HOLM, L. H. J.; KULASOORIYA, S. A. Quality of different mulch materials and their decomposition and N release under low moisture regimes. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 26, n. 2, p. 136-140, 1998.
- SETÄLÄ, H.; MARSHALL, V. G.; TROFYMOW, J. A. Influence of body size of soil fauna on litter decomposition and ¹⁵N uptake by poplar in a pot trial. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 28, n. 12, p. 1661-1675, 1996.
- SETÄLÄ, H.; LAAKSO, J.; MIKOLA, J.; HUHTA, V. Functional diversity of decomposer organisms in relation to primary production. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 9, n. 1-3, p. 25-31, 1998.
- SEVERINO, L. S.; OLIVEIRA, T. S.de. Sistema de cultivo sombreado do cafeeiro (*Coffea arabica*, L.) na região de Baturité, Ceará. **Revista Ceres**, Minas Gerais, v. 46, n. 268, p. 635-652, 1999.
- SHARROW, S. H.; ISMAIL, S. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations and pastures in western Oregon, USA. **Agroforestry Systems**, Holland, v. 60, n. 2, p. 123-130, 2004.
- SIEMANN, E. Experimental test of effects of plant productivity and diversity on grassland arthropod diversity. **Ecology**, Durham, v. 79, n. 6. p. 2057-2070, 1998.
- SIEVERDING, E. 1991. **Vesicular-arbuscular mycorrhizal management in tropical agrosystems**. Eschborn: Technical Cooperation. Federal Republic of Germany, 1991. 317 p.
- SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotechnology do solo. Fundamentos e Perspectivas**. Brasília: MEC, Ministério de Educação, ABEAS, Lavras: ESAL, FAEPE, 1988. 235 p.
- SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.C. (Ed.). **Inter-relação fertilidade,**

biologia do solo e nutrição de plantas = Soil fertility, soil biology and plant nutrition interrelationships. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. p.

SIQUEIRA, J. O.; COLOZZI FILHO, A.; OLIVEIRA, E. Ocorrência de micorrizas vesicular-arbusculares em agro e ecossistemas naturais do Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 12, p. 1499-1506. 1989.

SIMMONS, C. S.; TARANO T., J. M.; PINTO Z., J. H. 1959. **Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala.** Guatemala: Instituto Agropecuario Nacional, Ministerio de Agricultura. Ed. José de Pineda Ibarra, 1959. 995 p.

SMART Jr., G. C.; NGUYEN, K. B. 1988. **Illustrated key for the identification of common nematodos in Florida.** Florida: University of Florida, 1988. 91 p.

SMBC - SMITHSONIAN MYGRATORY BIRD CENTER. 2001. **El cultivo de café com sombra: Critérios para cultivar um café “Amistoso com las aves”.** Disponível em: <http://www.natzo.si.edu/smbc/research/coffee/coffee.htm>. Consultado em: novembro 2002.

SMITH, S. E.; GIANINAZZI-PEARSON, V.; KOIDE, R.; CAIRNEY, J. W. G. Nutrient transport in mycorrhizas: structure, physiology and consequences for efficiency of the symbiosis. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 159, p. 103-113, 1994.

SOTO-PINTO, L.; PERFECTO, I.; CASTILLO-HERNANDEZ, J.; CABALLERO-NIETO, J. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, México. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 80, n. 1-2, p. 61-69, 2000.

SOTO-PINTO, L.; PERFECTO, I.; CABALLERO-NIETO, J. Shade over coffee: its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, México. **Agroforestry Systems**, Holland, v. 55, n. 1, p. 37-45, 2002.

SOMARRIBA, E. Diversidad Shannon. **Agroforestería en las Américas**, Turrialba, v. 6, n. 23, p. 72-74, 1999.

STATSOFT. **Electronic Statistics Textbook.** Tulsa: StatSoft, 2004. Disponível em: <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>. Consultado em: junho 2004.

STAVER, C. Managing ground cover heterogeneity in coffee (*Coffea arabica* L.) under managed tree shade: from replicated plots to farmer practice. In: BUCK, L.E.; LASSOIE, J. P.; FERNANDES, E. C. M. **Agroforestry in Sustainable Agricultural Systems.** (Ed). Boca Raton: CRC, 1999, p.67-96 (Advances in Agroecology).

STAVER, C. **Diagnóstico de las malas hierbas en los cafetales.** Costa Rica: Editorial INPASA, CATIE, 2001. 8 p.

STAVER, C.; GUHARAY, F.; MONTERROSO, D.; MUSCHLER, R. G. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade grown coffee in Central América. **Agroforestry Systems**, Holland, v. 53, n. 2, p. 151-170, 2001.

SUMMER, M. E.; WEST, L. T.; LEAL, J. E. **Suelos de la agroindustria cafetalera de Guatemala, Región Sur.** Athens: Universidad de Georgia, 1992. 160 p.

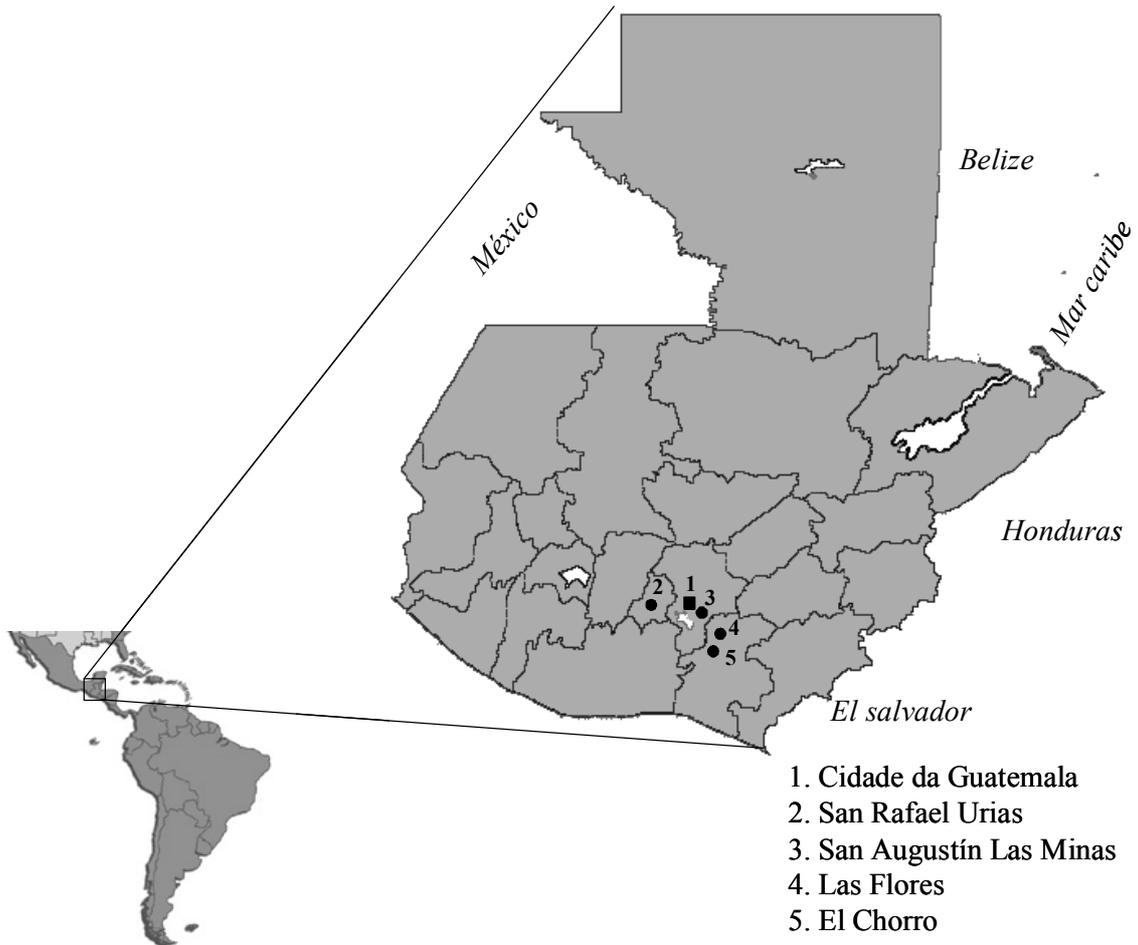
SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. **Decomposition in terrestrial ecosystems.** Oxford: Blackwell, 1979. 372 p. (Studies in Ecology, 5).

SYLVIA, D. M.; JARSTFER, A. G. Sheared root inocula of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. **Applied Environmental Microbiology**, v. 58, p. 229-232, 1992.

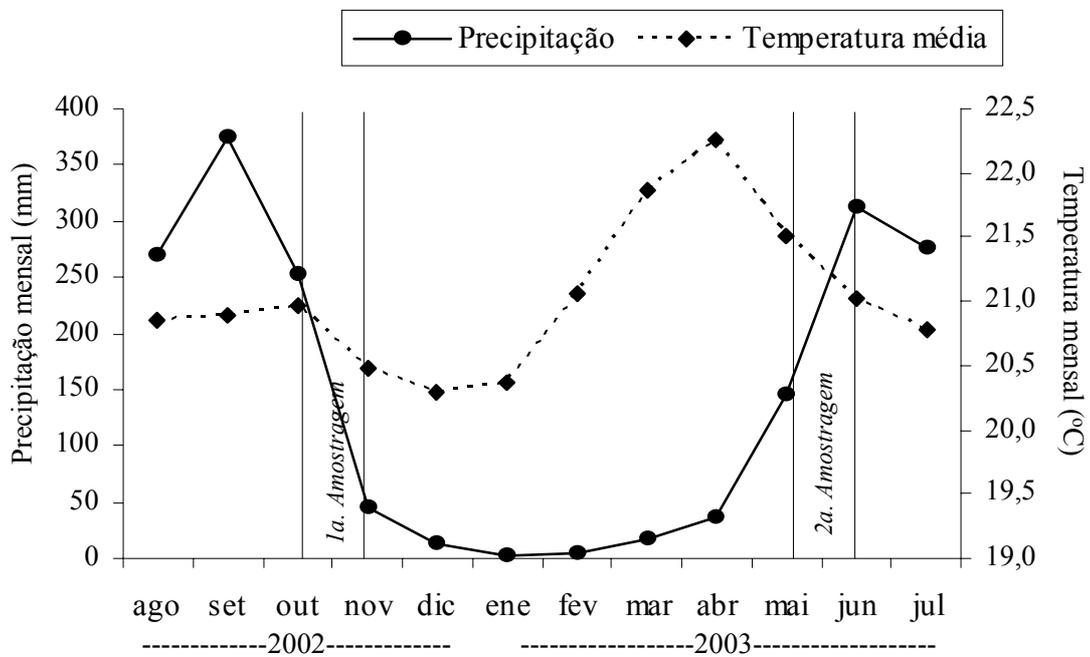
- TARJAN, A. C.; ESSER, R. P.; CHANG, S. L. **Interactive diagnostic key to plant parasitic, freeliving and predaceous nematodes**. Disponível em: <http://nematode.unl.edu/key/nemakey.htm>. Consultado em: novembro 2002.
- TEKLAY, T.; MALMER, A. Decomposition of leaves from two indigenous trees of contrasting qualities under shaded coffee and agricultural land uses during the dry season at Wondo Genet, Ethiopia. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 36, n. 5, p. 777-786. 2004.
- THOMAS, C. F. G.; MARSHALL, E. J. P. Arthropode abundance and diversity in differently vegetated margins of arable fields. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 72, n. 2, p. 131-144, 1999.
- TIANG, G.; KANG, B. T.; BRUSSARD, L. Biological effects of plant residues with contrasting chemical composition under humid tropical condition: Decomposition and nutrient release. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 24, n. 10, p. 1051-1060, 1992.
- TORNQUIST, C. G.; HONS, F. M.; FEAGLEY, S. E.; HAGGAR, J. Agroforestry systems effects on soil characteristics of the Sarapiquí region of Costa Rica. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 73, n. 1, p. 19-28, 1999.
- URZELAI, A.; HERNÁNDEZ, A. J.; PASTOR, J. Biotic indices based on soil nematode communities for assessing soil quality in terrestrial ecosystems. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 247, n. 2-3, p. 253-261, 2000.
- VAN KESSEL, C.; ROSKOSKI, J.P.; 1981 Nodulation and N₂ fixation by *Inga jinicuil*, a woody legume in coffee plantations. II. Effect of soil nutrients on nodulation and N₂ fixation. **Plant and Soil**, Dordrecht, n. 59, p. 207-215, 1981.
- VAN STRAALLEN, N. M. Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 9, n. 1-3, p. 429-437, 1998.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6 p. 703-707, 1987.
- VEDDER, B.; KAMPICHLER, C.; BACHMANN, G.; BRUCKNER, A.; KANDELER, E. Impact of faunal complexity on microbial biomass and N turnover in field mesocosms from a spruce forest soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 21, n. 1, p. 22-30, 1996.
- VETTER, S.; FOX, O.; EKSCHMITT, K.; WOLTERS, V. Limitation of faunal effects on soil carbon flow: density dependence, biotic regulation and mutual inhibition. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 36, n. 3, p. 387-397, 2004.
- VIRGINIO FILHO, E. de M.; HAGGAR, J. **Como analizo e manejo los árboles en mi cafetal? Guía para evaluación con productores**. Costa Rica: CATIE, 2004. Versión Preliminar.
- WANG, W. J.; DALAL, R. C.; MOODY, P. W.; SMITH, C. J. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 35, n. 2, p. 273-284, 2003.
- WARDLE, D.A.; GHANI, A. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO₂) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 27, n. 12, p. 1601-1610, 1995.

- WASILEWSKA, L. The effects of age of meadows on succession and diversity in soil nematode communities. **Pedobiologia**, Jena, v. 38, n. 1-4, p. 1-11, 1994.
- WASILEWSKA, L. Changes in the proportions of groups of bacterivorous soil nematodes with different life strategies in relation to environmental conditions. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 9, n. 1-3, p. 215-220. 1998.
- WOLTERS, V. Invertebrate control of soil organic matter stability. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 31, n. 1, p. 1-19, 2000.
- YEATES, G. W. Modification and qualification of the nematode Maturity Index. **Pedobiologia**, Jena, v. 38, n.1-4, p. 97-101, 1994.
- YEATES, G.W. Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 37, n. 3, p. 199-210, 2003.
- YEATES, G.W.; BONGERS, T. Nematodes diversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 74, n. 1-3, p. 113-135, 1999.
- YEATES, G. W.; BONGERS, T.; DE GOEDE, R. G. M.; FRECKMAN, D. W.; GEORGIEVA, S. S. Feeding habits in soil nematode families and genera – an outline for soil ecologists. **Journal of Nematology**, St. Paul, v.25, p.315-331, 1993.
- ZAMORA, N; PENNINGTON, T. **Guabas e cuajiniles de Costa Rica (*Inga spp*)**. Costa Rica: Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), 2001. 197 p.

ANEXO



Anexo 1. Mapa da República de Guatemala mostrando a localização das fazendas amostradas neste estudo.

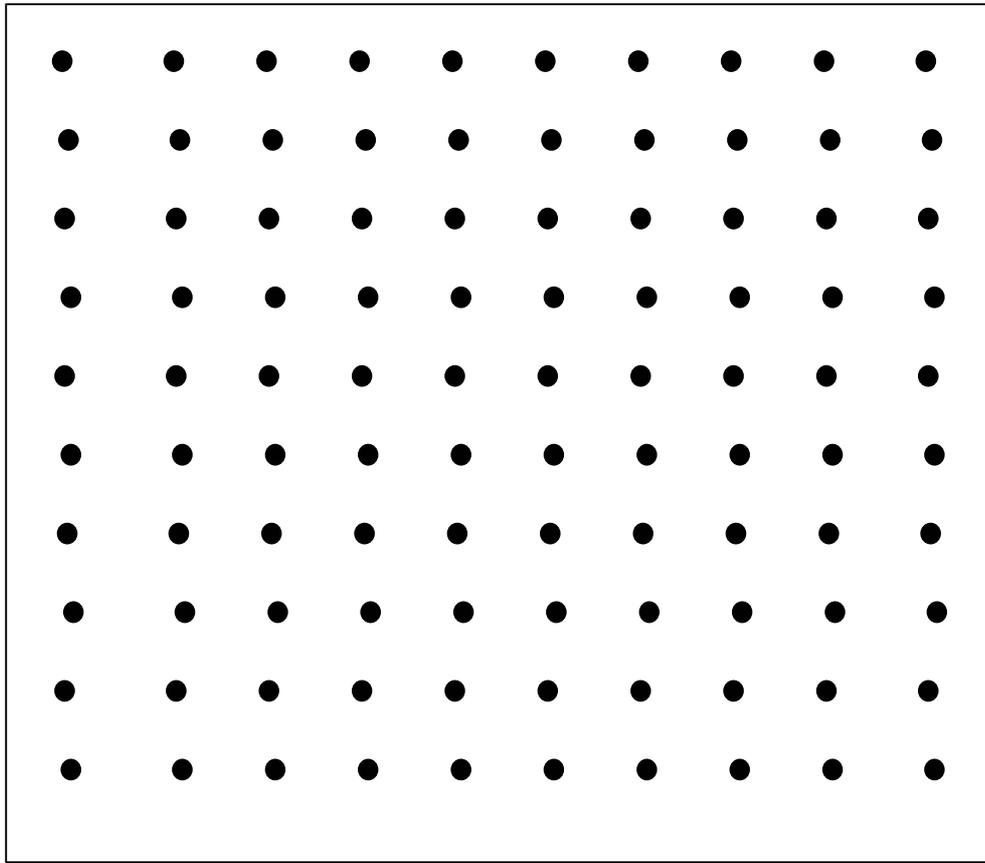


Anexo 2. Precipitação pluvial e temperaturas médias registrados na fazenda Las Flores, durante os anos 2002 e 2003.

Anexo 3. Informação dos sistemas agroflorestais.

Data:				
Fazenda:		Parcela:		
Cultivar:		Distancias entre plantas:		
No.	Espécies Arbóreas	Distância	Altura	DAP
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Anexo 4. Desenho e procedimento para realizar o diagnóstico da distribuição da cobertura arbórea no cafezal.



Procedimento:

1. Dentro do cafezal selecione 5 sítios representativos
2. Em cada sítio, delimite 10 sulcos de 10 plantas de café.
3. Desenhe a projeção da copa de cada árvore sobre os sulcos e plantas atingidas.
4. Projeção da copa de uma árvore plantada fora, desenhe também sua projeção dentro do sítio.
5. Uma árvore sempre verde desenhe-o sombreado
6. Uma árvore que perde a folha, desenhe-o como meia circunferência
7. Repetir para os cinco sítios

Fonte: HAGGAR et al., 2001.

Anexo 5. Diagnóstico do estado físico e produtividade do cafezal.

Data:		Técnico:				
Fazenda:		Lote:		Proprietário:		
Cultivar:		Idade:		Total de plantas avaliadas:		
Sítios	Planta normal	Planta que precisa recepa	Planta que precisa poda	Planta que precisa renovação	Planta renovada ou recepada	Espaço sem planta
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Observações:						

Procedimento: Selecione 25 plantas e avalie o estado físico, colocando uma marca no espaço correspondente.

Fonte: AGUILAR & GUHARAY, 2002.

Anexo 6. Coleta de dados de pragas e doenças dos cafeeiros.

Fazenda: Lote: Data: Pragueiro:	Sitio de amostragem:					
Folhas totais por ramo						
Folhas com ferrugem						
Folhas com mancha de olho pardo						
Folhas com antracnose						
Folhas com <i>Mycena citricolor</i>						
Folhas com phoma						
Folhas com minador						
Frutos totais						
Frutos com broca						
Frutos doentes						
Plantas com cochonilha						
Outros						

Procedimento: Caminhe sobre 5 sulcos selecionados ao acaso. Dentro de cada sulco selecione 10 plantas, tome um ramo por planta e faça a avaliação colocando uma marca no quadro correspondente.

Fonte: MONTERROSO SALVATIERRA & CALDERON VEJA, 1995; AGUILAR & GUHARAY, 2002.

Anexo 7. Diagnóstico da cobertura do solo.

TIPO DE COBERTURA	Local 1	Local 2
Troncos entre linhas		
Hervas folha angosta		
Hervas folha ancha anual		
Hervas folha ancha perenne		
Ciperáceas		
Cobertura folha ancha		
Cobertura folha angosta		
Mulch de hervas daninhas		
Liteira (Folha seca)		
Solo		
TOTAL		

Procedimento: Faça uma marca de referência no sapato. Caminhe sobre 10 sulcos e cada 25 passos anote o tipo de cobertura que coincide com a marca do sapato. Anote no quadro e expresse o resultado em percentagem.

Fonte: STAVER, 2001.

Anexo 8. Avaliação da qualidade do solo.

Característica	Nota
1. Estrutura <ul style="list-style-type: none">- Solo poeirento, sem grânulos visíveis (1)- Solo solto com poucos grânulos que se rompem ao aplicar leve pressão (5)- Solo friável e granular, os agregados mantêm a forma depois de aplicar leve pressão mesmo estando úmidos (10)	
2. Compactação e infiltração <ul style="list-style-type: none">- Compacto e se alaga (1)- Presença de camada delgada, a água infiltra-se lentamente (5)- Solo não compacto, a água infiltra-se facilmente (10)	
3. Profundidade do solo <ul style="list-style-type: none">- Subsolo quase exposto (1)- Solo superficial, menor de 10 cm de profundidade (5)- Solo superficial mais profundo, maior de 10 cm (10)	
4. Estado dos resíduos orgânicos <ul style="list-style-type: none">- Presença de resíduos que não se decompõem ou o fazem lentamente (1)- Mantêm-se resíduos do ano anterior, em processo de decomposição (5)- Resíduos em vários estados de decomposição, resíduos velhos bem decompostos (10)	
5. Cor, odor e matéria orgânica <ul style="list-style-type: none">- Solo pálido com mau cheiro, sem presença de matéria orgânica ou húmus (1)- Solo pardo, claro ou vermelho, com pouco cheiro, com algum grau de matéria orgânica ou húmus (5)- Solo de preto a pardo escuro, com cheiro a terra fresca, presença abundante de matéria orgânica e húmus (10)	
6. Retenção de umidade <ul style="list-style-type: none">- Solo que seca rápido (1)- Solo que permanece seco durante a época seca (5)- Solo que se mantém úmido durante a época seca (10)	
7. Desenvolvimento de raízes <ul style="list-style-type: none">- Raízes pouco desenvolvidas, doentes e curtas (1)- Raízes com crescimento limitado observam-se algumas raízes finas (5)- Raízes com bom crescimento, sadias e profundas, abundantes raízes finas (10)	
8. Cobertura do solo <ul style="list-style-type: none">- Solo sem cobertura (1)- Menos do 50 % do solo coberto por resíduos, folha seca ou cobertura viva (5)- Mais do 50 % do solo com cobertura viva ou morta (10)	
9. Erosão <ul style="list-style-type: none">- Erosão severa, nota-se arraste do solo e presença de voçorocas e sulcos (1)- Erosão evidente, mas pouca (5)- Não há sinais de erosão (10)	
10. Atividade biológica <ul style="list-style-type: none">- Sem sinais de atividade biológica, não se observam minhocas ou invertebrados (1)- Observam-se algumas minhocas e artrópodes (5)- Muita atividade biológica, abundantes minhocas e artrópodes (10)	
Nota Média	

Fonte: ALTIERI E NICHOLLS (2002). (Traduzido).

Anexo 9. Espécies de FMAs identificadas nos levantamentos dos experimentos com cafeeiros na fazenda Santa Mônica, Valença RJ, nas amostragens de setembro 2001, maio 2002 e maio 2004. Autores que descreveram as espécies e ano da descrição.

Espécies de FMAs	Descrição	Ano
<i>Acaulospora colosica</i>	Schultz, Bever & Morton	1999
<i>Acaulospora delicata</i>	Walker, Pfeiffer & Bloss	1986
<i>Acaulospora denticulata</i>	Sieverding & Toro	1987
<i>Acaulospora foveata</i>	Trappe & Janos	1982
<i>Acaulospora mellea</i>	Spain & Schenck	1984
<i>Acaulospora morrowiae</i>	Spain & Schenck	1984
<i>Acaulospora rehmi</i>	Sieverdin & Toro	1987
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	Trappe	1977
<i>Acaulospora tuberculata</i>	Janos & Trappe	1982
<i>Archaeospora leptoticha</i>	Morton & Redecker	2001
<i>Entrophospora colombiana</i>	Spain & Schenck	1984
<i>Entrophospora infrequens</i>	Ames & Schneider	1979
<i>Gigaspora margarita</i>	Becker & Hall	1974
<i>Glomus ambisporum</i>	Smith & Schenck	1985
<i>Glomus caledonium</i>	Trappe & Gerdemann	1968
<i>Glomus claroideum</i>	Schenck & Smmith	1982
<i>Glomus clarum</i>	Nicolson & Schenck	1979
<i>Glomus clavisorum</i>	(Trappe) Almeida & Schenck	1990
<i>Glomus coronatum</i>	Giovanetti, Avio & Salatini	1991
<i>Glomus etunicatum</i>	Becker & Gerdemann	1977
<i>Glomus geosporum</i>	(Nicolson & Gerdemann)Walker	1982
<i>Glomus intrarradices</i>	Schenck & Smith	1982
<i>Glomus macrocarpum</i>	Tulasne & Tulasne	1851
<i>Glomus microagregatum</i>	Koske, Gemma & Olexia	1986
<i>Glomus mosseae</i>	Nicolson & Gerdemann	1968
<i>Glomus ocutum</i>	(Walker) Morton & Redecker	2001
<i>Scutellospora calospora</i>	Walker & Sanders	1986
<i>Scutellospora persica</i>	Walter, G.-Pearson & M. Espinasse	1985
<i>Scutellospora verrucosa</i>	Walker & Sanders	1985
<i>Scutellospora pellucida</i>	Koske & Walker	1986