

LUÍS ALFREDO PINHEIRO LEAL NUNES

**QUALIDADE DE UM SOLO CULTIVADO COM CAFÉ E SOB
MATA SECUNDÁRIA NO MUNICÍPIO DE VIÇOSA-MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2003**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

N972q
2003

Nunes, Luís Alfredo Pinheiro Leal, 1960-
Qualidade de um solo cultivado com café e sob mata
secundária no município de Viçosa-MG / Luís Alfredo
Pinheiro Leal Nunes.- Viçosa : UFV, 2003.
102p. : il.

Orientador: Luiz Eduardo Dias
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa

1. Solos - Manejo. 2. Solos - Propriedades. 3. Solos -
Fertilidade. 4. Biologia do solo. 5. Física do solo. 6. Indi-
cadores (Biologia). I. Universidade Federal de Viçosa. II.

Título.

CDD 19.ed. 631.4

CDD 20.ed. 631.4

LUÍS ALFREDO PINHEIRO LEAL NUNES

**QUALIDADE DE UM SOLO CULTIVADO COM CAFÉ
E SOB MATA SECUNDÁRIA NO MUNICÍPIO DE VIÇOSA-MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Curso de Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 15 de dezembro de 2003

Prof. Ivo Jucksch
(Conselheiro)

Prof^a. Maria Catarina Megumi Kasuya
(Conselheira)

Prof. Nairam Félix de Barros

Pesq^a Maria Elizabeth Fernandes Correia

Prof^o Luiz Eduardo Dias
(Orientador)

Aos meus pais, Alfredo Alberto e Terezinha, e irmãos,
com muito carinho

À minha esposa, Regiane
“Um anjo que caiu do céu”

As minhas filhas, Carolina e Camila
“Duas flores perfumadas”

E à Cecília,
“Uma princesa” que está por vir

“Que tornam a vida muito mais prazerosa”

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao mestre divino, sempre presente em nossas vidas, que me deu forças para superar todos os obstáculos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa em nível de Doutorado.

À Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA) pela liberação de minhas funções de professor para realizar o curso.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), em especial ao Departamento de Solo, pela oportunidade para realização do curso.

Ao professor Luiz Eduardo Dias, grande mestre e amigo, pela precisa orientação e conhecimentos transmitidos muito importantes para o meu amadurecimento profissional.

Aos professores Ivo Jucksch, Maria Catarina Megumi Kasuya e Nairam Félix de Barros cujas sugestões, ensinamentos e críticas contribuíram enormemente para a realização deste trabalho.

À pesquisadora da EMBRAPA / Agrobiologia, Maria Elizabeth Fernandes Correia, pelo treinamento de identificação da macrofauna do solo e pela contribuição prestada.

À Professora Rosângela D'arc de Oliveira, pela ajuda nas análises de nematóides.

Ao Professor Cosme Damião Cruz, pelo auxílio nas análises estatísticas.

Ao professor Marcos Rogério Tótola, pela colaboração prestada em várias etapas deste trabalho.

Ao professor Geraldo Martins Chaves, por ter me permitido desenvolver este estudo em sua propriedade.

Aos demais professores do Departamento de Solos – DPS, pelo profissionalismo e valiosos ensinamentos.

Ao Emerson Ribeiro Júnior (Janela), a quem eu tenho enorme gratidão, pela sua preciosa ajuda, apoio e estímulo durante todo o curso.

Aos amigos Eufraim Amaral e Juberto Babilônia, os quais sou muito grato, pela maravilhosa convivência familiar.

Aos demais amigos do curso (sem exceção e sem destaque) pelo alegre convívio e brincadeiras divertidas e intermináveis durante esses anos.

Ao funcionário Ciro Herculano de Paula pelo auxílio nos trabalhos de coleta de material em campo.

Aos laboratoristas Carlos Fonseca, Cláudio e Ernando (Bodão) pela colaboração na execução das análises físicas, químicas e biológicas, e que com muita dedicação e simplicidade me ensinaram a trabalhar em um laboratório.

À todos os funcionários do Departamento de Solos sempre respeitosos e prestimosos.

A outros que, de alguma forma, participaram da elaboração deste trabalho, a minha sincera gratidão.

BIOGRAFIA

Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes, filho de Alfredo Alberto Leal Nunes e Terezinha Pinheiro Leal Nunes, nasceu no dia 01 de março de 1960, na cidade de Terezina, capital do Estado do Piauí.

Em 1985 graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

De 1986 a 1995 trabalhou na Secretária de Agricultura do Piauí. Em março de 1990 iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza-CE, tendo concluído em fevereiro de 1994.

Desde 1995 exerce a função de Professor Assistente na Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), na cidade de Sobral-CE.

Em março de 2000, iniciou o curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, na cidade de Viçosa-MG.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Indicadores químicos de qualidade de solo.....	5
2.1. Indicadores físicos de qualidade de solo.....	6
2.1. Indicadores biológicos de qualidade de solo.....	8
2.3.1. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e quociente microbiano	8
2.3.2. Taxa de respiração basal do solo e quociente metabólico	9
2.3.3. Atividade enzimática do solo	10
2.3.4. Nematóides do solo	11
2.3.5. Diversidade da fauna do solo	13
3. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	15
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

CAPÍTULO 1 - QUALIDADE DE UM SOLO SOB MATA SECUNDÁRIA E CULTIVADO COM CAFÉ EM VIÇOSA-MG: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO	27
1. INTRODUÇÃO	27
2. MATERIAL E MÉTODOS	29
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4. CONCLUSÃO	36
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
CAPÍTULO 2 - QUALIDADE DE UM SOLO SOB MATA SECUNDÁRIA E CULTIVADO COM CAFÉ EM VIÇOSA-MG: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO	39
1. INTRODUÇÃO	39
2. MATERIAL E MÉTODOS	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4. CONCLUSÃO	51
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
CAPÍTULO 3 - QUALIDADE DE UM SOLO SOB MATA SECUNDÁRIA E CULTIVADO COM CAFÉ EM VIÇOSA-MG: CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DO SOLO	55
1. INTRODUÇÃO	55
2. MATERIAL E MÉTODOS	57
2.1. Carbono da biomassa microbiana	57
2.2. Nitrogênio da Biomassa Microbiana	58
2.3. Enxofre da biomassa microbiana	58
2.4. Atividade Respiratória	58
2.5. Atividade Enzimática do Solo	59
2.6. Diversidade da fauna edáfica	60
2.7. Nematóides do solo	60
2.7. Análises estatísticas	61

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
3.1. Carbono da biomassa microbiana (CBM), carbono orgânico total (COT) e relação CBM / CO (q_{MIC})	62
3.2. Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM)	65
3.3. Enxofre da biomassa microbiana (SBM)	65
3.4. Atividade microbiana em laboratório e quociente microbiano (qCO_2).....	66
3.5. Atividade biológica em campo	67
3.6. Atividade de enzimas do solo	69
3.7 Nematóides do solo.....	72
3.8. Diversidade da fauna edáfica	73
3.9. Análises de correlação.....	78
4. CONCLUSÃO.....	82
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
CAPÍTULO 4– DETERMINAÇÃO DE ÍNDICE DE QUALIDADE BASEADO EM INDICADORES QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DE UM SOLO SOB MATA SECUNDÁRIA E CULTIVADO COM CAFÉ EM VIÇOSA-MG:	87
1. INTRODUÇÃO	87
2. MATERIAL E MÉTODOS	89
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	91
4. CONCLUSÃO	97
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
ANEXOS	100

RESUMO

NUNES, Luís Alfredo Pinheiro Leal, D.S. Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2001. **Qualidade de um solo cultivado com café e sob mata secundária no município de Viçosa-MG.** Orientador: Luiz Eduardo Dias. Conselheiros: Ivo Jucksch e Maria Catarina Megumi Kasuya.

A pesquisa foi realizada em um Latossolo Vermelho-Amarelo de meia encosta, localizado em Viçosa-MG no qual se avaliou o efeito de monocultivo de café sobre sua qualidade, por meio de alterações nos indicadores físicos, químicos e biológicos, associadas às principais funções do solo, em relação a duas matas secundárias adjacentes. Os sistemas estudados foram os seguintes: Cultivo de café Mundo Novo com 22 anos, antes ocupado por pasto (C22); Cultivo de café Catuai com 16 anos (C16), que sofreu recépo três meses antes da pesquisa e anteriormente era mata secundária; Mata secundária com idade estimada em cerca de 30 anos (M30), e Mata secundária com idade estimada de 40 anos (M40). O sistema M30 apresenta um sub-bosque representativo e, ocasionalmente, sofre ação do fogo e exploração de madeira por vizinhos para uso doméstico e encontra-se em fase intermediária de desenvolvimento. O sistema M40 mostra-se mais preservado, com espécies de porte mais elevados e ausência de sub-bosque, o que indica um processo sucessional mais avançado, sendo considerado como área de referência. Os sistemas estudados situam-se na encosta ocupando desde o topo até o sopé numa topossequência, sob influência de condições similares de solo, clima e relevo. A amostragem do solo foi realizada em janeiro de 2002 nas camadas de 0-2,5; 2,5-7,5 e 7,5-20 cm para análise dos indicadores químicos e nas profundidade de 0-10 cm para as determinações dos indicadores físicos. A coleta de solos

para as avaliações biológicas deu-se na camada de 0-10 e 10-20 cm em janeiro, abril, julho e outubro de 2002, a exceção das análises de enxofre da biomassa microbiana e de nematóides que foram realizadas apenas em janeiro e julho. Os sistemas sob café evidenciaram melhor fertilidade em função de adubações e calagens realizadas periodicamente nesses sistemas, com exceção do teor de matéria orgânica que se reduziu pela metade nos monocultivos, em relação à área padrão. O sistema C22 mostrou alterações em suas propriedades físicas pelo aumento da densidade do solo, diminuição da porosidade, de agregados estáveis e grau de floculação. O processo erosivo e de eluviação de argila nesse sistema foi evidenciado pela diminuição dessa fração granulométrica e diminuição da porosidade na camada de 0-10 cm. Os indicadores biológicos variaram conforme época de amostragem apresentando valores superiores em período de maior pluviosidade e mostraram-se mais sensíveis para avaliar mudanças na qualidade do solo. A maioria dos indicadores biológicos avaliados variou com o aumento ou decréscimo de matéria orgânica do solo, ressaltando a sua importância nos processos biológicos do solo. A receita em um sistema com café contribuiu para a adição de resíduos na superfície do solo trazendo melhorias em alguns indicadores físicos e biológicos. Os valores dos indicadores de qualidade foram utilizados para calcular um índice de qualidade de solo. O índice que se aproximou mais da área de referência foi obtido no solo de mata secundária com 30 anos, seguidos do solo sob café com 16 anos de cultivo, e do solo sob café com 22 anos de cultivo. Esses resultados permitem concluir que para os sistemas avaliados o monocultivo com café promoveu, com o tempo de cultivo, a perda de qualidade do solo, comprometendo sua sustentabilidade. Por outro lado, o pousio, com a conseqüente formação de mata secundária, permitiu melhoria da qualidade do solo, favorecendo sua sustentabilidade. A análise multivariada de indicadores de qualidade por meio de variáveis canônicas foi consistente com os dados obtidos pelo modelo de qualidade do solo.

ABSTRACT

NUNES, Luís Alfredo Pinheiro Leal, D.S., Universidade Federal de Vicosa, December of 2003. **Soil quality of a cultivated soil with coffee culture and under secondary forest.** Adviser: Luiz Eduardo Dias. Committee members: Ivo Jucksch and Maria Catarina Megumi Kasuya.

The research was carried out in a hillside of Latossolo Vermelho-Amarelo, located on Viçosa – MG, to evaluate the coffee culture effect on the soil quality through physic, chemistry and biologic indicators alterations, associate to the its mains functions, and in relation to two adjacent secondary forest. The studied systems were: Mundo Novo coffee culture with 22 years old (C22), Catuai coffee with 16 years old (C16) that was pruning three months before the beginning of the research; Secondary forest with approximately 30 years old (M30), and Secondary forest with approximately 40 years old (M40), that was used as reference area. The soils sampling was done on January 2002, in the 0 – 2.5; 2.5 – 7.5; and 7.5 – 20 cm depths, for analyze of chemistry indicator, and 0 – 10 cm depth for the physic indicators determination. The soils sampling for the biologics evaluation were done in 0 – 10, and 10 – 20 cm in January, April, July, and October 2002, except to microbial biomass sulfur and nematode analyses that were done only in January and July of the same year. The coffee systems showed better fertility due periodicals fertilizations and liming, except of organic matter quantity, which was reduced at 50% by the coffee systems related to the reference areas. The C22 system showed physic alteration as the bulk density elevation, porosity decrease, stability of aggregates, and flocculation. The porosity decrease evidenced the erosive process and the clay eluviations. The biologic indicators varied according to sampling

period showing superior values on the rain season and were sensitive to evaluate the soil quality changes. Most of the biologic indicators varied with the organic matter changes. The quality indicators values were used to calculate a soil quality index. This index allowed quantifying the soil quality changes due to the coffee management. The closer index to the reference area was obtained from the M30 system, followed by the C16 and C22. These results allow concluding that coffee system decrease soil quality, committing its sustainability. On the other hand, the secondary forest formation, allowed the increase of the soil quality favoring its sustainability. The multivariate analyses of soil quality indicators using canonic variable was consistent to the data obtained by the soil quality model.

1. INTRODUÇÃO

A intensidade de uso do solo exercida pelo homem, em razão da demanda de alimentos pela crescente população humana, tem levado a uma rápida degradação ambiental, em especial nos sistemas agrícolas. O agravamento deste quadro despertou, nas últimas décadas, a preocupação com a qualidade de solo e a sustentabilidade da exploração agrícola.

A retirada da mata natural para o plantio de qualquer cultura promove inúmeras modificações no solo, sobretudo no conteúdo de matéria orgânica e na disponibilidade de nutrientes. Por sua vez, a matéria orgânica, tem efeitos sobre a comunidade de organismos do solo, com reflexos sobre as propriedades físicas e químicas, sendo, portanto, indispensável ao bom funcionamento dos agroecossistemas. Assim, a exploração de uma cultura deve estar condicionada à utilização racional de diversos fatores de produção não apenas com vistas em obter índices de produtividade, mas também no sentido de preservar a qualidade do solo e prolongar a vida útil desta cultura.

Uma boa qualidade do solo constitui-se no mais importante elo entre as práticas agrícolas e a agricultura sustentável (Santana & Bahia Filho, 1998). Se o solo fica degradado, mais recursos em termos de tempo, dinheiro, energia e agroquímicos vão ser gastos para produzir mais alimentos, e os objetivos de sustentabilidade na agricultura não seriam alcançados. Por outro lado, se a degradação do solo é revertida e a qualidade do solo é mantida ou melhorada, pela utilização de métodos de manejo adequados, a sustentabilidade da agricultura pode ser uma realidade. Logo, entender e conhecer a qualidade do solo é imprescindível à definição de estratégias para um manejo sustentável sem comprometer sua qualidade no futuro.

A qualidade do solo é definida por Warketin (1995) como a capacidade de produzir alimento em longo prazo, de forma sustentável, e de contribuir para o bem-estar dos seres vivos, sem deteriorar os recursos naturais básicos ou prejudicar o meio ambiente. Para Doran & Parkin (1994) qualidade do solo é a capacidade deste funcionar dentro do limite do ecossistema manejado ou natural, como sustento para a produtividade biológica, mantendo a qualidade ambiental e promovendo a saúde de plantas e animais.

O uso de processos biológicos, como bioindicadores, apresenta-se como uma estratégia para o monitoramento de processos de degradação e recuperação ambiental, uma vez que os microrganismos são considerados bons indicadores de diversas alterações ambientais, pois, normalmente, eles desempenham funções chaves na decomposição da matéria orgânica, produzem hormônios, enzimas e vários outros compostos com efeitos importantes no solo, e respondem mais rapidamente às mudanças ambientais. Ademais, as características químicas e físicas, que mostram correlações com as biológicas, são igualmente alteradas pelo manejo do solo, e, desse modo, importantes na avaliação da qualidade de solo.

O objetivo deste estudo foi de avaliar a qualidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo no município de Viçosa-MG, localizado em área de meia-encosta, sob mata secundária e cultivado com café, levando-se em consideração alterações em suas propriedades químicas, físicas e biológicas e determinar o índice de qualidade de solo dos diferentes sistemas estudados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Entre as ações negativas do homem sobre o ambiente, a degradação do solo é, sem dúvida, uma das mais alarmantes, pois afeta diretamente a vida do planeta, uma vez que sendo o homem um consumidor na cadeia alimentar, necessita de solo para produzir seu próprio alimento, por meio do cultivo de plantas e/ou criação de animais. A principal causa da degradação do solo advém do mau uso das terras e o ponto em comum dessas áreas é a redução drástica da matéria orgânica, tendo como resultado alterações nas características físicas, químicas e biológicas do solo.

A percepção de que os padrões de uso da terra atuais não são ambientalmente corretos e muito menos sustentáveis é uma preocupação mundial. Um estudo denominado Avaliação Global da Degradação de Solos (“Global Assessment of Soil Degradation”), feito pelo Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas, reportou que a área de solos degradados no planeta saltou de 6 %, em 1945, para 17 % (1966 x 10⁶ ha) em 1990, e que com a manutenção dos modelos atuais de uso da terra, em 2025 cerca de 25 % das terras que poderiam ser utilizadas para agricultura estarão em estado de degradação (Hanson & Cassman, 1994). Há, portanto, uma crescente demanda por ferramentas capazes de avaliar a qualidade de solos, no intuito de alertar as autoridades competentes sobre os rumos que os sistemas de produção estão tomando em todo o mundo e suas conseqüências para a produtividade dos solos.

A expansão da cafeicultura, no final do século XIX, se caracterizou pela modificação da paisagem da Zona da Mata, particularmente na região de Viçosa-MG, promovendo a fragmentação da densa cobertura florestal. O café era cultivado nas encostas, após a derrubada da floresta e queima para a limpeza do terreno, com ciclo produtivo de

aproximadamente 12 anos. Após esse período, a produtividade entrava em declínio e as plantas eram arrancadas para dar lugar às pastagens ou, então, estas áreas eram abandonadas, o que propiciou a regeneração de espécies nativas, originando florestas secundárias (Gomes, 1992). Assim, a incorporação de extensas áreas à cultura cafeeira foi feita com perdas significativas da cobertura florestal levando ao esgotamento da fertilidade nativa dos solos, sem nenhuma preocupação com a sustentabilidade (Senra, 2000).

Para Fernandes (1986) o manejo de cafezais em encostas no Brasil conduzido apenas com o uso de plantio em curvas de nível, como forma de conter a erosão, é insuficiente para evitar perda de solo e água, e o depauperamento de solo sob cafezais. Alcântara & Ferreira (2000) estudando os efeitos de diferentes métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro verificaram que capinas manuais e uso de herbicidas de pós-emergência mostraram-se eficientes na manutenção da qualidade física do solo. Por outro lado, a utilização de herbicidas de pré-emergência, além de reduzir o teor de matéria orgânica, provocou o surgimento de encrostamento superficial do solo. Os usos da enxada rotativa e da roçadeira acarretaram o surgimento de camadas subsuperficial compactadas.

Nos sistemas naturais, a qualidade do solo é observada com o intuito de se ter um valor básico referencial ou conjunto de valores contra os quais futuras mudanças no sistema podem ser analisadas e comparadas. Nos sistemas agrícolas, a qualidade do solo é monitorada com vistas ao manejo do sistema para incentivar a produção sem degradar os solos e o ambiente (Gregorich, 2002). Na passagem de sistemas naturais para agrícolas, muitos atributos do solo, sensíveis a variações no uso e manejo e relacionados com as suas funções básicas, são alterados, indicando perdas na sua qualidade (Doran & Parkin, 1996). O estudo das alterações que ocorrem nos solos, quando cultivados, teriam resultados mais consistentes utilizando-se um solo virgem e, a partir daí, submetê-lo às operações agrícolas desejadas e, periodicamente, analisar as variáveis escolhidas. No entanto, podem-se comparar diferentes manejos em uma mesma propriedade ao longo dos anos, ou entre diferentes propriedades, ou ainda comparar um ecossistema natural com áreas manejadas (Sanchez, 1976). Estudos deste gênero têm adotado como referências os valores obtidos de variáveis previamente selecionadas em uma área próxima onde às características geopedoclimáticas e de vegetação são semelhantes àquelas que a área em estudo possuía antes da degradação (Dias, 2002).

Para o monitoramento da qualidade do solo, de forma que possam ser sugeridas modificações nos sistemas de manejo de modo a evitar sua degradação, deve-se identificar e caracterizar os processos e propriedades que influenciam sua capacidade de produção e sustentabilidade (Doran & Parkin, 1994). Para ser de utilidade prática um indicador de

qualidade de solo deve atender aos seguintes critérios: a) ser sensível às variações de manejo e de clima, para possibilitar intervenções visando melhorar a qualidade do solo, quando este for o caso; b) ser bem correlacionado com funções do solo; c) ser de fácil mensuração e baixo custo; d) ser útil para elucidar processos do ecossistema; e) ser compreensível e útil para o agricultor (Doran & Zeiss, 2000).

A interpretação de resultados de indicadores de qualidade de solo deve considerar a função de determinado ambiente e o conjunto de variáveis para a construção de modelos para a determinação de índices de qualidade do solo (IQS). Esses índices podem ser úteis para o monitoramento do estado geral do solo e para identificação de práticas de manejo mais adequadas, constituindo uma ferramenta importante para buscar soluções técnicas que atuem diretamente nos atributos do solo que estão pesando negativamente no índice de qualidade e comprometendo a sustentabilidade do sistema. Uma vez bem definidos esses índices podem ser ainda utilizados para o monitoramento da qualidade do solo e em programas de recuperação de áreas degradadas (Tótola & Chaer, 2002).

2.1. Indicadores químicos de qualidade de solos

Os indicadores químicos são normalmente agrupados em variáveis relacionadas com o teor de carbono, acidez do solo e medidas de disponibilidade de nutrientes. Atualmente para se estimar a qualidade do solo sugere-se a adoção dos seguintes indicadores químicos: matéria orgânica, carbono (C) orgânico, pH, saturação de alumínio (Al), capacidade de troca de cátions (CTC), disponibilidade de nutrientes, condutividade elétrica, etc (Doran, 1997).

A matéria orgânica do solo (MOS) é comumente conhecida como um indicador químico chave de qualidade de solo, em razão de sua função na regulação de uma série de processos que ocorrem no solo (Kelting et al., 1999). O seu papel na estrutura e estabilidade de agregados influencia a porosidade facilitando as reações de troca de ar e água (Shoeholtz et al., 2000). Funciona ainda como um reservatório de nutrientes disponibilizando elementos para as plantas como o nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) (Bayer & Mielniczuk, 1999). Em solos tropicais a CTC da matéria orgânica pode representar de 58 a 62% da CTC total e a manutenção ou o aumento dos teores de matéria orgânica nesses solos é fundamental para a retenção de nutrientes e para a diminuição da lixiviação (Sanchez, 1976). Roming et al., (1996), citado por Shoeholtz et al. (2000) considera que solo com uma boa qualidade deve apresentar um teor de MOS variando de 4 a 6 %.

O C orgânico é considerado um excelente indicador de qualidade de solo, visto que ele influencia na densidade do solo, capacidade de retenção de água, potencial de lixiviação, CTC e produtividade do solo (Shoeholtz et al., 2000). A variação nos teores de carbono orgânico total (COT), principal constituinte da MOS, em certo período, pode ser expressa por $dC/dt = -k \text{ COT} + A$, onde A representa a taxa de adição ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e k , a taxa de decomposição anual de COT. Em solo natural, o teor de COT normalmente encontra-se estável ($dC/dt = \text{zero}$), devido à igualdade de quantidades adicionadas (A) e perdas ($-k \text{ COT}$) anualmente. Em solos cultivados, ocorre variação nos teores de MOS ($dC/dt \neq \text{zero}$), e o COT tende a um novo teor estável, que é dependente da influência do manejo dado ao solo sobre A e k (Lathwell & Bouldin, 1981). Solos com culturas anuais mostram redução acentuada nos teores de COT, pelo aumento de k e/ou redução de A (Dalal & Mayer, 1986).

Mensurações que expressam o potencial de nutrientes que são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas como: cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis, P, potássio (K), S disponíveis; N e P total e teor de micronutrientes são importantes para avaliar qualidade de solo entre sistemas de manejos diferentes (Reganold & Palmer, 1995; Roming et al., 1996, citado por Shoeholtz et al. 2000).

O pH influencia várias reações químicas e biológicas diretamente relacionadas com a disponibilidade de nutrientes e é uma medida de baixo custo e fácil de ser realizada. O baixo pH limita o crescimento e desenvolvimento de raízes em decorrência da toxidez causada pelo excesso de Al trocáveis e da baixa saturação de bases no solo. (Keltjens, 1997). Dessa forma, a mensuração de saturação de Al por si só, já seria um importante indicador químico para avaliação da qualidade do solo (Shoeholtz et al., 2000). A inibição do crescimento microbiano em valores de pH baixos desfavoráveis resulta não só do efeito direto da elevada concentração de H^+ , mas também da influencia indireta do pH na penetração de compostos tóxicos presentes no meio nas células microbianas (Moreira & Siqueira, 2002).

2.2. Indicadores físicos de qualidade do solo

Entre os indicadores físicos relacionados com impactos do solo, podem ser considerados: a estabilidade de agregados, densidade do solo, textura, estrutura, distribuição de poros no solo e a infiltração de água. A escolha dessas variáveis deve-se ao fato de serem indicadores do efeito do manejo do solo, fáceis de medir, e de respostas rápidas e de razoável precisão (Doran, 1997).

A estrutura do solo é um dos indicadores mais importantes para o crescimento de plantas e pode ser avaliada por meio da densidade do solo, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração entre outros. Essas variáveis podem ser utilizadas para avaliar condições de adensamento, compactação, encrostamento, infiltração de água no perfil e suscetibilidade do solo à erosão (Martins et al., 2003).

Nos solos cultivados, os agregados são expostos freqüentemente, sofrendo fragmentação, principalmente nos macroagregados ($> 0,25$ mm), resultando em aumento na proporção relativa de microagregados ($< 0,25$ mm), quer pelo rápido umedecimento e pelo impacto de gota de chuva, quer pelo cisalhamento por implementos agrícolas. Os macroagregados consistem de partículas mantidas juntas principalmente pela rede de raízes e hifas no caso de solos com teores elevados C (> 10 g kg⁻¹) e somente pela ação ligantes dos microrganismos e agentes cimentantes produzidos por eles, em solos com baixos teores de C (Tisdall & Oades, 1982).

A densidade do solo é afetada por cultivos que alteram a estrutura e, por conseqüência, o arranjo e o volume dos poros. Essas alterações influem nas propriedades físico-hídricas importantes, tais como a macroporosidade, a retenção de água no solo, a disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração (Klein & Libardi, 2002). A resistência mecânica do solo pode afetar, severamente, a expansão de raízes do sistema radicular do cafeeiro e o transporte de água e de assimilados específicos das raízes para a parte aérea. Raízes que são submetidas a grandes resistências mecânicas do solo se alongam menos, apresentam maior diâmetro e são bastante deformadas provavelmente pela ação de etileno que são produzidos em maior quantidade sob tais condições (Rena & DaMatta, 2001).

A capacidade de retenção de água, além de indicar a disponibilidade potencial de água para a cultura, é também um bom indicador de transporte e erosividade, sendo favorecida pela distribuição e forma de poros que, por sua vez, são influenciados pela textura, pela agregação, pela densidade do solo e pelos teores de MOS. Qualquer alteração de uma dessas características poderá gerar alterações na retenção de umidade (Hillel, 1982).

A translocação de partículas mais finas, de horizontes superiores para os inferiores, reduz a porosidade total, provocando o aumento da densidade do solo. Isto ocorre quando os solos são submetidos a manejos que expõem sua superfície à ação desagregante das gotas de chuva (Cunha, 1995). A prática de calagem, que promove alterações no pH, na força iônica da solução e nos tipos de íons presentes, influencia também na dispersão ou floculação dos colóides de argila, pois esses processos são regulados pela dinâmica da dupla camada difusa

que sofre maior redução em sua espessura, tendendo a flocular colóides na presença de íon trivalente (Jucksch, 1987; Seta & Karathanasis, 1997). As partículas provenientes da desagregação causam entupimento dos poros e efeito de cimentação, tendo como consequência a redução da taxa de infiltração de água no solo (Saraiva, 1987).

2.3. Indicadores biológicos de qualidade do solo

A microbiota do solo têm sido relatada como um sensível indicador das alterações do ambiente (Doran & Parkin, 1994; Islam & Weil, 2000; Matsuoka et al., 2003), visto que a qualidade e a atividade dos microrganismos são dirigidas pela interação entre eles com os fatores químicos e físicos do meio.

Existe no solo uma grande variedade de microrganismos genericamente denominada “Biomassa Microbiana” (BM), que corresponde à parte viva da matéria orgânica do solo, excluindo-se raízes e animais maiores do que aproximadamente 5000 μm . A BM inclui bactérias, actinomicetos, fungos, algas e microfauna de vida ativa, que convivem no solo formando uma comunidade extremamente diversificada nos seus componentes e que realizam inúmeras funções no solo, como a mineralização de substratos orgânicos em nutrientes minerais (Wardle, 1992). A BM representa um considerável reservatório de vários nutrientes para as plantas, contendo em seus tecidos cerca de 2 a 3% do C total e até 5% do N total do solo (Anderson & Domsch, 1980) e de 1 a 3% do S total do solo (Moreira & Siqueira, 2002).

Algumas propriedades biológicas do solo têm se mostrados sensíveis a mudanças em solos submetidos a diferentes tipos de manejo e, portanto, podem ser usadas como indicadores de qualidade de solo.

2.3.1. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e quociente microbiano

O carbono da biomassa microbiana (CBM) está entre as variáveis de grande importância em estudos de qualidade do solo, tendo sido selecionado por diversos autores (Doran, & Parkin, 1996; Balota et al., 1998; Islam & Weil, 2000) como um dos mais promissores para inclusão em índices de qualidade do solo, por ser um indicador de grande sensibilidade e responder de maneira diferenciada na maioria das comparações entre sistemas tidos como conservacionistas ou causadores de degradação.

Balota et al. (1998) avaliando o C e N da BM em condições de diferentes manejos do solo, verificaram incrementos na ordem de 118 e 101% no C e no N da BM, respectivamente, em sistema de plantio direto em função de um maior acúmulo de C no solo em relação ao plantio convencional. Por sua vez, Powlson et al. (1987), estudando a incorporação de resíduos orgânicos na profundidade de 20 cm em dois solos diferentes durante 18 anos sobre o carbono orgânico total (COT) e a BM, encontraram um acréscimo anual de 41 e 48% no C e N da BM, respectivamente, em média, enquanto que o COT do solo aumentou em apenas 5% e o N total em 9%. Assim, mudanças significativas na BM podem ser detectadas muito antes de alterações na matéria orgânica, permitindo a adoção de medidas de correção antes que a perda da qualidade do solo seja crítica.

O quociente microbiano ($qMIC$), que corresponde à relação entre o CBM e o COT, reflete processos importantes relacionados com adições e transformações da matéria orgânica, assim como a eficiência de conversão de C desta em C microbiano (Sparling, 1992). Em circunstâncias de desequilíbrio ambiental, com matéria orgânica de baixa qualidade ou em situação em que a biomassa experimenta algum fator de estresse (deficiência de nutrientes, acidez, déficit hídrico, etc.), a capacidade de utilização de C é diminuída e, neste caso, o $qMIC$ diminui (Wardle, 1994). Por outro lado, em ecossistemas estáveis, onde predominam condições favoráveis, há uma tendência de aumento da atividade microbiana e, em consequência, o $qMIC$ tende a crescer (Powlson et al., 1987), até atingir um equilíbrio (Insam & Domsch, 1988, citado Tótola & Chaer, 1994). Desse modo, ambientes preservados, em estado de equilíbrio, o valor desta relação pode ser usada como padrão para avaliar o quanto um solo se encontra degradado.

2.3.2. Taxa de respiração basal do solo e quociente metabólico

A respiração do solo representa a oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbicos do solo, raízes e macrorganismos, que utilizam O_2 comoceptor final de elétrons, até CO_2 . Assim, ela pode ser avaliada tanto pelo consumo de O_2 como pela produção de CO_2 (Moreira & Siqueira, 2002), sendo a quantidade de C liberado indicativo do C lábil ou prontamente metabolizável do solo (Doran & Parkin, 1996). A respiração pode ser mensurada no campo sob condições naturais, ou em laboratório sob condições controladas. A determinação da respiração no campo é influenciada pelo clima, propriedades físicas e

químicas do solo e práticas agrícolas. (Paul et al., 1999) e pelas raízes, que apresentam maior volume em solos florestais, podendo atingir 20% da respiração total (Keltting et al., 1998).

Na avaliação de atividade respiratória devemos ter cuidados na interpretação dos resultados, uma vez que elevados valores de respiração tanto pode ser resultantes de acúmulo de matéria orgânica rica em frações lábeis (carboidratos, compostos nitrogenados e a própria biomassa microbiana e seus metabólitos) à superfície do solo, suscetível à decomposição com conseqüente liberação de nutrientes para as plantas, conforme resultados obtidos por Vargas & Scholles (2000), como pode ser reflexo de um consumo intenso de C oxidável pela população microbiana para a sua manutenção, em ambientes com revolvimento sistemático do solo que contribuem para provocar perturbações que causam estresse aos microrganismos (Balota et al. 1998).

Anderson & Domsch (1985) propuseram uma medida de atividade metabólica específica, denominada quociente metabólico (qCO_2) (relação entre a quantidade de CO_2 produzido por unidade de C da biomassa microbiana e por unidade de tempo) que corresponde a um índice de atividade heterotrófica específica da biomassa, sendo um indicador sensível para estimar o potencial de decomposição da matéria orgânica. Um baixo quociente metabólico indica uma utilização mais eficiente de energia e um ecossistema mais estável (Insam & Haselwandted, 1989). Para Anderson & Domsch (1993) a utilização desta relação é importante para avaliar o efeito das condições de estresse sobre a atividade e biomassa microbiana.

2.3.3. Atividade enzimática do solo

Como resultado da atividade dos microrganismos, ocorre a produção de várias enzimas extracelulares que desempenham papel importante no processo de degradação de biomoléculas de elevado peso molecular e que os mesmos não conseguem absorver de modo direto, liberando monômeros, que são absorvidos e liberados nas células e produzindo biomassa, CO_2 e elementos minerais (Stevenson, 1986) Alguns estudos têm mostrado o uso de enzimas como potencial indicador biológico de qualidade do solo, em face de sua estreita ligação com a atividade biológica (Tabatabai, 1994), e de respostas imediatas às mudanças de manejo no solo (Bandick & Dick, 1999).

A atividade de algumas enzimas acumuladas no solo tais como a β -glucosidase, celulase e amilase têm demonstrado mostrado ser significativamente maior em solos

preservados que em solos cultivados (Miller & Dick, 1995; Caldewll et al, 1999; Marchiori Júnior & Melo, 1999), e em solos com rotação de cultura que em monocultura (Bandick & Dick, 1999). A β -glucosidase é responsável pela hidrólise dos resíduos da celobiose formando o açúcar simples β -D-glucosidase (Tabatabai, 1994) e como a celobiose é dissacarídeo de rápida decomposição no solo, ocorre uma relação positiva entre os teores elevados de β -glucosidase e os teores de C prontamente mineralizável (Matsuoka et al., 2003). Outras enzimas como a fosfatase ácida e alcalina apresentam correlações positivas com o C orgânico (Dick, et al., 1988), justificando o decréscimo da atividade enzimática com a diminuição da biomassa do solo (Badiane et al., 2001). A fosfatase também tem sido extensivamente estudada porque elas catalisam a hidrólise do P orgânico para P inorgânico, tornando-o disponível às plantas e aos próprios microrganismos (Alef et al., 1995). No entanto, elas mostram uma atividade inversamente relacionada com a disponibilidade de P inorgânico no solo (Tarafdar & Jungk, 1987).

A quantificação da atividade de algumas enzimas do solo como a celulase, β -glucosidase, desidrogenase, arilsulfatase e fosfatases alcalinas e ácidas, tem sido sugerida como importante indicador biológico de qualidade de solo tendo em vista que as enzimas são partes integrais dos ciclos da matéria orgânica e de macronutrientes (C, N, S e P) no solo (Bandick & Dick, 1999).

2.3.4. Nematóides do solo

Os nematóides são vermes pequenos de corpo aproximadamente cilíndrico, de ocorrência natural na maioria dos solos. A maioria é de vida livre (predadores) sendo que pequena parte deles ingressou no parasitismo atacando animais e vegetais (Gonçalves & Silvarolla, 2001). Os que vivem no solo alimentam-se de fungos, bactérias, algas ou mesmo de outros nematóides e estão indiretamente ligados à decomposição da matéria orgânica e, portanto, aumentos deste grupo no solo indicam maior potencial de decomposição e ciclagem de nutrientes (Maxwell & Coleman, 1995). A baixa ocorrência de nematóides de vida livre em áreas cultivadas pode indicar condições desfavoráveis ao seu desenvolvimento, favorecendo, conseqüentemente, a concentração de espécies fitopatogênicas (Yeats, 1999). Algumas espécies de nematóides parasitam plantas superiores (fitonematóides), atacando, sobretudo seus órgãos subterrâneos, como raízes, tubérculos e rizomas, e também órgãos aéreos como caule folhas e sementes, podendo causar a morte da planta (Freitas et al., 2001).

Os fitonematóides passam pelo menos parte de sua vida no solo e tendem a se concentrar até uma profundidade de 30 cm, o que corresponde, em geral, a uma faixa de solo mais densamente ocupada pelas raízes das plantas (Tihohod, 1993).

Em solos cultivados, a presença da planta hospedeira e boa disponibilidade de alguns nutrientes como o K e Mg favorecem a ocorrência desses parasitos em elevada concentração no solo, podendo inviabilizar toda área (Kandji et al., 2001). A adição de resíduos orgânicos sobre a superfície do solo pode incrementar a população de fungos predadores e de outros inimigos naturais existentes no solo e proporcionar certo nível de controle biológico de fitonematóides (Laughlin & Lordello, 1977).

Os nematóides são mais ativos numa faixa 40 a 60% da capacidade de campo do solo (Tihohod, 1993). O baixo teor de água inibe a eclosão e dificulta o movimento dos juvenis, pois eles se movem entre as partículas de solo através do filme de água, podendo ser nulo o seu deslocamento se a umidade for insuficiente (Souza et al., 1998). No entanto, em solos saturados, a eclosão é reduzida e o movimento do nematóide é lento devido à falta de oxigênio (Gonçalves & Silvarolla, 2001) e pela produção de toxinas produzidas por microrganismos anaeróbicos (Laughlin & Lordello, 1977). Para a maioria dos nematóides a faixa de temperatura ótima do solo vai de 15 a 30°C, podendo os mesmos tornar-se inativos ou exibir atividade reduzida entre 5 a 10°C e 30 e 40°C. Abaixo ou acima desses limites, as temperaturas podem ser letais, dependendo do tempo de exposição a elas (Laughlin & Lordello, 1977).

A textura interfere na presença de nematóides, pois solos argilosos, por se arranjar melhor, dificultam a movimentação dos nematóides e também encharcam mais facilmente, enquanto que os solos arenosos, apresentam uma maior porosidade e por isso são mais bem drenados, no entanto provocam grandes oscilações no teor médio de umidade (Tihohod, 1993). Para Yeates, (1999) uma boa estrutura mostra maior porosidade favorecendo o deslocamento de nematóides no solo. Jones et al., (1969) verificaram que o uso do solo com cultivos prolongados contribui para a quebra de agregados diminuindo o espaço para o movimento de nematóides no solo.

A estrutura da comunidade de nematóides oferece um eficiente instrumento para o acompanhamento da qualidade e funcionamento do solo, visto que eles se reproduzem em curto espaço de tempo, sua diversidade pode ser afetada por pequenas variações nos ecossistemas, apresentam diversos hábitos alimentares e estratégias de vida, sendo assim um dos indicadores biológicos disponíveis para a caracterização de sistemas perturbados (Porazinska et al., 1999).

2.3.5. Diversidade da fauna edáfica

O estudo das comunidades de fauna do solo é importante para a compreensão ecológica do funcionamento edáfico, já que o desequilíbrio destas comunidades pode resultar em desastres como a explosão de pragas ou a destruição da estrutura física do solo e consequente perda da fertilidade e da capacidade produtiva. A diversidade da fauna edáfica tende a ser baixa em sistemas com muita perturbação humana (especialmente com preparo intensivo de solo e uso defensivos), mas pode ser melhorada com manejo adequado do solo, incluindo adições de matéria orgânica, plantio direto e rotações de cultura (Brown, 2001).

Algumas classificações têm sido propostas para subdividir os organismos do solo, de modo a facilitar o estudo da funcionalidade dos diferentes grupos taxonômicos. Lavelle et al. (1997) propôs uma subdivisão da fauna edáfica de invertebrados do solo apoiada na mobilidade dos organismos e em classe de tamanho (Quadro 1).

Quadro 1 – Classificação da fauna edáfica baseada na mobilidade e em classes de tamanho

Grupos	Tamanho	Característica	Organismos incluídos
Microfauna	< 0,2 mm	Ligeiramente mais móveis que a microbiota	Protozoários e nematóides
Mesofauna	0,2 a 2 mm	Movimentam-se em fissuras, poros e na interface serrapilheira / solo	Ácaros e colêmbolos, e enquitreídeos
Macrofauna	> 2 mm	Constroem ninhos cavidades e galerias e transportam materiais	Anelídeos, térmitas, formigas, diplópodes e aracnídeos

FONTE: Lavelle et al. (1997).

Os organismos da microfauna do solo alimentam-se preferencialmente de fungos e bactérias, embora numerosas formas predadoras e parasitas, como o caso dos nematóides, sejam abundantes. Seus efeitos se manifestam através do consumo e assimilação de tecidos microbianos e pela excreção de nutrientes minerais (Beare et al., 1995).

Os indivíduos da mesofauna, apesar de numerosos, têm funções menos específicas e participam principalmente da cadeia alimentar de outros organismos (Assad, 1997). O principal efeito da atividade do colêmbolos é o aumento da mineralização de nutrientes por meio da alimentação direta da vegetação em decomposição e hifas e esporos de fungos, disponibilizando-os para a microbiota e a fauna (Moore, 1988). A fragmentação de detritos

vegetais promovida por esses invertebrados e a deposição das suas fezes aumenta a superfície específica para o ataque microbiano (Seastled, 1984).

Os macroinvertebrados possuem papel de destaque no biofuncionamento do solo, mesmo quando não representam importante biomassa e/ou grande quantidade de indivíduos. Eles modificam o ambiente onde vivem por meio de mecanismos tais como: movimentação de material sobre e dentro do solo; enterrio ativo de restos vegetais depositados na superfície do solo; movimentação de quantidades variáveis de partículas de diferentes frações granulométricas; construção de montículos, cavidades, galerias e ninhos; ingestão e excreção de restos orgânicos e de partículas minerais; participação nos ciclos biogeoquímicos e na disponibilização de nutrientes (Assad, 1997), contribuem para o desenvolvimento estrutural do solo aumentando consideravelmente a porosidade, com reflexos positivos na capacidade de retenção e velocidade de infiltração de água no solo (Lee & Foster, 1991). Esses organismos também são chamados de “engenheiros dos ecossistemas” pela sua capacidade de afetar de maneira significativa à estrutura do solo (Stork & Eggleton, 1992).

As coberturas de solo, geralmente formam uma camada espessa de folhas com vários extratos de matéria fresca em decomposição, capazes de abrigar uma população diversificada da fauna edáfica. Os recursos alimentares disponíveis, como também a estrutura do microhabitat gerado, possibilitam a colonização de várias espécies de fauna do solo com diferentes estratégias de sobrevivência. Nesse caso, quanto mais diversa for a cobertura vegetal, maior será a heterogeneidade da serapilheira, que apresentará maior número de nichos a serem colonizados, resultando, portanto, em maior diversidade das comunidades de fauna do solo (Correia & Andrade, 1999). As práticas de manejo utilizadas em um sistema de produção podem afetar de forma direta e indireta a fauna do solo, o que reflete na sua densidade e diversidade. Os impactos diretos correspondem à ação mecânica de aração e gradagem e aos efeitos tóxicos do uso de pesticidas. Os efeitos indiretos estão relacionados à modificação da estrutura do habitat e dos recursos alimentares. Dessa forma, a retirada da serrapilheira e ervas daninhas, bem como a compactação de solos decorrente do uso intensivo de máquinas agrícolas e cultivos monoespecíficos provocam uma simplificação do habitat, tendo como consequência uma diminuição das comunidades do solo (Correia, 1997).

3- LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada numa área de meia-encosta em uma propriedade agrícola localizada no município de Viçosa-MG, na latitude $20^{\circ} 42' 57''$ e longitude $42^{\circ} 52' 02''$. A altitude da área de estudo varia de 720 a 732 m e, de acordo com a classificação de Köppen, a região apresenta clima tipo Cwb, ou seja, clima tropical de altitude com verões frescos e chuvosos, e invernos secos e temperatura média anual entre 17 e 22°C. Na Figura 1 encontra-se a temperatura média mensal no ano de 2002. A precipitação média da região está em torno de 1300 mm anuais, sendo que o período chuvoso vai de outubro a março. A Figura 2 mostra a distribuição mensal de precipitação no ano de 2002. Para Guimarães (1996), a região apresenta condições ideais de altitude, temperatura e precipitação para o cultivo de café. O relevo predominante da região é forte ondulado com encostas convexo-côncavas, seguidas de terraços, alternados por vales de fundos chatos, formados por leito maior periodicamente inundado Correa (1984). A encosta estudada possui diferença de nível entre o topo e o sopé de, aproximadamente, 75m e encontra-se representada por um Latossolo Vermelho-Amarelo, com horizonte A moderado, pouco fértil, com elevada saturação de alumínio trocável e bastante permeável (Rezende et al., 1972).

Foram avaliadas as seguintes coberturas vegetais, tomadas, neste trabalho, como fontes de variação: Cultivo de café Mundo Novo com 22 anos (C22); Cultivo de café Catuai com 16 anos (C16), que sofreu recepa em outubro de 2001; Mata secundária com idade estimada em cerca de 30 anos (M30), e Mata secundária com idade por volta de 40 anos (M40). Em cada sistema foram marcadas parcelas amostrais com 480 m² (Figura 3) e cada

uma foi dividida em quatro partes em forma de um retângulo de 120m² (8 x 15m) que foram consideradas repetições de cada sistema estudado, onde foram efetuadas as amostragens. A propriedade possui uma área total de 62,5 ha. A área C16, de 5,3 ha, era anteriormente coberta por mata secundária antes do plantio de café, enquanto que a área C22, com 3,2 ha, era anteriormente ocupada por pastagem natural. Ambas áreas com café foram submetidas à queima antes do plantio. O plantio de café (*Coffea arábica* L.) se deu em covas, no espaçamento de 2 x 1 m e, anualmente, vem recebendo adubações com 500 a 800 g do formulado NPK (20-5-20) por planta e calagem a lanço na dose de 3 t ha⁻¹ de calcário a cada 3 anos. O manejo de ervar-daninhas é feito por meio de herbicidas de contato, mantendo-se as entrelinhas constantemente livres de vegetação, porém com cobertura morta oriunda da capina química.

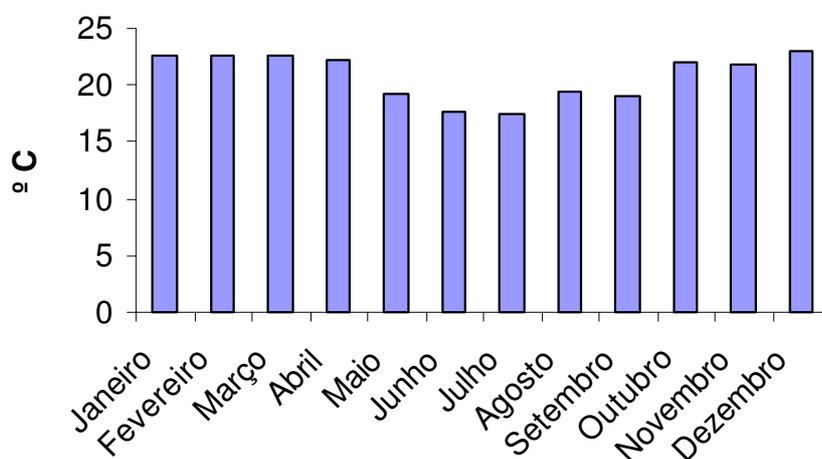


Figura 1 – Temperatura média mensal do ano de 2002 de Viçosa-MG.

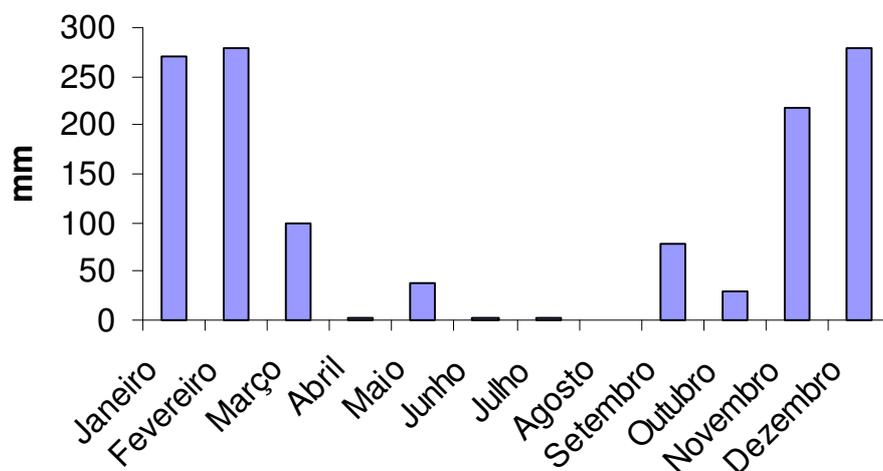


Figura 2 – Precipitação mensal do ano de 2002 de Viçosa-MG.

A área M30, de 7,3 hectares, apresenta um sub-bosque representativo e, ocasionalmente, sofre ação do fogo e exploração de madeira por vizinhos para uso doméstico. Estudo florísticos realizados por Senra (2000) nesta área amostrou 2270 indivíduos, relacionando 107 espécies arbóreas, distribuídas em 73 gêneros e 37 famílias botânicas, entre as quais as mais representativas floristicamente foram: Annonaceae, com 9 espécies; Euphorbiaceae, com 8; Fabaceae, Lauraceae e Mimosaceae, com 7; Flacourtiaceae e Sapindaceae, com 6; e Myrtaceae, 21, que representaram 52,3% das espécies totais. Os gêneros mais representativos foram Guatteria, com 6 espécies; Casearia, com 5, Solanum, com 4; e Cordia, Croton, Ocotea, Inga, Machaerium e Eugenia, com 3 cada um. Entre as espécies com pelo menos cinco indivíduos, 30,81% pertencem ao grupo das pioneiras, 67,36% às secundárias iniciais e 1,83% às secundárias tardias, o que indica que o fragmento encontra-se em fase intermediária de desenvolvimento. O índice de diversidade de espécie (Shannon) medido foi de 3,01.

A área M40 compõe 7,0 ha e mostra-se mais preservada, com espécies de porte mais elevados e ausência de sub-bosque, o que indica um processo sucessional mais avançado. Em levantamento florístico realizado recentemente foram amostrados 800 indivíduos distribuídos em 83 espécies arbóreas pertencentes a 63 gêneros e 32 famílias botânicas. Desse total, foram determinadas 69 espécies, 12 estão identificadas em nível de gênero e duas não foram ainda reconhecidas em nível de família. Das 30 famílias reconhecidas, Leguminosae, com 15 espécies, igualmente distribuídas por suas três subfamílias; Lauraceae, com 10; Myrtaceae, com 7; e Flacourtiaceae, com quatro, apresentaram-se como as famílias com maior riqueza de espécies. Por sua vez, os gêneros Myrcia com 5 espécies, Casearia com 4 e Guatteria e Ocotea com 3 foram os mais ricos. O índice de diversidade de Shannon foi de 3,62 (Soares Júnior, 2003). Para o autor, uma maior diversidade de espécie parece ser o maior indicativo de uma etapa avançada de um fragmento florestal no processo de sucessão.

A lavoura situa-se na encosta ocupando desde o topo até o sopé, condição idêntica verificada para as matas (Figura 3), numa topossequência, sob influência de condições similares de solo, clima e relevo. Os sistemas foram locados no terço superior da meia encosta entre as cotas 720 e 732 (Figura 4).

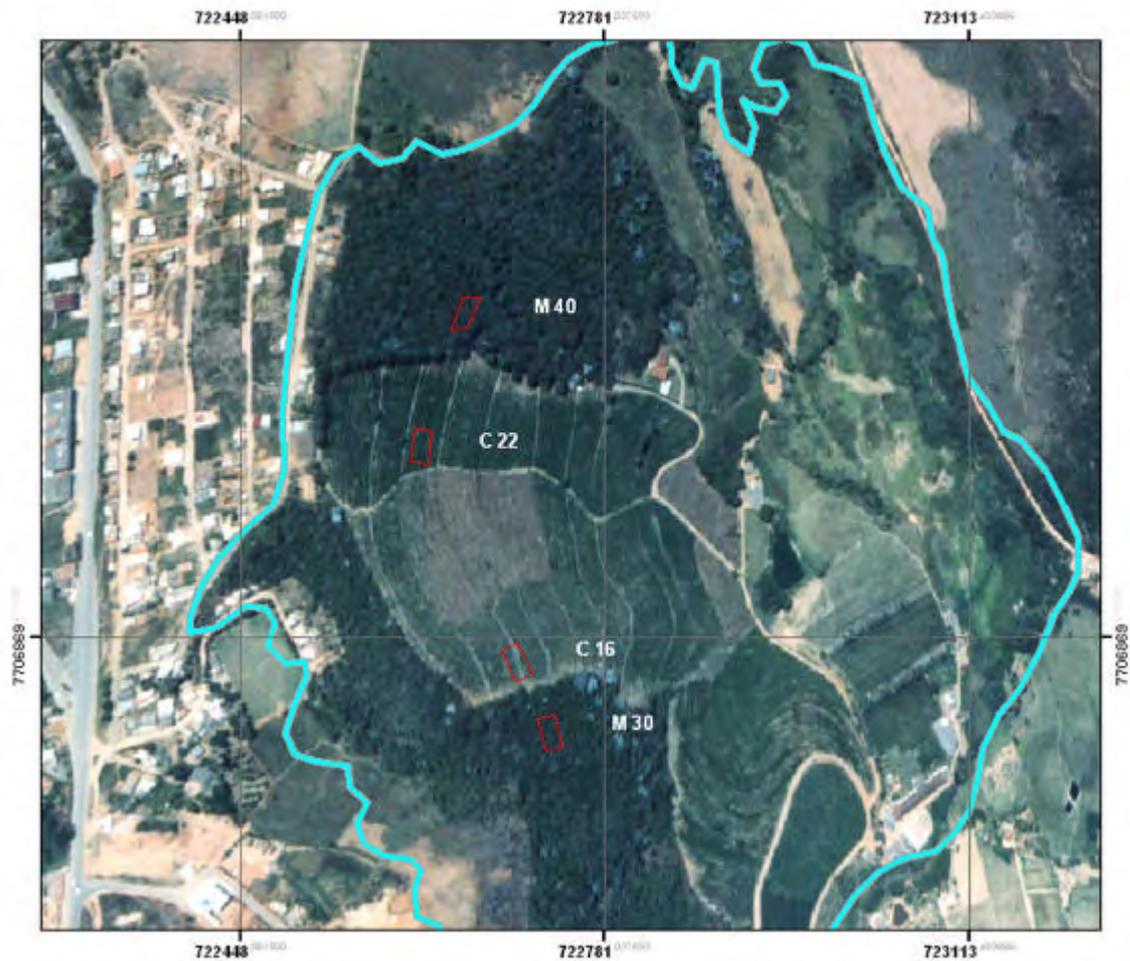


Figura 3 – Fotografia aérea na escala de aproximada original de 1: 10.000, localizando as áreas de estudos, no município de Viçosa –MG.

Foto: Núcleo de Estudos de Planejamento e Uso da Terra – NEPUT (2003).

C16 – Café com 30 anos; C22- Café com 22 anos; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos.

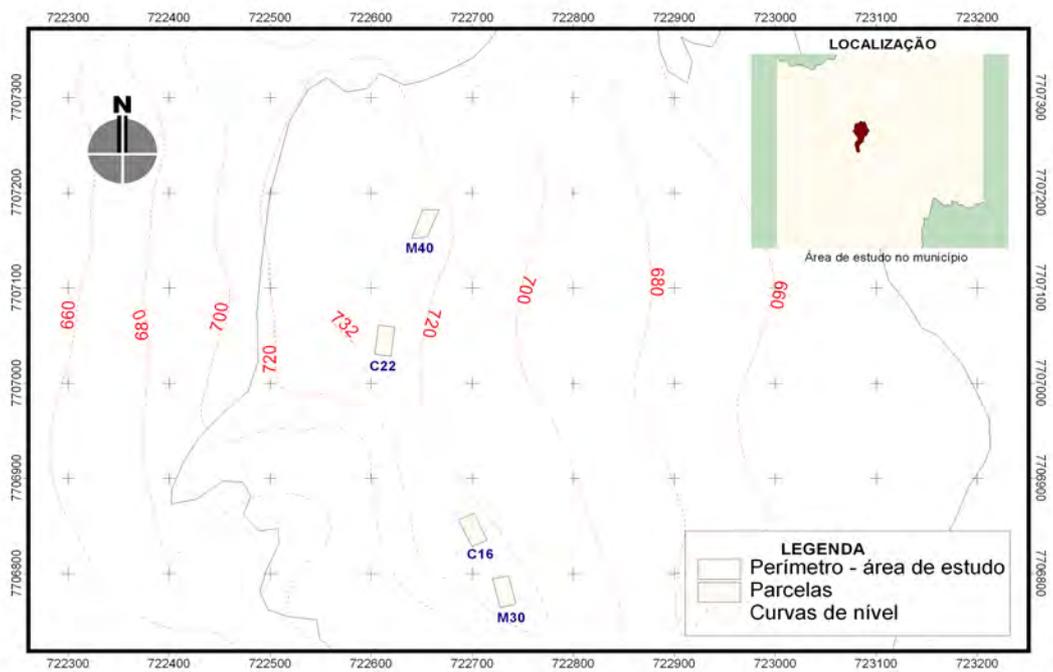


Figura 4 – Localização das áreas estudadas nas curvas de níveis.

C16 – Café com 30 anos; C22- Café com 22 anos; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, E.N.; FERREIRA, M.M. Efeitos de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arábica* L.) sobre a qualidade física do solo. R. Bras. Ci. Solo, 24: 711-721, 2000.
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P & TRAZAR-CEPEDA, C. Phosphatase activity. In: ALEF, K. & NANNIPIERI, P. Methods in applied soil microbiology and biochemistry, Academic Press, 1995, p. 335-344.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. Quantities of plant nutrient in the microbial biomass of selected soils. Soil Sci., 130: 211-216, 1980.
- ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganism in a dominant state. Biol. Fertil. Soils, 1: 81-89, 1985.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. Soil Biol. Biochem., 25: 393-395, 1993.
- ASSAD, M.L.L. Papel da macrofauna edáfica de invertebrados no comportamento de solos tropicais. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, Rio de Janeiro. Conferências..., CD-ROOM, Rio de Janeiro, SBCS, 1997.
- BADIANE, N.N.Y.; CHOTTE, J.L., PATE, E.; MASSE, D. & ROULAND, C. Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions. Appl. Soil Ecol., 18: 229-238, 2001.
- BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A; ANDRADE, D.S & HUNGRIA, M. Biomassa e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. Rev. Bras. Ci. Solo, 22: 641-649, 1998.

- BANDICK, A.K. & DICK, R.P. Field management effects on soil enzymes activities. *Soil Biol. Biochem.*, 31: 1471- 1479, 1999.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetados por métodos de preparo e sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 21: 105-112, 1997.
- BEARE, M.H.; COLEMAN, D.C.; CROSSLEY, D.A.; HENDRIX, P.F. & ODUM, E.P. A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant Soil*, 170: 5-22, 1995.
- BROWN, G.G. Diversidade e função da macrofauna no sistema edáfico agrícola. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, Londrina. Anais..., Londrina, SBCS, 2001, p. 56 (palestra 23).
- CALDWELL, B.A.; GRIFFITHS, R.P. & SOLLINS, P. Soil enzyme response to vegetation disturbance in two lowland Costa Rican soils. *Soil Biol. Biochem.*, 31: 1603- 1608, 1999.
- CORREA, G.F. Modelo de evolução e mineralogia da fração argila dos solos do planalto de Viçosa, MG. Viçosa, UFV, 1984, 87 p. (Tese de mestrado)
- CORREIA, M.E.F. Organização de comunidades da fauna de solo: O papel da densidade e da diversidade como indicadores de mudanças ambientais. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, Rio de Janeiro (CD-room). Palestras..., Rio de Janeiro, SBCS, 1997.
- CORREIA, M.E.F. & ANDRADE, A.G. Formação da serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.G. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais, Porto Alegre: Gênese, 1999, p. 197-255.
- CUNHA, G.M. Estudo comparativo de condições químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo álico, de encosta, sob duas coberturas: café e mata natural. Viçosa: UFV, 1995, 65p. (Tese de Mestrado).
- DALAL, R.C. & MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. I- Total organic and its rate of loss from soil profile. *Aust. J. Soil. Res.*, 24: 281-292, 1986.
- DIAS, L.E. Uso de Indicadores de qualidade de solos no monitoramento de processos de recuperação de áreas degradadas. Viçosa: SBCS, 27 (1): 6-8, 2002 (Boletim informativo).
- DICK, W.A.; RASMUSSEN, P.E.; KERLE, E.A. Influence of long-term residue management on soil enzyme activities in relation to soil chemical properties of a wheat-fallow system. *Biol. Fertil. Soils*, 6: 159-164, 1988.
- DORAN, J. W. Soil quality and sustainability, In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, Rio de Janeiro. (CD-room). Palestras..., Rio de Janeiro, SBCS, 1997.

- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W. COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. (Eds.) Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Sci. Soc Am., 1994, p. 3-21. (Special Publication, 35).
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J. (Eds.) Methods for assessing soil quality. Madison, Soil Sci. Soc Am., 1996, p. 25-37 (Special Publication, 39).
- DORAN, J.W. & ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *App. Soil Ecol.*, 15: 3-11, 2000.
- FERNANDES, D.R. Manejo do cafezal. In: RENA, A.B. ; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. Cultura do cafeeiro, fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafós, 1986, p. 275-301.
- FREITAS, L.G.; OLIVEIRA, R.D.L. & FERRAZ, S. Introdução a nematologia. Viçosa: UFV, 2001, 84p. (Cadernos didáticos, 58).
- GOMES, P.C. Influência da cobertura vegetal na formação e evolução do húmus e sua relação com algumas propriedades físico-químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo do município de Viçosa, MG. Viçosa: UFV, 1992, 60p. (Tese de mestrado).
- GONÇALVES, W. & SILVAROLLA, M.B. Nematóides parasitos do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. Tecnologia de produção de café com qualidade. Viçosa: UFV, 2001, p. 199-267.
- GREGORICH, E.G. Quality. In: LAL, R. (Eds.) Enciclopedia of Soil Science. Marcel Decker, New York, 2002 , p. 1058-1061.
- GUIMARÃES, R.T. Desenvolvimento da cafeicultura de montanha. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. Viçosa: SBCS/UFV, 1996, p. 251-259.
- HANSON, R.G. & CASSMAN, K.G. Soil management and sustainable agriculture in the developing world. In: XV WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, Acapulco, México, vol 7, Commission VI Symposia Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, 1994, p. 17-33.
- HILLEL, D. Introduction to soil physics. San Diego, Academic Press, 1982, 364p.
- INSAM, H. & HASELWANDTED, K. Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession. *Oecologia*, 79: 174-178, 1989.
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. *J. Soil Water Conserv.*, 55: 69-79, 2000.

- JONES, F.G.W., LARBNEY, D.W., PARROT, D.M. The influence of soil structure and moisture on nematodes, especially *Xiphinema*, *Londidorus*, *trichodorus* and *Heterodera* spp. Soil Biol. Biochem. 1: 153-165, 1969.
- JUCKSCH, I. Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho Escuro. Viçosa: UFV, 1987, 37p. (Tese de Mestrado).
- KANDJI, S.T., OGOL, C.K.P.O. & ALBRECHT, A. Diversity of plant-parasitic nematodes and their relationships with some soil physico-chemical characteristics in improved fallows in western Kenya. Appl. Soil Ecol., 18: 143-157, 2001.
- KELTING, D.L.; BURGER, J.A. & EDWARDS, G.S., Estimating root respiration, microbial respiration in rhizosphere, and root-free soil respiration in forest soils. Soil Biol. Biochem., 30: 961-968, 1998.
- KELTING, D.L.; BURGER, J.A. ; PATTERSON, S.C. AUST., W.M.; MIWA, M. & TRETTIN, C.C. Soil quality assessment in domesticated forests – a south pine example. For Ecol. Manage. 122: 167-185, 1999.
- KELTJENS, W.G. Plant adaptation and tolerance to acids soils; its possible Al avoidance – A review. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FDAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A. & CANTARELLA, H., (Eds.) Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production. Campinas: SBCS, 1997, p. 109-117.
- KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, 26:857-867, 2002.
- LATHWELL, D.J. & BOULDIN, D.R. Soil organic matter and soil nitrogen behavior in cropped soils. Trop. Agric. Survey, 59: 341-348, 1981.
- LAUGHLIN, C.W. & LORDELLO, L.G.E. Sistemas de manejo de nematóides; relações entre densidade de população e os danos à planta. Nematologia brasileira, Piracicaba, 2:15-24, 1977.
- LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptative strategies that determine ecosystem function. Adv. Ecol. Res., 27: 93-132, 1997.
- LEE, K.E. & FORSTER, R.C. Soil fauna and soil structure. Aust. J. Soil Sci., 29: 745-776, 1991.
- MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. R. Bras. Ci. Solo, 23: 257-263, 1999.
- MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N., CURI, N. & MA, M. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob diferentes povoamentos florestais. Revista Cerne, 8: 32-41, 2002.

- MATSUOKA, M.; MENDES, I.C. & LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). *R. Bras. Ci. Solo*, 27 : 425-433, 2003.
- MAXWELL, R.A. & COLEMAN, D.C. Seasonal dynamics of nematode and microbial in soils of riparian-zone forest of the southern Appalachions. *Soil Biol. Biochem.*, 27: 79-84, 1995.
- MILLER, M. & DICK, R.P. Thermal stability and activities of soil enzymes as influenced by crop rotations. *Soil Biol. Biochem.*, 27: 1161-1166 , 1995.
- MOORE, J.C. The influence of microarthropods on simbiotic and non-symbiotic mutualism in detrital-based below-ground food webs. *Agric. Ecosys. Environ.*, 24:147-159, 1988.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA, 2002, 626p.
- PAUL, E.A.; HARRIS, D. COLLINS, H.P; SCHULTHESS, U.; ROBERTSON, G.P. Evolution of CO₂ and soil carbon dynamics in biologically managed, row-crop agroecosystems. *Applied. Soil Ecol.* , 11: 53-65 , 1999.
- PORAZINSKA, D.L.; DUNCAN, L.W., McSORLEY, R. & GRAHAM, J.H. Nematodes communities as indicator of status and processes of a soil ecosystem influenced by agricultural management practices. *Appl. Soil Ecol.*, 13: 69-86, 1999.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.K. & CHRISTENSEN, B.T., Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.*, 19: 159-164, 1987.
- REGANOLD, J.P. & PALMER, A.S. Significance of gravimetric versus volumetric measurements of soil quality under biodynamic, conventional and continuous grass management. *J. Soil Water Conserv.*, 50: 298-305, 1995.
- RENA, A.B. & DAMATTA, F.B. O sistema radicular do cafeeiro: morfologia e ecofisiologia. In: ZAMBOLIM, L. (Eds.) *O estado da arte de tecnologias na produção de café* Viçosa: UFV, P. 11-83, 2002.
- REZENDE, S.B.; RESENDE, M.; GALLOWAY, H.M. Crono-Topossequência de Solos em Viçosa, MG. *Revista Ceres*, 19: 167-181, 1972.
- SANCHEZ, P.A. *Properties and management of soil in the tropics*. New York, J. Wiley, 1976, 617p.
- SANTANA, D.F. & BAHIA FILHO, A.F.C. Soil quality and agriculture sustainability in the Brazilian Cerrado. In: *WORD CONGRESSS OF SOIL SCIENCE*, 16, 1998. Montpellier, França. *Proceedings, Montpellier. ISSS, 1998- CD-ROM*.
- SARAIVA, O. F. Relação da matéria orgânica com as características físicas e químicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico distrófico, fase terraço, submetido a sistemas de cultivo. Viçosa: UFV, 1987, 75p. (Tese de Mestrado).

- SCHOENHOLTZ, S.H.; VAN MIEGROET, H. & BURGER, J.A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest quality: challenges and opportunities. *Forest Ecol. Manag.*, 138: 335-356, 2000.
- SEASTEDT, T.R. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Ann. Rev. Entomol.*, 29: 25-46, 1984.
- SENRA, L.C. Composição florísticas e estrutura fitossociológica de um fragmento florestal da fazenda Rancho Fundo na Zona da Mata – Viçosa, MG. Viçosa: UFV, 2000, 66p. (Tese de Mestrado).
- SETA, A. K. & KARATHANASIS, A.D. Water dispersible colloids and factors influencing their dispersability from soil aggregates. *Geoderma*, 74: 255-266, 1997.
- SOARES JÚNIOR, F.J. Composição florísticas e estrutura de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual na Fazenda Tico-Tico, Viçosa-MG. Viçosa: UFV, 2000, 68p. (Tese de Mestrado).
- SOUZA, S.E.; SOUZA, L.H.; SANTOS, F.S. & SILVA, R.V. Flutuação populacional de *Meloidogyne exigua* (Goeldi, 1887) em cafeeiros no município de Barra do Choça-BA. *Revista Bahia Agrícola*, 3: 1-4, 1998.
- SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indication of changes in soil organic matter. *Ast. J. Soil Res.*, 30: 195-207, 1992.
- STEVENSON, F. J. Cycles of soil-carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur and micronutrients. New York, John Wiley & Sons, 1986, 380p.
- STORK, N.E. & EGGLETON, P. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *Am. J. Altern. Agric.*, 7: , 1992.
- TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W.; ANGLE, J.S.; BOTTOMLEY, P.S.; BEZDICEK, D.; SMITH, S. TABATABAI, A. & WOLLUM, A. (Eds.) *Methods of soil analysis. Microbiological and biochemical properties*, Madison, Soil Sci. Soc. Am., 5 : 775-833 , 1994.
- TARAFDAR, J.C. & JUNGK, A. Phosphatase activity in the rhizosphere and its relation to the depletion of soil organic phosphorus. *Biol. Fertil. Soils*, 3: 199-204, 1987.
- TIHOHOD, D. *Nematologia agrícola aplicada*. Jaboticabal: Funep, 1993, 371p.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *J. Soil Sci.*, 33: 141-145, 1982.
- TÓTOLA, M.R. & CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., (Eds.) *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: SBCS, 2000, vol. 2, p. 195-276.

- VARGAS, L.K. & SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. Rev. Bras. Ci. Solo, 24: 35-42, 2002.
- WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. Bio. Rev., 67: 321-358, 1992
- WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação de biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M. & ARAÚJO, R.S. (Eds.) Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. Brasília, EMBRAPA, 1994, P. 419-436.
- WARKETIN, B. The changing concept of soil quality. J. Soil and Water Conserv., 50: 226-228, 1995.
- YEATES, G.W. Effects of plants on nematode community structure. Ann. Rev., 37:127-149, 1999.

CAPÍTULO 1

QUALIDADE DE UM SOLO SOB MATA SECUNDÁRIA E CULTIVADO COM CAFÉ EM VIÇOSA-MG: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

1. INTRODUÇÃO

A substituição da vegetação natural por culturas agrícolas provoca alterações nas propriedades químicas do solo, visto que solos sob excessiva mobilização, submetidos à queima ou retirada de resíduos vegetais, sofrem redução significativa no teor de matéria orgânica, o que influenciará também em outras propriedades do solo.

Os indicadores químicos de qualidade de solo estão relacionados com os aspectos relativos a disponibilidade de nutrientes e a presença de elementos tóxicos às plantas e organismos, a acidez do solo e a teores de carbono orgânico no solo e incluem principalmente medições de pH, matéria orgânica, carbono orgânico, capacidade de troca de cátions (CTC), condutividade elétrica, concentração de elementos contaminantes (metais pesados) ou tóxicos e aqueles que são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Santana & Bahia Filho, 2003).

A importância da matéria orgânica em relação às propriedades do solo é amplamente reconhecida, visto que os diferentes sistemas de manejo alteram a concentração de C no solo. Especificamente em relação às características químicas, o teor de carbono no solo é

importante por regular a dinâmica de nutrientes, pelo aumento da CTC e diminuição da toxidez de Al e Mn (Doran & Parkin, 1994).

Em solos tropicais, a CTC da matéria orgânica representa um grande potencial da CTC total do solo, diminuindo o potencial de lixiviação de cátions básicos. As práticas de manejo influem nos teores de matéria orgânica e, portanto, na CTC, com incrementos significativos na CTC para pequenos acréscimos de matéria orgânica (Bayer & Mielniczuk, 1997). A matéria orgânica é a principal fonte de nutrientes essenciais ao crescimento e desenvolvimento da planta, representando aproximadamente 95% do teor de N total do solo. Assim, teores elevados de matéria orgânica no solo são fundamentais na retenção de nutriente e conseqüente redução de sua lixiviação (Sanchez, 1976).

O pH influencia várias reações químicas e biológicas diretamente relacionadas com a disponibilidade de nutrientes. Sob condições de baixo pH o Al^{3+} torna-se solúvel sendo preferencialmente adsorvidos no complexo de troca em detrimento de outros cátions básicos, atingido níveis tóxicos e limitando o crescimento e desenvolvimento de raízes (Keltjens, 1997) e os processos microbiológicos, uma vez que a maioria dos microrganismos do solo tem maior atividade em condições de solo próximo a neutralidade (Tsai et al., 1992).

Considerando a influência dos diferentes tipos de usos e manejo sobre as propriedades do solo, o presente capítulo teve como objetivo avaliar as modificações em algumas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob mata secundária e cultivado com café.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As coletas de amostras de solos foram realizadas em janeiro de 2002. A amostragem foi feita de forma aleatória retirando-se seis amostras simples em cada repetição nas profundidades de 0-2,5; 2,5-7,5 e 7,5-20 cm, que foram peneiradas com peneiras de malhas circulares (2 mm ϕ) em campo e misturadas retirando-se cerca de 500g constituindo-se uma amostra composta, totalizando quatro amostra por cobertura vegetal e por profundidade. As amostras simples no cafezal foram retiradas tanto nas entrelinhas como nas linhas. Todas as análises foram realizadas nos Laboratórios de Fertilidade da UFV, em Viçosa-MG.

As análises químicas realizadas foram: pH em água; P, K e Na disponíveis; Ca, Mg e Al trocáveis e acidez total (H + Al) (Defelipo & Ribeiro, 1997). O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método de Walkley-Black (Jackson, 1958) e a transformação dos valores de CO para matéria orgânica (MO) foi feita pela relação $M.O. = 1,724 \times CO$. Com as variáveis determinadas calculou-se a soma de bases (SB), CTC efetiva (t); CTC total (T), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m).

Os resultados de análises químicas do solo foram submetidos à análise de variância e a comparação entre cada área foi feita por meio da aplicação do teste de média de Tukey, baseado na amplitude total estudentizada, em nível de 5% de probabilidade por meio do Sistema de Análise Estatística e Genética-SAEG. Foram montados os seguintes contrastes em função de algumas propriedades químicas: C16 x C22; M30 x M40 e Mata x Café, que foram testados pelo teste F a pelo menos 10% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos sob café evidenciaram melhor fertilidade e, portanto, condições químicas mais favoráveis ao crescimento de plantas (Quadro 1 e 2). Esses resultados eram esperados, uma vez que foram realizadas práticas de correção e adubação nos sistemas com café, em razão do distrofismo natural do solo em estudo. Assim, em relação aos ambientes de referência (matas secundárias), houve aumento nos teores de nutrientes e diminuição do Al trocável, visto que aqueles apresentaram soma de bases alta e/ou muito alta e saturação por Al muito baixa na profundidade de 0-2,5 e 2,5-7,5 cm, enquanto que estes evidenciaram soma de bases e saturação de bases baixa ou muito baixa e saturação por Al muito alto, nas três profundidades avaliadas, conforme Alvarez V. et al (1999).

Os solos de mata mostraram acidez ativa muito elevada, sendo os menores valores de pH encontrados nos sistemas M30 e M40 de 3,45 e 3,52; 3,66 e 3,60; e 3,96 e 3,89 nas profundidades 0 - 2,5 , 2,5-7,5 e 7,5-20 cm respectivamente (Quadro 1). O baixo pH e teores de nutrientes nesses sistemas poderiam, em alguns casos, ocasionar um decréscimo da eficiência da biomassa microbiana em utilizar o C da serrapilheira, e conseqüente aumento nos teores de C orgânico recalcitrante, sobretudo em condições ambientais de pouca umidade no solo (Wardle, 1993). Os solos sob café apresentaram pH com acidez média (C20) e próximo à neutralidade (C22) na camada superficial em razão da prática de calagem realizada a lanço nesses solos, a cada três anos. A ausência de revolvimento incrementou os teores de Ca e Mg apenas nas camadas superficiais (até 7,5 cm).

Quadro 2 - Características químicas de solos cultivados com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG

Prof.	pH H₂O	Matéria orgânica dag kg⁻³	P	K	Na	Ca²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	H+Al
			-----mg dm ⁻³ -----			-----cmol _c dm ⁻³ -----			
Café com 16 anos de cultivo (C16)									
0 – 2,5	5,06 b	6,2 c	13,8 a	289,2 a	267,2 a	3,9 b	1,1 b	0,2 b	6,9 d
2,5 – 7,5	4,96 b	4,8 c	9,4 a	245,4 a	224,4 a	2,5 b	0,6 b	0,4 b	7,8 c
7,5 – 20	4,67 a	3,7 b	3,2 a	145,7 a	144,3 a	0,9 a	0,2 a	0,9 b	7,5 b
Café com 22 anos de cultivo (C22)									
0 – 2,5	6,75 a	5,7 c	15,4 a	152,7 b	148,1 b	7,7 a	2,8 a	-	1,9 c
2,5 – 7,5	5,91 a	5,0 bc	9,1 ab	125,3 b	120,8 b	4,6 a	2,0 a	-	5,1 c
7,5 – 20	4,74 a	4,0 b	3,0 a	71,60 b	71,3 b	1,0 a	0,3 a	1,0 b	7,7 b
Mata com 30 anos (M30)									
0 – 2,5	3,45 c	9,6 b	2,3 b	66,8 b	65,4 bc	0,4 c	0,2 c	3,1 a	13,9 b
2,5 – 7,5	3,66 c	6,1 b	2,4 c	49,1 bc	46,9 bc	0,2 c	0,1 c	2,7 a	11,4 b
7,5 – 20	3,96 b	4,5 b	1,9 a	31,8 bc	30,8 c	0,1 b	0,1 b	2,1 a	9,2 a
Mata com 40 anos (M40)									
0 – 2,5	3,5 c	12,9 a	3,3 b	55,1 b	55,0 b	0,1 c	0,1 c	3,3 a	17,2 a
2,5 – 7,5	3,6 c	9,0 a	2,9 bc	38,1 c	38,4 c	0,1 c	0,1 c	3,0 a	14,6 a
7,5 – 20	3,9 b	5,6 a	2,0 a	26,0 c	25,5 c	0,1 c	-	2,4 a	10,0 a

As médias seguidas por uma mesma letra na coluna e na mesma profundidade não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores elevados de H + Al registrados nos solos sob matas provavelmente em função de maiores teores de matéria orgânica, refletiram na maior CTC a pH 7 nesses sistemas, enquadrando-os na classe muito alta (Alvarez V. et al., 1999) na camada de 0-2,5 cm, sendo que os maiores valores encontrados nos sistemas M30 e M40, foram de 15,06 e 17,02, respectivamente. No entanto, a V nesses solos representou um percentual muito baixo: 8% para o sistema M30 e 4 % para o sistema M40, na mesma profundidade. Em relação à saturação de Al (m) os sistemas de mata apresentaram valores da ordem de mais de 80% (Quadro 3), características típicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo predominante nas elevações do planalto de Viçosa (Rezende et al., 1972).

As adubações com NPK realizadas em cobertura nos solos sob café resultaram em maior disponibilidade de K e P na camada superficial. No entanto, os teores de K-disponível no sistema C16 encontraram-se muito elevadas em todo o perfil em função da maior mobilidade deste nutriente no solo. No sistema C22 a concentração de K apresentou-se muito elevada até a profundidade 7,5 cm, o que pode indicar a presença de uma camada pouco permeável nesse solo e, em consequência, uma diminuição da difusão do K neste perfil. No caso do P, a sua baixa mobilidade no solo, aliada a ausência de revolvimento causou uma maior concentração deste elemento na camada superficial (0-2,5 cm) nos solos sob café. Nos sistemas de mata esta diferença não é tão acentuada em função de não terem sido realizadas adubações (Quadro 2). Os fertilizantes usados, provavelmente, apresentavam em sua composição Na, uma vez que os teores desse elemento no solo aumentaram na mesma proporção de K, em todas as profundidades. O Na em teores elevados no solo se manifesta pelo aumento da dispersão da argila, formação de um sub-horizonte denso ou camada impermeável dificultando a drenagem e a penetração de raízes (Oliveira, 1996), sendo os solos argilosos mais severamente afetados (Gheyi, 2000).

O teor de matéria orgânica diminuiu de modo significativo em função do uso do solo, principalmente até a profundidade de 7,5 cm, sendo os valores mais elevados observados no tratamento M40, 12,9; 9,0 e 5,6 dag kg⁻¹ nas camadas de 0-2,5; 2,5-7,5 e 7,5-20 cm, respectivamente (Quadro 2). Os sistemas C16 e C22 reduziram em 52 e 55 %, respectivamente, o teor de C orgânico, em relação à M40, na profundidade de 0-2,5 cm; e em 46 e 45 %, respectivamente na camada de 2,5-7,5 cm. Essa constatação pode ser atribuída à maior deposição de resíduos orgânicos nos solos sob mata.

Quadro 3 – Valores médios de matéria orgânica (MO), soma de bases (SB), saturação de bases (V) capacidade de troca de cátions efetiva (t), capacidade de troca de cátions total (T), saturação por alumínio (m) cultivados com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG

Profundidade (cm)	(SB)	(t)	(T)	(V)	(m)
	-----Cmolc dm ⁻³ -----			-----%/-----	
Café com 16 anos de cultivo (C16)					
0 – 2,5	7,01 b	7,16 b	13,95 c	50 b	2 c
2,5 – 7,5	4,72 b	5,16 b	12,50 b	38 b	10 b
7,5 – 20	2,22 a	3,19 a	9,73 a	23 a	31 b
Café com 22 anos de cultivo (C22)					
0 – 2,5	9,34 a	9,35 a	11,20 c	87 a	-
2,5 – 7,5	7,47 b	7,50 a	12,50 b	60 a	0,4 b
7,5 – 20	1,85 a	2,91 ab	9,56 a	19 a	37 b
Mata com 30 anos de cultivo (M30)					
0 – 2,5	1,06 c	4,20 c	15,06 b	8 c	73 b
2,5 – 7,5	0,70 c	3,44 c	12,08 b	6 c	80 a
7,5 – 20	0,42 b	2,56 b	9,64 a	4 b	84 a
Mata com 40 anos de cultivo (M40)					
0 – 2,5	0,6 c	3,90 c	17,82 a	4 c	84 a
2,5 – 7,5	0,48 c	3,54 c	15,07 a	3 c	87 a
7,5 – 20	0,30 b	2,78 ab	10,36 a	3 b	89 a

As médias seguidas por uma mesma letra na coluna e na mesma profundidade não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

No entanto, a diminuição do teor de matéria orgânica nos solos sob cultivos não se deve unicamente à redução da quantidade de resíduos adicionados ao solo, mas também ao aumento de atividade microbiana no consumo intenso de C oxidável para a sua manutenção (Islam & Weil, 2000), causadas por certas condições que favorecem esta atividade, como temperatura mais elevada e alternâncias mais frequentes de umedecimento e secagem do solo devido ao cultivo (Stevenson, 1982, citado por Marchiori Júnior & Melo, 1999), maior disponibilidade de nutrientes e menor acidez (Dalal & Mayer, 1986; Bayer & Mielniczuk,

1997). A correção da acidez dos solos sob café provavelmente ocasionou maior oxidação da matéria orgânica gerando um ambiente instável (Lathwell & Bouldin, 1981), pois criou condições mais favoráveis para a atividade microbiana, uma vez que a maioria dos microrganismos do solo tem maior atividade em condições de solos próximo a neutralidade (Tsai et al., 1992).

Nas coberturas vegetais estudadas, os teores de carbono tendem a se igualar na camada de 0 - 20cm (Quadro 2), o que mostra que o efeito da incorporação de resíduos vegetais é mais intenso nas camadas superficiais. Vários outros estudos demonstraram a relação entre o manejo do solo e a perda de C orgânico em sob condições edafoclimáticas diversas, notadamente nas camadas superficiais (Marchiori Júnior & Melo, 1999; Corazza et al., 1999; Maia et al., 2003).

O efeito da adubação e da calagem nos solos com café mostrou-se eficaz nas camadas superficiais, visto que na camada de 7,5 a 20 cm evidenciaram-se diferenças apenas na variável (V), quando se contrastou C16 x C22 (CONT 1) (Quadro 4). No entanto, o uso de fertilizantes originou valores diferentes entre as variáveis químicas em todas as profundidades estudadas quando se comparou os sistemas café x matas (CONT 2), com exceção da variável (t) na profundidade 2,5 a 7,5 cm. No contraste CONT 2 (M30 x M40) apenas a variável MO e T diferiram em função da homogeneidade desses sistemas quanto ao aspecto químico, nas profundidades estudadas. A MO não diferiu no CONT 1 em nenhuma das profundidades, enquanto que o pH e a CTC efetiva (t) exibiram diferenças estatísticas no CONT 3 apenas na profundidade superficial (Quadro 4).

Quadro 4 - Valores de “F”, QM Resíduo e CV calculados para diferentes contrastes com as variáveis químicas: pH, matéria orgânico (MO), soma de bases (SB), saturação de bases (V) capacidade de troca de cátions efetiva (t), capacidade de troca de cátions total (T), saturação por alumínio (m) entre os sistemas estudados

Contraste	pH	MO	(SB)	(V)	(t)	(T)	(m)
-----0-2,5 cm-----							
CONT 1	5,7***	0,4 ^{ns}	297,5***	2715,1***	290,3***	101,9 ***	2,4 ^{ns}
CONT 2	0,01 ^{ns}	21,3***	0,6 ^{ns}	38,8 ^{ns}	0,4 ^{ns}	15,3***	10,3 ^{ns}
CONT 3	23,4***	111,7***	596,7***	15880,4***	329,3***	4,5 ***	1461,6***
QMRes	0,02	0,39	0,5	22,0	0,5	1,5	23,5
CV (%)	3,0	7,21	15,5	12,6	10,8	8,4	12,2
-----2,5 – 7,5 cm-----							
CONT 1	1,8***	0,03 ^{ns}	13,0***	883,2***	9,1***	0,05 ^{ns}	20,4**
CONT 2	0,01 ^{ns}	16,9***	0,03 ^{ns}	27,0 ^{ns}	0,4 ^{ns}	22,2***	5,9 ^{ns}
CONT 3	13,1***	27,7***	25,8***	3020,9***	0,06 ^{ns}	65,2***	1004,2***
QMRes	0,06	0,1	0,6	46,6	0,4	0,8	23,4
CV (%)	5,7	8,9	22,4	25,5	12,9	7,0	11,0
-----7,5 – 20 cm-----							
CONT 1	0,01 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,3 ^{ns}	27,2*	0,2 ^{ns}	0,01 ^{ns}	74,1 ^{ns}
CONT 2	0,01 ^{ns}	2,5***	0,03 ^{ns}	2,9 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,3 ^{ns}	56,0 ^{ns}
CONT 3	2,4***	5,7***	11,2***	1049,6***	0,6**	10,8***	10995,4***
QMRes	0,007	0,2	0,07	6,8	0,08	0,4	38,4
CV (%)	2,0	10,0	21,0	21,1	9,6	6,7	10,3

CONT 1 = C16 vs C22 ; CONT 2 = M30 vs M40 ; CONT 3 = Café vs Mata

* Significativo ao nível de 10%

** Significativo ao nível de 5%

*** Significativo ao nível de 1%

ns- Não significativo

4. CONCLUSÕES

As práticas de adubação e calagem realizadas nos solos sob café contribuíram para elevar a fertilidade e reduzir acidez, apresentando teores alto e muito alto para as características químicas avaliadas e acidez ativa média e fraca, nos sistemas café com 16 anos de cultivo (C16) e café com 22 anos de cultivo (C22), respectivamente.

Os teores de K-disponível mostraram concentrações elevadas em todo o perfil no sistema C16, enquanto que no sistema C22 isto só ocorreu até a profundidade de 7,5 cm. O P se concentrou apenas na camada superficial nesses sistemas.

Os sistemas de mata apresentaram valores elevados de H+Al, pobreza de bases, alta saturação de alumínio e baixos e médios teores de fósforo.

O desmatamento e a implantação de monocultura prolongada de café provocaram reduções de cerca de 50% no carbono orgânico do solo, em relação à mata secundária, principalmente nas camadas superficiais. Em profundidades maiores, o teor de carbono se mostrou mais homogêneo em todas as coberturas vegetais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V.H., NOVAES, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. (Eds.) Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG), Viçosa-MG, p. 25-32, 1999.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas de solos afetados por métodos de preparo e sistemas de cultura. R. Bras. Ci. Solo, 21: 105-112, 1997.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, E.J.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 23: 425-432, 1999.
- DALAL, R.C. & MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. I- Total organic and its rate of loss from soil profile. Aust. J. Soil. Res., 24: 281-292, 1986.
- DEFELIPO, B. V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo (metodologia). Viçosa: UFV, 1997, 24p. (Boletim de extensão nº 29).
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A (Eds.) Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Sci. Soc. Am., 1994, p. 3-21.
- GHEYI, H.R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T.S.; ASSIS JUNIOR, R.N., ROMERO, R.E. & SILVA, J.R.C. (Eds.) Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido. Fortaleza: UFC, p.329-346, 2000.
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. J. Soil Water Conserv., 55: 69-79, 2000.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall Inc., 1958, 498p.

- KELTJENS, W.G. Plant adaptation and tolerance to acids soils; its possible Al avoidance – A review. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FDAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A. & CANTARELLA, H. (Eds.) Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production. Campinas: SBCS, 1997, p. 109-117.
- LATHWELL, D.J. & BOULDIN, D.R. Soil organic matter and soil nitrogen behavior in cropped soils. *Trop, Agric., Survey*, 59: 341-348, 1981.
- MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, E.S.; MENDONÇA, E.S; ARAÚJO FILHO, J.A.; XAVIER, F.A.S. Avaliação do conteúdo de carbono orgânico em sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido cearense. In: XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, Ribeirão Preto. Artigos..., CD-ROOM, SBCS, 2003.
- MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 23: 257-263, 1999.
- OLIVEIRA, L.C. Avaliação da salinização dos solos sob caatinga no Nordeste do Brasil. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. (eds.) O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. Viçosa: SBCS/UFV, p. 113-124, 1996.
- REZENDE, S.B.; RESENDE, M.; GALLOWAY, H.M. Crono-Topossequência de Solos em Viçosa, MG. *Revista Ceres*, 19:167-181, 1972.
- SANTANA, D.P. & BAHIA FILHO, Indicadores de qualidade do solo. . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 29, Londrina. Palestra..., CD-ROOM, Ribeirão Preto, SBCS, 2003.
- SANCHEZ, P.A. Properties and management of soil in the tropics. New York, J. Wiley, 1976, 617p.
- STEVESON, F.J. Humus chemistry genesis composition reaction. New York, John Wiley & Sons, 1982, 443p.
- TSAI, M.S.; BARAIBAR, A.V.L. & ROMANI, V.L.M. Efeitos de fatores do solo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. & NEVES, M.C.P. (Eds.) Microbiologia do solo. Campinas: SBCS, p 59-72, 1992.
- WARDLE, D.A. Changes in the microbial biomass and metabolic quotient during leaf litter succession in some New Zealand forest and scrubland ecosystem. *Func. Ecol.*, 7: 346-355, 1993.

CAPÍTULO 2

QUALIDADE DE UM SOLO SOB MATA SECUNDÁRIA E CULTIVADO COM CAFÉ EM VIÇOSA-MG: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO

1. INTRODUÇÃO

A produtividade de solos é função, também, de alguns atributos que promove o crescimento de raízes, infiltração e movimento de água no perfil do solo, trocas gasosas, atividade biológica e mineralização de carbono. Todos esses atributos são, em parte, relacionados a propriedades e processos físicos do solo (Burger & Kelting, 1999). Alguns indicadores físicos como a estrutura, a estabilidade de agregados, a densidade do solo, a porosidade e o grau de flocculação são usados para comparar qualidade de solo antes e depois de algumas práticas de manejo impostas a ele, pois eles são sensíveis a essas praticas e poderiam ser usados na avaliação de qualidade de solo (Shoenholtz et al., 2000).

A estrutura do solo é um dos mais importantes indicadores físicos, visto que ela é fundamental nas relações solo-planta e influencia diversas propriedades físicas, químicas e biológicas (Shoenholtz et al., 2000). A formação e a estabilização de agregados, unidades básicas da estrutura, dependem de fatores abióticos (presença de cátions cimentantes, processos de umedecimento/secagem) e bióticos (participação mecânica das raízes e das hifas fúngicas, presença de polissacarídeos, substâncias mucilaginosas e húmicas produzidas pela

ação dos microrganismos do solo sobre a matéria orgânica) (Tisdall & Oades, 1982). Essa agregação do solo pode ser alterada a partir da adoção de práticas de manejo que promovam tanto a redução de matéria orgânica (Six et al., 2000); quanto pelo rápido umedecimento, impacto de gotas de chuva e pelo cisalhamento por implementos agrícolas (Tisdall & Oades, 1982); além de ser influenciada por mudanças de clima e atividade biológica (Oades, 1984).

A presença de agregados estáveis potencializa a capacidade de armazenamento de água, diminui as perdas de partículas e nutrientes por erosão e facilita a proteção física e o acúmulo de matéria orgânica no solo (Jastrow, 1996). A perda da estabilidade de agregados do solo afeta indiretamente outras características físicas do solo, como a densidade do solo, a porosidade, a aeração, a capacidade de retenção e infiltração de água das chuvas, trocas gasosas entre outros, entre outras, que são fundamentais à capacidade produtiva (Bayer & Mielniczuk, 1999).

Objetivou-se nesse capítulo avaliar a qualidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com café e sob mata secundária, monitorando alterações em suas propriedades físicas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A amostragem do solo foi feita em janeiro de 2002 nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm conforme descrito no capítulo 1. Dada à importância para o cálculo do índice de qualidade do solo e correlações com algumas propriedades físicas, análises de carbono orgânico foram realizadas também nessas mesmas profundidades. Para as análises de microporosidade foram retiradas amostras em anel volumétrico e de densidade do solo foram coletados torrões. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da UFV, em Viçosa-MG.

As determinações físicas realizadas nas amostras de solo foram as seguintes: argila dispersa em água (ADA) (Jucksch, 1987); equivalente de umidade (EU) pelo método da centrífuga, densidade do solo (D_s) pelo método do torrão parafinado; densidade de partículas (D_p) pelo método do balão volumétrico e textura pelo método de dispersão total (Ruiz, 2003). A estabilidade de agregados foi mensurada por via úmida, seguindo metodologia proposta por Kemper & Chepil (1965) e representada pelo diâmetro médio dos agregados em milímetro (mm), microporosidade (Mi) conforme método utilizado pela Embrapa (1997) e porosidade total (PT), pela expressão: $PT = (1 - D_s / D_p) \times 100$ de acordo com Vomocil (1965). A macroporosidade (Ma) foi calculada pela diferença entre porosidade total e a microporosidade. O grau de floculação (GF) foi calculado pela fórmula: $GF = (\% \text{ de argila} - \% \text{ de ADA}) / \% \text{ de argila} \times 100$. O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo do método Walkley-Black (Jackson, 1958).

Os resultados das análises físicas do solo foram submetidos à análise de variância e a comparação entre cada área foi feita através da aplicação do teste de média de Tukey, baseado na amplitude total estudentizada, em nível de 5% de probabilidade por meio do Sistema de

Análise Estatística e Genética-SAEG. Utilizou-se análise de correlação linear de Pearson entre a densidade do solo, macroporosidade, argila dispersa em água e estabilidade de agregados, e o carbono orgânico. Avaliaram-se também os seguintes contrastes: C16 x C22, M30 x M40 e cafés x matas, que foram testados pelo teste F a pelo menos 10% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de análise granulométricas dos sistemas estudados encontram-se no Quadro 5. Todas as amostras de solo apresentaram granulometria semelhantes, com teores de argila variando entre 45 e 60%, na profundidade de 0-10 cm, o que os incluem na classe textural de solos argilosos, e teores de argila superiores a 60%, na camada de 10 - 20 cm, que os enquadram na classe textural muito argilosa, com exceção do C22 que, apresentou um teor de argila de 55%, que corresponde a solo argiloso.

Para os valores de densidades de solo (Ds), observaram-se que os solos sob café apresentaram valores significativamente superiores (Quadro 6). Na camada de 0 a 10 cm a Ds variou de 0,98 a 1,27 g cm⁻³ nos sistemas M40 e C22, e de 1,0 g cm⁻³ a 1,33 g cm⁻³ naqueles solos sob as mesmas coberturas, na profundidade de 10 a 20 cm. Matiello et al. (2002) trabalhando com mudas de cafeeiro arábica em vasos notaram que as raízes foram capazes de ultrapassar camadas de solo com Ds até 1,2 g cm⁻², enquanto que em Ds variando de 1,20 a 1,35 g cm⁻², apenas algumas raízes conseguiram atravessar.

O solo do sistema C22 apresentou uma porosidade total (PT) abaixo de 50%, com predomínio de microporos (Mi), enquanto que para as demais coberturas esses valores estiveram próximos a 60 %. No sistema C22, a macroporosidade (Ma), ou porosidade de aeração, foi reduzida na profundidade 10-20 cm para valores próximos ao mínimo considerado restritivo ao desenvolvimento radicular (10%) (Vomocil & Flocker, 1966) e, provavelmente, teve implicações nos processos de difusão gasosa e movimento da água, uma vez que os macroporos são importantes para o rápido fluxo de ar e de água no solo (Culley et al., 1987). Ocorreram reduções médias 25 e 21% nos sistemas C16 e C22 na porosidade de

aeração, respectivamente, na camada de 10-20 cm, enquanto que nos sistemas de mata esta redução foi menor que 10%.

Quadro 5 – Caracterização textural e teor de carbono orgânico (CO) de amostras de solo sob mata secundária e cultivado com café, no município de Viçosa-MG

Prof.	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Classe textural	CO
cm	-----%-----					dag kg ⁻¹
	Café com 16 anos de cultivo (C16)					
0-10	22	13	7	58	Argiloso	3,19 c
10-20	20	12	7	61	Muito argiloso	2,33 B
	Café com 22 anos de cultivo (C22)					
0-10	33	12	10	45	Argiloso	3,06 c
10-20	31	9	6	55	Argiloso	2,43 AB
	Mata com 30 anos (M30)					
0-10	22	13	6	59	Argiloso	4,01 b
10-20	20	12	7	61	Muito argiloso	3,11 A
	Mata com 40 anos (M40)					
0-10	24	14	5	58	Argiloso	5,58 a
10-20	19	14	6	61	Muito argiloso	3,01 AB

As médias seguidas por uma mesma letra na coluna e na mesma profundidade não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

É provável que o aumento de Ds e redução da PT no sistema C22 esteja relacionado com o processo constante de umedecimento e secagem e ao impacto de gotas de chuvas sobre a superfície do solo, favorecendo a desagregação e remoção de partículas e contribuindo para a translocação de partículas mais finas para os horizontes inferiores causando entupimento dos poros. Este fato possibilita maior arraste de partículas no sentido da declividade nesse sistema, pelo efeito do escoamento superficial de maior volume de água. Nos sistemas de mata, além de haver a interceptação das gotas de chuva, o solo apresentou uma menor Ds nos primeiros 20 cm o que indica maior facilidade de infiltração de água.

Cunha (1995) encontrou acréscimos nos valores de Ds e diminuição da PT nos primeiros 10 cm em um Latossolo Vermelho-Amarelo de encosta em decorrência do seu uso prolongado com o cultivo do café em relação à mata secundária, trazendo como consequências problemas de compactação do solo e perda de nutrientes via erosão. O autor atribuiu o aumento da Ds à retirada da vegetação, a qual interceptava a chuva, impedindo o

impacto de gotas no solo, e também contribuía para a manutenção de maiores teores de matéria orgânica, a diminuição da PT e da eluviação de argila. Por outro lado, Alcântara & Ferreira (2000) observaram que apenas a permanência da entrelinha de plantio (“rua”) sem capina em um cultivo de café Catuai durante 21 anos, contribuiu para a manutenção da Ds, PT e agregados estáveis semelhantes à condição de mata nativa adjacente à área de cultivo, mostrando-se, portanto, uma forma eficiente na manutenção da qualidade física do solo cultivado com cafeeiro.

Quadro 6 – Valores médios de densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF), porosidade total (PT), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e Equivalente de umidade (EU) de amostras de solo cultivado com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG

Prof.	Ds	Dp	ADA	GF	PT	Ma	Mi	EU
cm	g cm ⁻³		%			m ³ m ⁻³		kg kg ⁻¹
Café com 16 anos de cultivo (C16)								
0-10	1,12 b	2,59 a	7,80 bc	86 ab	0,57 c	0,29 a	0,27 a	0,29 a
10-20	1,16 B	2,65 A	14,00 A	77 AB	0,56 C	0,22 BC	0,34 A	0,28 A
Café com 22 anos de cultivo (C22)								
0-10	1,27 a	2,50 b	13,20 a	71 c	0,49 d	0,17 b	0,32 a	0,26 b
10-20	1,32 A	2,62 AB	16,90 A	69 B	0,49 D	0,13 C	0,36 A	0,27 A
Mata com 30 anos (M30)								
0-10	1,02 c	2,50 b	9,80 ab	83 b	0,59 b	0,28 a	0,32 a	0,29 a
10-20	1,06 C	2,58 AB	9,30 B	85 A	0,59 B	0,27 Ab	0,32 A	0,28 A
Mata com 40 anos (M40)								
0-10	0,98 c	2,52 b	4,40 c	92 a	0,61 a	0,35 a	0,26 a	0,30 a
10-20	1,00 D	2,60 AB	8,80 B	86 A	0,61 A	0,32 A	0,29 A	0,28 A

As médias seguidas por uma mesma letra maiúscula ou minúscula na coluna e na mesma profundidade não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A densidade de partículas (Dp) e equivalente de umidade (EU), praticamente não sofreram interferências em seus valores em função da cobertura vegetal. Percebeu-se, porém, um ligeiro incremento nos valores de (Dp) em função da profundidade, situação que pode ser justificada pela diminuição do teor matéria orgânica (MO) expressa pelo carbono orgânico (CO). O (EU) nos solos sob mata e no solo do sistema C16 tendeu a diminuir com a profundidade, sugerindo que a retenção de água no solo foi influenciada principalmente pela MO. Com a diminuição do teor de MO, em profundidade, houve tendência de diminuição da água retida. No sistema C22 a profundidade 10-20 cm exibiu maior retenção de água,

acompanhando o aumento da fração argila, em torno de 20%, muito acima do percentual dos demais sistemas. Portanto, a diminuição drástica do teor argila, provavelmente devido à perda por eluviação e/ou erosão, na profundidade 0-10 cm, contribuiu para aumentar a retenção de umidade em cerca de 4% na camada de 10-20 cm, embora os teores de MO tenham diminuído com a profundidade, o que supostamente poderia contribuir para diminuir o EU.

Nos solos sob mata, houve uma tendência de menores valores percentuais de argila dispersa em água (ADA) em relação às coberturas com café, na camada de 0-20 cm (Quadro 6). Tal fato parece estar associado à calagem realizada nos solos sob café que contribuiu para a diminuição na atividade de Al^{3+} na solução do solo, íon que apresenta alto potencial floculante em solos ácidos, pela precipitação na forma de hidróxido de Al^{3+} , em função do aumento do pH do solo (Pedrotti, 2003). Na profundidade 0-10 cm os valores de ADA são significativamente menores nos sistema M40, provavelmente devido tanto à alta concentração de Al^{3+} , que contribui para a floculação de colóides, quanto aos altos teores de MO, que atua como agente agregador de colóides (Cunha, 1995), na redução da Ds e no aumento da Ma o que facilita a infiltração de água no mesmo. No entanto, na mesma profundidade, o sistema M30 não mostrou diferenças significativas em relação aos sistemas com café, mesmo com teores elevados de Al^{3+} nesses solos. Esse resultado pode ser atribuído indiretamente à MO, considerando a grande capacidade que esta possui de complexar o Al^{3+} (Soon, 1993; Mendonça & Rowel, 1994, Pedrotti et al., 2003), e que por uma razão desconhecida esse fenômeno não ocorreu no sistema M40.

Nos sistemas com café, em função de adubações e calagens realizadas periodicamente, o complexo sortivo se encontra dominado por Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , íons de menor potencial floculante, concorrendo, assim, para um aumento da dispersão de argila, o que deixa os solos suscetíveis ao processo de eluviação de argila, fenômeno denominado por Hudson (1984) citado por Jucksch (1987) como erosão vertical, causando a obstrução de poros em camadas inferiores e, em consequência, dificultando a taxa de infiltração e movimento de água no solo. Deste modo, com a ação das chuvas a argila entra em suspensão com o fluxo de água superficial podendo ser carregada no sentido da declividade, o que contribui para o empobrecimento do solo. No sistema C22 observam-se tanto os efeitos de eluviação de argila no perfil, evidenciados pela diminuição da macroporosidade (Ma) em cerca de 20%, quanto à perda de solo por erosão, indicada pelo menor teor de argila na camada superficial.

Na Figura 5 verificam-se os resultados da estabilidade de agregados, expressos pela distribuição de agregados nas diversas classes de tamanhos para as profundidades estudadas. As maiores percentagens de agregados da classe > 2 mm foram observadas nas coberturas sob

mata (M30 e M40) e no sistema C16, indicando um efeito positivo do acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo sobre a estabilidade de agregados.

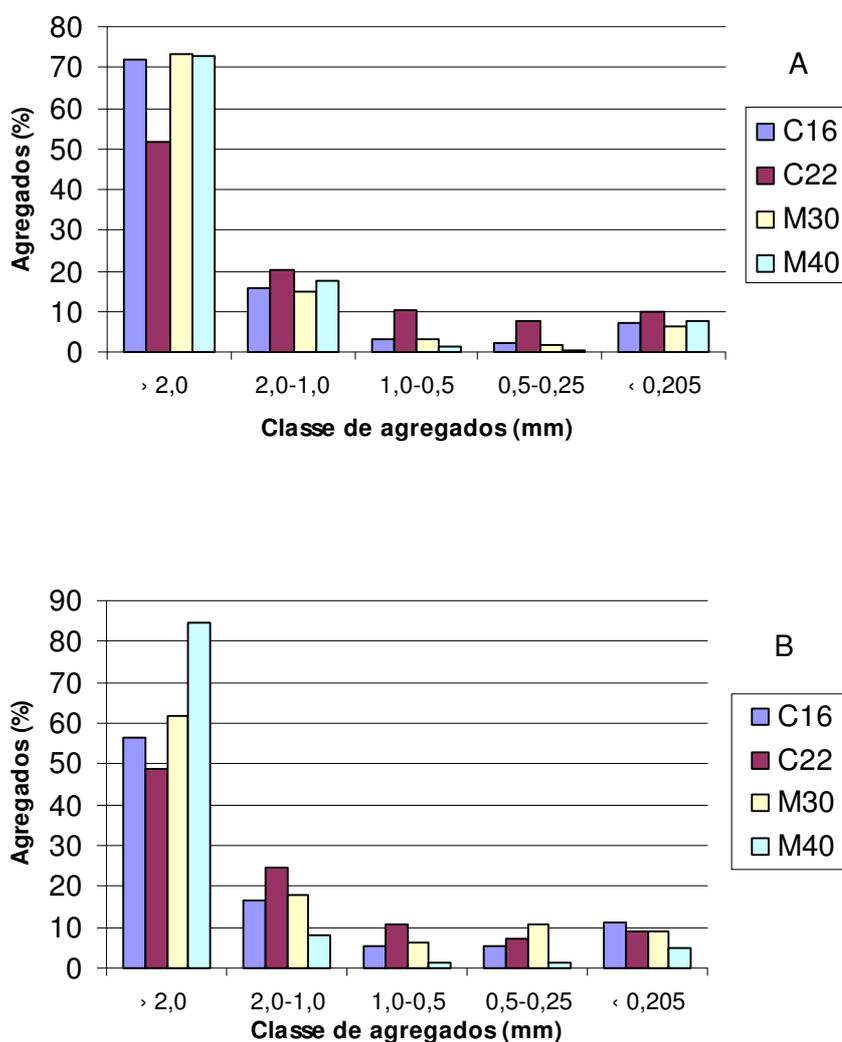


Figura 5 - Distribuição das classes de tamanho dos agregados estáveis em água, nas profundidades de 0-10 (A) e 10-20 cm (B), em amostras de solo cultivado com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG. C16 – Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos.

O Quadro 7 apresenta os valores de correlação entre os percentuais de agregados nas diferentes classes de tamanho com os valores de carbono orgânico. Sabe-se que a influência da MO na agregação do solo é resultante da ação conjunta de microrganismos e da vegetação, pois os microrganismos exercem uma ação física na adesão entre as partículas de solo atuando como agentes ligantes físicos e produzindo agentes colantes ou cimentantes (polissacarídeos de alta viscosidade e substâncias húmicas), como resultado de sua ação heterotrófica sobre a MO do solo (Tisdall & Oades, 1982). Foram observadas correlações positivas apenas na

classe de tamanho > 2 mm nas duas profundidades estudadas, confirmando os dados obtidos por Campos et al. (1995); Besnard et al. (1996); Beutler et al. (2001), os quais encontraram maiores valores desse componente variável na classe de agregados > 2 mm com o incremento no teor de CO em Latossolos distróficos.

Quadro 7 - Coeficiente de correlação das classes de tamanho de agregados com o teor de carbono orgânico em amostras de solo cultivado com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG

Atributo	Coeficiente de correlação ⁽¹⁾	
	0-10 cm	10-20 cm
Agregados na classe > 2 mm (%)	0,4609 **	0,4683*
Agregados na classe 2-1 mm (%)	-0,1137 ^{ns}	-0,4457*
Agregados na classe 1-0,5 mm (%)	-0,5897 **	-0,5095*
Agregados na classe 0,5-0,25 mm (%)	-0,6206 **	-0,4895*
Agregados na classe < 0,25	-0,1996 ^{ns}	-0,1329 ^{ns}

(1) correlação obtida com um n° de pares de dados n=16

* Significativo ao nível de 5%

** Significativo ao nível de 1%

ns- Não significativo

Constatou-se um aumento ou diminuição nos valores de PT de acordo com os acréscimos ou decréscimos nos teores de CO, conforme também demonstrado por Zhang et al., (1997), o que foi comprovado pela correlação positiva obtida entre os teores de C orgânico e a porosidade das diferentes coberturas (Quadro 8). Verificaram-se também correlações negativas entre o CO e a Ds e ADA, nas profundidades estudadas. Kiehl (1979) preconizou que a redução do teor de matéria orgânica favorece o aumento da Ds em solos com horizonte B latossólico.

Quadro 8 - Coeficiente de correlação entre densidade do solo, porosidade e argila dispersa em água com o teor de carbono orgânico em solo cultivado com café e sob mata secundária no município de Viçosa-MG

Atributo	Coeficiente de correlação (1)	
	0-10 cm	10-20 cm
Porosidade do solo	0,7307 ***	0,5599 **
Densidade do solo	-0,7837 ***	-0,6098 ***
Argila dispersa em água	-0,6486 ***	-0,5373 **

(1) correlação obtida com um n° de pares de dados n=16

*** Significativo ao nível de 10%

** Significativo ao nível de 5%

* Significativo ao nível de 1%

O Quadro 9 mostra os contrastes entre os sistemas estudados. Na camada de 0 a 10cm, apenas as variáveis microporosidade para os contrastes CONT 1 (C16 x C22) e CONT 2 (M30 x M40), e densidade do solo e equivalente de umidade para o CONT 3 (Café x Mata) não apresentaram diferenças significativas, o que mostra que nessa profundidade os sistemas mostraram-se distintos quanto às características físicas. Por outro lado, na profundidade de 10 a 20 cm, apenas o contraste mata x café apresentou-se significativo para todas as variáveis estudadas, enquanto os demais contrastes apenas as variáveis Ds e Ma apresentaram significância.

È possível que maiores valores de PT e a Ma no sistema C16 em relação ao sistema C22, podem ter sido influenciado pelo processo de recepa, visto que esta prática consiste em uma poda drástica com remoção total da copa do cafeeiro originando, como consequência, desequilíbrio do sistema radicular, com morte de até 80% das raízes absorventes das plantas (Ribeiro & Alvarenga, 2001). Assim, com a morte de raízes os espaços ocupados por elas podem ter se tornados poros. No entanto, o tempo de utilização dos sistemas de manejo é o fator principal a ser considerado na avaliação de alterações na qualidade do solo. Deste modo, é importante lembrar que o sistema C22 era antes ocupado por pasto, apresentando assim um tempo mais longo de uso, o que pode ter contribuído ainda mais para a sua perda de qualidade de solo deste sistema, enquanto que o C16 era ocupado por mata secundária.

Quadro 9 - Valores de “F”, QM Resíduo e CV calculados para diferentes contrastes com a densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF), macroporos (Ma), microporos (Mi) e Equivalente de umidade (EU) em amostras de solo cultivado com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG

	QM Contraste						
	Ds	Dp	ADA	GF	Mi	Ma	EU
-----0 - 10cm-----							
C1	0,15***	0,006***	48,88 ***	333,95***	16,94 ^{ns}	263,84***	12,96***
C2	0,44***	0,016***	57,40 ***	466,32***	43,15 ^{ns}	299,51***	11,28***
C3	0,0028**	0,00061 ^{ns}	60,50 ***	168,46***	77,27**	128,98***	0,55 ^{ns}
QM Res	0,0038	0,0014	13,16	10,70	10,0	9,82	0,203
CV (%)	5,62	1,5	41,08	3,93	10,83	11,46	3,015
-----10 - 20cm-----							
C1	0,048***	0,0024 ^{ns}	17,16 ^{ns}	143,48 *	7,33 ^{ns}	141,95**	1,36 ^{ns}
C2	0,066***	0,0012 ^{ns}	0,69 ^{ns}	1,94 ^{ns}	17,28 ^{ns}	61,26*	1,36 ^{ns}
C3	0,18***	0,0081**	161,92**	564,69***	77,50**	569,22***	3,24**
QM Res	0,00045	0,0011	11,08	34,56	13,83	15,63	0,62
CV (%)	1,86	1,28	27,21	7,45	11,36	16,70	2,83

CONT 1 = C16 vs C22 ; CONT 2 = M30 vs M40 ; CONT 3 = Cafés vs Matas.

* Significativo ao nível de 10%

** Significativo ao nível de 5%

*** Significativo ao nível de 1%

ns- Não significativo

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que o solo sob cultivo de café com 22 anos (C22), antes manejado na forma de pastagem, sofreu alterações significativas na sua agregação comparando-se à mata secundária, com conseqüências sobre a porosidade e densidade do solo em função do processo constante de secagem e umedecimento e pelo impacto de gotas de chuvas sobre a superfície do solo.

O carbono orgânico total apresentou correlação positiva com a porosidade total do solo nas duas profundidades avaliadas.

As adubações e calagens realizadas nos solos sob café contribuiu para o aumento de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , cátions de menor potencial flocculante, no complexo sortivo do solo concorrendo, assim, para um aumento da dispersão de argila.

O processo erosivo e de eluviação de argila foi evidenciado no sistema C22 comprovado pela diminuição da macroporosidade e teor de argila no horizonte superficial, em relação aos demais sistemas.

A densidade do solo, a argila dispersa em água, a macroporosidade e a estabilidade de agregados se mostraram mais sensíveis para avaliar mudanças na qualidade do solo decorrentes de manejo com culturas prolongadas e devem ser priorizados como indicadores físicos de qualidade de solos.

Em regiões montanhosas é importante que se mantenha a vegetação nas entrelinhas do café em períodos de maiores precipitações pluviométricas de modo a reduzir as perdas por erosão e evitar o carreamento de fertilizantes ou inseticidas aplicados no solo para os mananciais hídricos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, E.N.; FERREIRA, M.M. Efeitos de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arábica* L.) sobre a qualidade física do solo. R. Bras. Ci. Solo, 24: 711-721, 2000.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS G.A. & CAMARGO F.A.O. (Eds.) Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, p. 9-26, 1999.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; PEREIRA FILHO, L.A. & CRUZ, J.C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no estado de Minas Gerais. R. Bras. Ci. Solo, 25:129-136, 2001.
- BESNARD, E.; CHENU, C.; BALESDENTE, J. PUGET, P & ARROUAYS, D. Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation. Eur. J. Soil Sci., 47: 495-503, 1996.
- BURGER, J.A. & KELTING, D.L. Using soil quality indicators to assess Forest stand management. For Ecol. Manag., 122:155-166, 1999.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. R. Bras. Ci. Solo, 19: 121-126, 1995.
- CULLEY, J.L.B., LARSON, W.E. & RANDALL, G.W. Physical properties of a tropical Haplaquol under tillage and no-tillage. Soil Sci. Soc. Am. J., 51: 1587-1593, 1987.
- CUNHA, G.M. Estudo comparativo de condições químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo álico, de encosta, sob duas coberturas: café e mata natural. Viçosa: UFV, 1995, 65p. (Tese de Mestrado).

- EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, 1997, 212p.
- JASTROW, J.D. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter. *Soil Biol. Biochem.*, 28: 665-676, 1996.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall Inc., 1958, 498p.
- JUCKSCH, I. Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho Escuro. Viçosa: UFV, 1987, 37p. (Tese de Mestrado).
- KIEHL, E.J. Manual de edafologia. São Paulo: Ceres, 1979, 262p.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C.A. (Eds.) *Methods of soil analysis*. Madison: ASA, , p. 499-510, 1965.
- MENDONÇA, E.S. & ROWELL, D.L. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um Latossolo argiloso sob cerrado e soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 18: 295-303, 1994.
- OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant Soil*, 76: 319,337, 1984.
- PEDROTTI, A.; FERREIRA, M.M.; CURI, N.; SILVA, M.L.N., LIMA, J.M. & CARVALHO, C. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27: 1-9, 2003.
- RIBEIRO, A.F. & ALVARENGA, A.P. Manejo da lavoura cafeeira. In: ZAMBOLIM, L. *Tecnologia de produção de café com qualidade*. Viçosa: UFV, 2001, p. 295-326.
- RUIZ, H.A. Métodos de análises físicas do solo. Viçosa: UFV, 2003, 22p.
- SCHOENHOLTZ, S.H.; VAN MIEGROET, H. & BURGER, J.A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest quality: challenges and opportunities. *Forest Ecol. Manag.*, 138: 335-356, 2000.
- SIX, J.; PAUSTIAN, K. ELLIOT, E.T. & COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: distribution of aggregate-size classes and aggregate associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64: 681-689, 2000
- SOON, Y.K. Fractionation of extractable Aluminum in acid soil: A review and a proposed procedure. *Comm. Soil. Sci. Plant. Anal.*, 24: 1683-1708, 1993.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *J. Soil Sci.*, 33: 141-145, 1982.
- VOMOCIL, J.A. Porosity. In: BLACK, C.A. (Eds.) *Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling.*: Am. Soc. Agronomy., 1965, p. 499-519.

- VOMOCIL, J,A, & FLOCKER, W.J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 4: 242-246, 1966.
- ZHANG, H.; HARTGE, K.H. & RINGE, H. Effectiveness of organic matter incorporations in reducing soil compactibility. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61: 239-245, 1997.

CAPÍTULO 3

QUALIDADE DE UM SOLO SOB MATA SECUNDÁRIA E CULTIVADO COM CAFÉ EM VIÇOSA-MG: CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DO SOLO

1. INTRODUÇÃO

A inclusão de microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade de solo deve-se ao fato destes mostrarem uma grande sensibilidade às mudanças de manejo de solo e que a qualidade e a atividade dos microrganismos são dirigidas pela interação entre eles com os fatores químicos e físicos do meio (Stenberg, 1999).

Os microrganismos têm papel importante na funcionalidade e na sustentabilidade de agrossistemas visto que atuam na como agentes transformadores no fluxo de energia e de resíduos orgânicos, promovendo a mineralização e a absorção de nutrientes pelas plantas, com efeitos sobre outros componentes físico-químicos e biológicos da interface solo-planta e sobre a fertilidade do solo (Colozzi Filho & Andrade, 2001). Desse modo, a avaliação da atividade de microrganismos ou processos microbianos permite detectar mudanças no solo, uma vez que eles respondem rapidamente a decréscimos ou incrementos na quantidade total de matéria orgânica no solo (Powlson et al. 1987; Balota et al. 1998). A quantificação da atividade microbiana quando associada a valores de pH, teores de CO, N total, umidade e argila do solo, permitem ainda avaliação do manejo adotado, da qualidade do solo e da sustentabilidade do sistema (Gama-Rodrigues et al., 1994).

A definição da sustentabilidade de sistemas de produção exige ainda que se considere o papel da fauna, visto que a maioria dos organismos da fauna edáfica atua na ciclagem rápida de alguns poucos nutrientes do reservatório ativo e é este que supre a maior parte das necessidades nutricionais das plantas. Basicamente, esses organismos atuam no ciclo de nitrogênio e de fósforo, e muito pouco se sabe sobre o papel deles na disponibilidade de outros elementos (Correia, 1997; Assad, 1997).

Este capítulo teve como objetivo avaliar a qualidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob mata secundária e cultivado com café por meio de alterações em suas propriedades biológicas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A amostragem do solo foi realizada nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm em quatro períodos distintos, no ano de 2002, a saber: a) Janeiro, período de chuvas abundantes e temperaturas elevadas; b) Abril, época de transição de períodos de chuva para seco e de temperaturas altas para amenas; c) Julho, período seco e de temperaturas baixas; e d) Outubro, período de transição de seco para úmido e de temperaturas baixas para elevadas. A forma de coleta de solo foi realizada conforme descrito no capítulo 1. As amostras foram mantidas sob refrigeração logo após a coleta e posterior armazenamento para as análises no Laboratório de Fertilidade do Solo da UFV.

2.1. Carbono da biomassa microbiana

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi determinado pelo método de irradiação por microondas proposto por Islam & Weil (1988). Nesta metodologia, amostras de solo sofrem irradiação de microondas, recebendo 800 J g^{-1} em duas etapas e outras não são irradiadas. O C das amostras irradiadas e não irradiadas foi extraído com K_2SO_4 a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ na razão 1: 2,5 solo: extrator. A dosagem de C nos extratos foi realizada pela reação com $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,17 \text{ mol L}^{-1}$ e 5 ml de H_2SO_4 concentrado e titulação com $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \text{ NH}_4$ $0,03 \text{ mol L}^{-1}$. O CBM foi calculado pela diferença entre os teores de C das amostras irradiadas e as amostras não-irradiadas, adotando-se um valor de Kc igual a 0,213 (Islam & Weil,1988), que corresponde à fração da CBM extraída pela solução de K_2SO_4 $0,5 \text{ mol/L}$. Os resultados foram expresso em $\mu\text{g g}^{-1}$ de CBM. A partir dos valores do CBM e do conteúdo de carbono orgânico

total (COT), determinado pelo método Walkley-Black (Jackson, 1958), foi calculado o quociente microbiano (qMIC), por meio da seguinte expressão: $qMIC = CBM / COT \times 100$.

2.2. Nitrogênio da Biomassa Microbiana (NBM)

A extração do nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) foi feita pelo mesmo método utilizado na extração de CBM. Os extratos obtidos de amostras irradiadas e não irradiadas, foram utilizados para a determinação do amônio da biomassa microbiana dosado por colorimetria (Kempes & Zweers, 1986), após a incubação das amostras de solo em uma solução de uréia (Kandeler & Geber, 1988). Nesse método ocorre uma reação de oxidação do amônio na presença de hipoclorito em solução alcalina contendo citrato e salicilato de sódio que funciona como composto fenólico, adicionada de nitroprussiato de sódio que atua como catalisador entre o amônio e o salicilato. A intensidade da coloração resultante da mistura de reação foi quantificada em espectrofotômetro com comprimento de onda ajustado para 647 nm. O NBM foi calculado pela diferença no teor de amônio das amostras irradiadas e das não-irradiadas. Os resultados foram expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$ de NH_4^+ .

2.3. Enxofre da biomassa microbiana

As análises de enxofre da biomassa microbiana (SBM) foram realizadas apenas para as amostras coletadas em janeiro e julho. O procedimento utilizado para determinação foi o da irradiação em forno de microondas, sendo que o S foi extraído com CaCl_2 20 mmol L^{-1} e dosado por turbidimetria conforme descrito por Alvarez et al. (2001). O SBM foi calculado pela diferença entre as amostras irradiadas e não-irradiadas e os resultados expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$ de SBM.

2.4. Atividade Respiratória

A atividade respiratória foi estimada pela quantificação do CO_2 liberado durante 5 dias de incubação do solo em sistema fechado, onde o CO_2 foi capturado em solução de NaOH 1 mol L^{-1} e, posteriormente, titulado com HCl 0,5 mol L^{-1} (Isermeyer, 1952 citado por Alef et al., 1995). Antes da titulação, adicionou-se uma alíquota de solução de 10 ml de BaCl_2 1 mol L^{-1} para precipitar o carbonato presente na solução e evitar sua interferência na

titulação. Os resultados foram expressos em $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ de CO_2 . O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), que representa a respiração microbiana por unidade de biomassa foi calculado e expresso em $\mu\text{g biomassa}^{-1} \text{d}^{-1}$ de CO_2 .

Além da determinação da respiração basal das amostras coletadas, a atividade microbiana foi determinada também sob condições de campo. Foram instaladas duas campânulas plásticas com área de 314 cm^2 em cada repetição sendo uma enterrada a 5 cm diretamente no solo retirando-se a camada de serrapilheira e a outra colocada enterrada na serrapilheira (Figura 6).

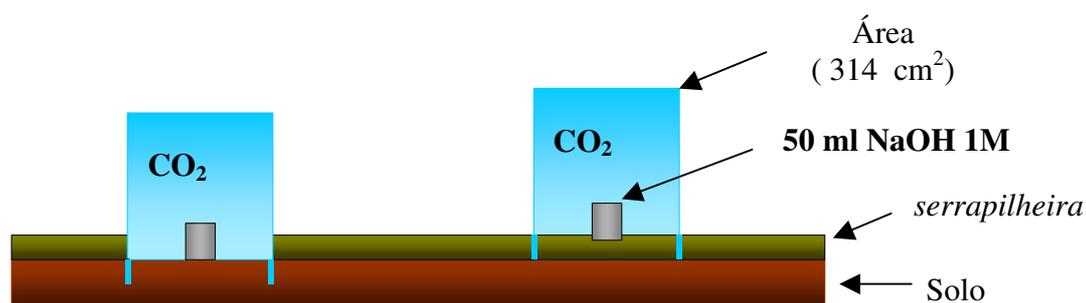


Figura 6 - Disposição das campânulas no campo para medição do CO_2 evoluído do solo.

Todas as campânulas foram cobertas com papel alumínio para aumentar a reflexão das irradiações solares. As campânulas permaneceram no campo por 24 h, sendo, em seguida, retirada a solução de NaOH para a titulação conforme realizado com as amostras de solo.

2.5. Atividade Enzimática do Solo

A atividade da β -glicosidase foi baseada na determinação colorimétrica do *p*-nitrofenol liberado após incubação de 1g de solo utilizando o *p*-nitrofenil- β -D-glicosídeo - PNG (substrato da β -glicosidase) em meio tamponado e tolueno a 5 %, a 37°C , durante 1 h (Eivazi & Tabatabai, 1988). O *p*-nitrofenol liberado na reação foi quantificado em espectrofotômetro a 400 nm e os resultados expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ de *p*-nitrofenol.

A atividade da fosfatase ácida foi determinada baseada na liberação do *p*-nitrofenol após a incubação de 1 g de solo em 0,2 ml de tolueno e 4 ml de uma solução tamponada de *p*-nitrofenil fosfato - PNP (substrato da fosfomonoesterase) com o pH ajustado em 6,5, durante 1 h, a 37°C (Eivazi & Tabatabai, 1977). A reação foi interrompida pela adição de

CaCl₂ 0,5 mol L⁻¹ e NaOH 0,5 mol L⁻¹ e o extrato de cor amarela resultante foi quantificado espectrofotometricamente a 400 nm. Os resultados foram expressos em μmol g⁻¹h⁻¹ de *p*-nitrofenol.

A determinação da atividade da urease foi baseada na determinação de amônia (Tabatabai & Bremner, 1972). Amostras de 5 g de solo foram incubadas em 0,2 ml de tolueno e 9 ml de solução tamponada de uréia, com o pH ajustado em 9,0, durante 2 h, a 37°C. A reação foi interrompida pela adição de solução KCl-Ag₂SO₄. O extrato foi destilado e titulado com H₂SO₄ 0,005 mol L⁻¹. Os resultados foram expressos em μg g⁻¹ h⁻¹ de NH₄.

2.6. Nematóides do solo

As extração de nematóides do solo foi feita por diferenças de gravidades específicas da água (1,0 g/cm²), do nematóide (1,02 a 1,09 g/cm²) da solução de sacarose (1,15 a 1,18 g/cm²) e do solo (1,2 g/cm²), método conhecido como flotação centrífuga em solução sacarose (Jenkins, 1964).

2.7. Diversidade da fauna edáfica

A estimativa da diversidade e abundância relativa da fauna do solo foi feita utilizando-se armadilhas do tipo “pitfall”, nos mesmos períodos de coleta de solo. Recipientes plásticos de 10 cm de altura com 10 cm de diâmetro (contendo álcool a 50 % até cerca de 1/3 de seu volume) foram enterrados até que sua abertura ficasse exatamente no nível do solo, espaçados de cinco metros na forma de um transecto em sua parte central de cada sistema, onde permaneceram por sete dias (Figura 7). Em cada transecto foram instaladas seis armadilhas. Os espécimes capturados foram identificados com o auxílio de uma lupa binocular, quanto ao nível de grandes grupos taxonômicos, e quantificados. O número total de grupos taxonômicos presentes foi avaliado pelo diversidade de grupos taxonômicos (índice de Shannon) que utiliza a seguinte fórmula: $H = - \sum p_i \times \log p_i$, onde: p_i é a proporção da comunidade que pertence a iésima família (Shannon & Weaver, 1949). Para a análise da uniformidade das comunidades, ou seja, a abundância relativa, utilizou-se o índice de Uniformidade de Pielou (Pielou, 1977), utilizando a seguinte expressão: $U = H/\ln S$, onde H corresponde ao índice de Shannon, n é o número total de indivíduos na comunidade e S é o número total de espécie na comunidade.

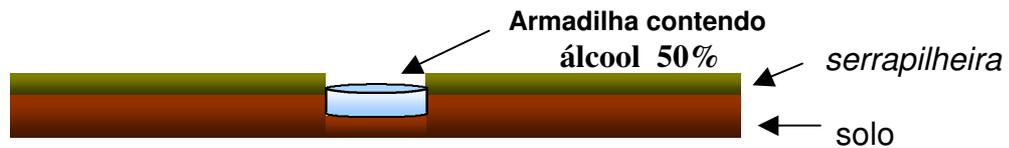


Figura 7 - Esquema da instalação das armadilhas tipo “pitfall” em campo.

2.8. Análises estatísticas

Os dados obtidos com as diferentes determinações foram submetidos à análise de variância e a comparação entre cada sistema foi feita por meio de aplicação do teste de média de Tukey, baseado na amplitude total estudentizada, em nível de 5% de probabilidade por meio do Sistema de Análise Estatística e Genética-SAEG. Foram determinadas correlações por meio do coeficiente de Pearson entre a atividade da β -glicosidase e o C orgânico. Avaliaram-se também os seguintes contrastes: C16 vs C22, M30 vs M40 e cafés vs matas, que foram testados pelo teste F a pelo menos 10% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Carbono da biomassa microbiana (CBM), carbono orgânico total (COT) e quociente microbiano (q_{MIC}).

Houve uma tendência de maiores valores de CBM no sistema M40 em relação aos sistemas com café, enquanto que o sistema M30 apresentou valores intermediários (Figura 8). Nos sistemas com café a perda de material orgânico, em função do manejo exercido nesses solos, pode ter limitado o substrato para a atividade microbiana tendo como consequência reduções significativas nos valores desta variável. É importante ressaltar, que o tratamento C16 mostrou apenas em janeiro valores significativamente superiores do C22 (Figura 8), provavelmente devido ao processo de recepa realizado três meses antes da amostragem, visto que este processo incrementou a quantidade de resíduos orgânicos no solo, quer por morte de raízes na sub-superfície quer pelo aporte de material orgânico de boa qualidade (folhas) sobre a superfície do solo, o que pode ter favorecido a atividade microbiana nesse período.

O Quadro 10 mostra a variação do teor de umidade nos solos dos sistemas estudados nos diferentes períodos amostrados. Percebe-se que sistema C22 apresentou um decréscimo de umidade no mês de julho, período de poucas chuvas, em mais de 50% em relação ao mês de janeiro de maior precipitação pluviométrica, atingindo neste período apenas 12 % de umidade no solo. Os demais sistemas, C16, M40 e M30, mostraram reduções de umidade neste mesmo período na faixa de 40, 30 e 20%, respectivamente.

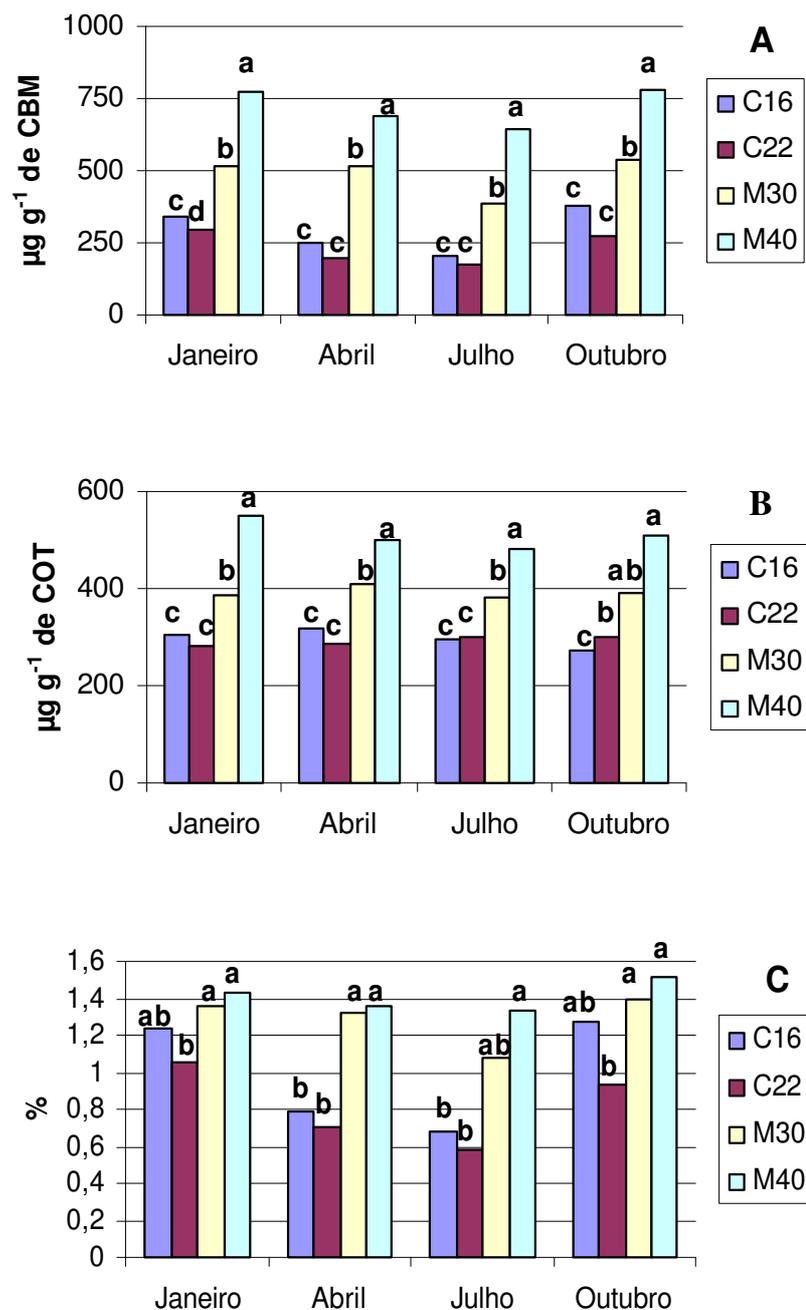


Figura 8 – Carbono da biomassa microbiana (CBM)- **A**, carbono orgânico total (COT) – **B** e quociente microbiano – **C**, em amostras coletadas em diferentes períodos do ano em solos cultivados com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG.

C16- Café com 30 anos; C22- Café com 22 anos; M30- Mata com 30 anos e M40- Mata com 40 anos.

Verificaram-se variações acentuadas do CBM entre os sistemas e diferentes épocas estudadas (Figura 8), principalmente em relação à umidade do solo, corroborando a sugestão de que a BM funciona como um sensível indicador de variações ambientais, conforme estudos realizados por outros autores (Powelson et al., 1987 & Castelan & Vidor, 1990). Nos períodos

de boa disponibilidade hídrica (janeiro e outubro), observou-se um estímulo da atividade microbiana, expresso por maiores valores de CBM, enquanto nas épocas mais secas (julho), o efeito foi de menor atividade de microrganismos. Os sistemas de mata, com melhor capacidade de armazenar água, em função de maior conteúdo de matéria orgânica, apresentaram uma redução de CBM em torno de 20% no período mais seco, enquanto que nos sistemas com café essa redução foi de mais de 40% (Figura 8).

Quadro 10 – Teor de umidade em campo em amostras coletadas em diferentes períodos do ano em solos cultivados com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG

Sistemas	Janeiro	Julho	Outubro	Dezembro
	-----%-----			
C16	26	16	15	24
C22	26	15	12	23
M30	32	26	23	29
M40	30	23	21	28

C16 – Café com 30 anos; C22- Café com 22 anos; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos.

A Figura 8 apresenta, ainda, os valores de quociente microbiano ($qMIC$), expressos em percentagem, e mostra que a quantidade de C imobilizado como biomassa microbiana foi menor nos sistemas com café. Nos sistemas (C16 e C22), o $qMIC$ foi inferior a 1, com exceção do mês de janeiro para o tratamento C16, que indica redução na dinâmica da matéria orgânica no solo, com entradas bem menores de material orgânico, tanto via serrapilheira como pelo “turnover” do sistema radicular. Valores de $qMIC$ menores que 1, tal como encontrados nesse estudo nos sistemas com café, foram observados por Marchiori Júnior & Melo (1999) em monocultivo de algodão com 10 anos. O sistema M30 apresentou também um valor de $qMIC$ próximo a 1,0 no mês de julho não diferindo dos solos sob café, indicando um decréscimo da eficiência da biomassa microbiana em utilizar o C da serrapilheira, devido, provavelmente, ao baixo pH e / ou teores de nutrientes que leva ao aumento nos teores de C orgânico recalcitrante neste ambiente (Wardle, 1993), aliado à condição ambiental de pouca umidade no solo.

Observa-se, a exemplo do que ocorreu com o CBM, que no período mais seco (abril e julho) houve diminuição drástica nos valores de $qMIC$ dos sistemas C16 e C22 (Figura 8). Esse fato pode ser atribuído à condição desfavorável de umidade enfrentada pelos microrganismos, o que limitou sua capacidade de utilização do C orgânico, diminuindo essa relação. Ao contrário, nos meses de maior pluviosidade (outubro e janeiro), a atividade

microbiana aumentou e, conseqüentemente, o q_{MIC} , mesmo não havendo alterações significativas nos teores de COT durante o ano.

3.2. Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM)

Os valores de nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) mostraram-se superiores nos sistemas de mata em todas as épocas avaliada (Figura 9), visto que estes mostram maiores quantidades de material orgânico no solo para a atividade microbiana, condição que, normalmente, resulta em maiores valores de NBM. Chaer (2001) observou que o NBM foi consistentemente superior em solos de mata em relação a solos sob eucalipto com diferentes tipos de manejo.

Quando se comparam os resultados obtidos nos diferentes períodos do ano, verifica-se uma tendência de menor teor de NBM no mês de julho, quando o solo se encontrava muito seco e maior teor nos períodos de maiores precipitações pluviométricas (Figura 9).

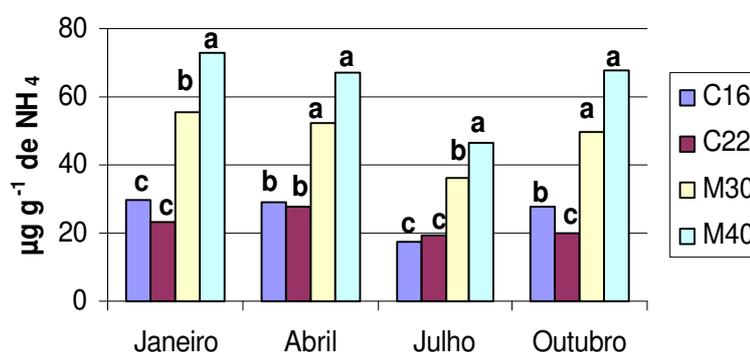


Figura 9 – Nitrogênio na biomassa microbiana em amostras retiradas em diferentes períodos do ano em solos cultivados com café e sob mata nativa, no município de Viçosa-Mg.

C16 – Café com 30 anos; C22 - Café com 22 anos; M30 - Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos

3.3. Enxofre da biomassa microbiana (SBM)

O sistema M40 mostrou valores de SBM significativamente superior aos demais, no período de maior pluviosidade (janeiro). Na época seca (julho) houve uma drástica redução de SBM que variou de 20% no sistema C16 até 200% no sistema M40 (Quadro 11). Nos dois períodos amostrados houve uma tendência de maiores valores de SBM no sistema M40 em

relação aos demais e era de se esperar também que o sistema M30 se destacasse em relação a sistemas com café, pois estes apresentaram teores de matéria orgânica reduzido, e isto normalmente trás, como consequências, mudanças qualitativas e quantitativas nas populações de organismos do solo. Talvez o procedimento de irradiação por forno de microondas não seja o mais adequado para medir o SBM.

Quadro 11 - Teores de S da biomassa microbiana, em amostras retiradas em janeiro e julho em solos cultivados com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG

Tratamentos	Janeiro	Julho
	-----µg de S g ⁻¹ de solo-----	
C16	0,144 b	0,113 a
C22	0,182 b	0,096 a
M30	0,171 b	0,074 a
M40	0,453 a	0,147 a

* Valores seguidos de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

C16 – Café com 30 anos de cultivo; C22- Café com 22 anos de cultivo; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos

3.4. Atividade microbiana em laboratório e qCO_2

Os maiores valores de atividade respiratória em laboratório foram encontrados nos solos de vegetação natural em todos os períodos amostrados (Figura 10). Nota-se um decréscimo na respiração no período de menor teor de umidade no solo (julho) em mais de 70%, para os solos sob café, e de cerca de 50% para os solos sob mata, em resposta às condições desfavoráveis de umidade no solo.

O valor de qCO_2 obtido para o solo de mata natural foi sensivelmente menor (Figura 10), e que mostra um ambiente com menor grau de distúrbio ou de estresse, onde há um superávit de produção orgânica em relação à respiração, conforme a teoria de “Desenvolvimento Bioenergético dos Ecossistemas” Odum (1969), que enfatiza que os microrganismos podem variar muito sua taxa metabólica de reposição, dependendo das condições ambientais. Ao contrário, comunidades sob condições desfavoráveis tendem a ter valores de qCO_2 mais elevados, em função de maior gasto energético (Breland & Eltun, 1999). Vale ressaltar a importância de se considerar a taxa de respiração por unidade de biomassa, no caso o qCO_2 , em estudo de qualidade de solos, pois, em alguns casos, não são detectadas diferenças entre diferentes manejos de solo quando se avalia apenas a respiração.

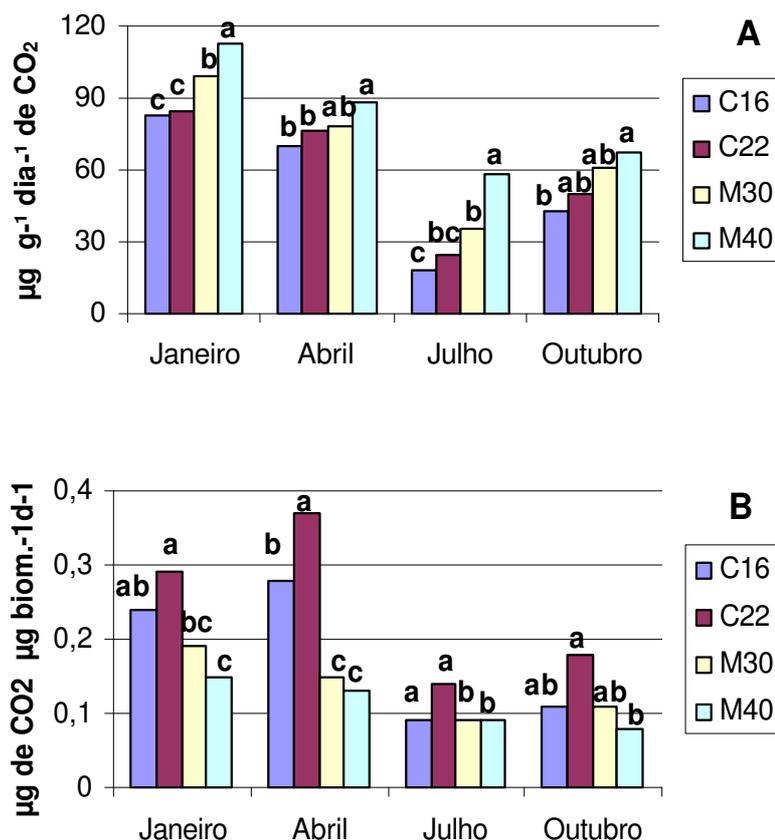


Figura 10 – CO₂ liberado (A) e quociente metabólico (B) em amostras retiradas em diferentes períodos do ano em solos cultivados com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG.

C16 – Café com 30 anos; C22- Café com 22 anos; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos.

3.5. Atividade biológica em campo

Nos sistemas de mata os valores de respiração encontrados variaram de 152,53 a 417,62 mg m⁻² dia⁻¹ de CO₂ no solo e de 160,56 a 504,23 mg m⁻² dia⁻¹ de CO₂ na serrapilheira em períodos secos e úmidos, respectivamente (Figura 11). Esses valores correspondem a 1.336,16 e 3.658,35 g m⁻² ano⁻¹ de CO₂ para o solo, e a 1.406,50 e 4.417,05 g m⁻² ano⁻¹ de CO₂ para a serrapilheira, sendo próximos aos encontrados por Wiant Júnior (1967), entre 1.800 e 6.100 g m⁻² ano⁻¹ de CO₂, taxas consideradas típicas para solos de florestas (Edward & Sollins, 1973), intervalo este também observado por Costa (1996) em matas nativas. Nos solos sob café a liberação de CO₂, variou, em épocas secas e chuvosas respectivamente, de 103,36 a 462,21 mg m⁻² h⁻¹ no solo e de 109,38 a 772,65 mg m⁻² h⁻¹ na serrapilheira (Figura 11). Assis Júnior (2000) encontrou atividade microbiana de 559,37 mg m⁻² h⁻¹ de CO₂ em sistemas de mata nativa e 202,82 de mg m⁻² h⁻¹ de CO₂ em monocultura de arroz.

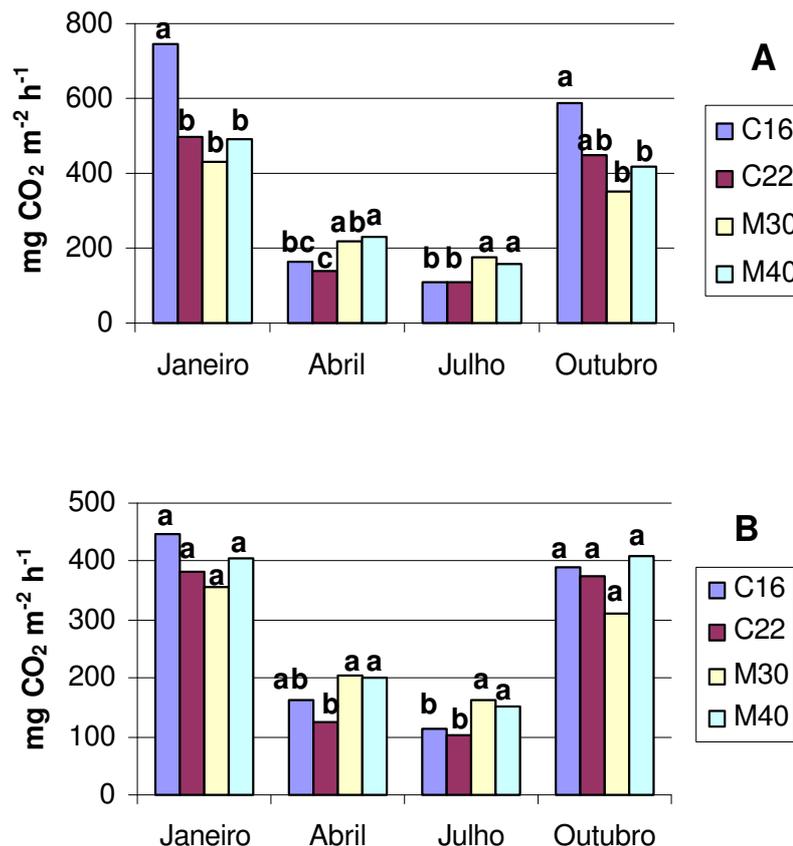


Figura 11 - Atividade biológica em campo medida na serrapilheira (A) e no solo (B) em amostras retiradas em diferentes períodos do ano em solos cultivados com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-Mg. Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos.

A atividade biológica do solo, medida pela liberação de CO₂ em câmpulas, variou muito durante os períodos de avaliação, mostrando-se dependência das variações ambientais, principalmente quanto ao teor de umidade no solo. No período mais seco (julho) os solos sob mata mostraram valores de atividade biológica significativamente superiores (Figura 11), visto que a serrapilheira diminui os efeitos de deficiência hídrica sobre a atividade biológica. Ao contrário, em condições de boa umidade no solo (janeiro) a taxa respiratória foi superior em cerca de 80% nos solos dos sistemas com café e por volta de 40% nos solos sob mata em relação ao período mais seco. Orchard & Cook, (1983) verificaram relações lineares entre o potencial de água no solo até atingir a capacidade de campo e a sua atividade biológica.

Nos meses de maior ocorrência de chuvas e de temperaturas mais elevadas (janeiro e outubro) houve uma tendência de valores maiores ou estatisticamente iguais de atividade microbiana nos sistemas sob café em relação às matas (Figura 11). Nestes períodos a atividade microbiana nos solos sob café foi favorecida, pois as câmpulas ficavam a céu

aberto e o sol incidia diretamente sobre elas determinando um consumo intenso de C oxidável pela população microbiana para a sua manutenção que ocorre em ambientes manejados que sofre alguns distúrbios, como, por exemplo, quebra de agregados do solo, que outrora protegia o material orgânico da ação de várias populações microbianas com atividade aeróbica. Por outro lado, nos meses mais secos e de temperaturas amenas (abril e julho) ocorreu o inverso, isto é, os solos sob matas apresentaram maiores valores de atividade microbiana, pois a umidade passou a ser um fator limitante nos solos sob café e os valores de atividade microbiana nas matas mostraram-se estatisticamente superiores, em função da camada de serrapilheira que mantinha o solo mais úmido.

O sistema C16 apresentou taxa respiratória na serrapilheira no mês de janeiro significativamente superior aos demais tratamentos, inclusive dos solos sob mata (Figura 11). Este comportamento ocorreu, em razão de uma maior disponibilidade de C orgânico prontamente assimilável adicionada à superfície do solo e da morte de raízes sub-superficialmente decorrente de recepa realizada pouco antes da amostragem do solo, que favoreceu a atividade microbiana nesse sistema.

Deve-se considerar que a atividade biológica está estritamente relacionada com processos que levam ao aumento de capacidade produtiva do sistema. Assim, um sistema de manejo deve mostrar uma atividade biológica equilibrada com o sistema produtivo no qual os recursos fornecidos pela comunidade microbiana devem retornar ao solo, através da serrapilheira para manutenção desta comunidade. Qualquer desequilíbrio, entre estes dois componentes, levará a perdas de energia do sistema, acarretando em impactos ambientais negativos, como diminuição da produção líquida, aumento na liberação de CO₂ por meio da respiração da biota e perdas de nutrientes por lixiviação e erosão.

3.6. Atividade de enzimas do solo

À exceção da atividade da urease, as atividades das demais enzimas analisadas, apresentaram o mesmo padrão de comportamento, mostrando-se maiores nos solos sob mata natural em todas as épocas do ano avaliadas (Figura 12), o que mostra uma tendência de maiores valores de fosfatase e β -glicosidase em solos com maiores teores de C orgânico.

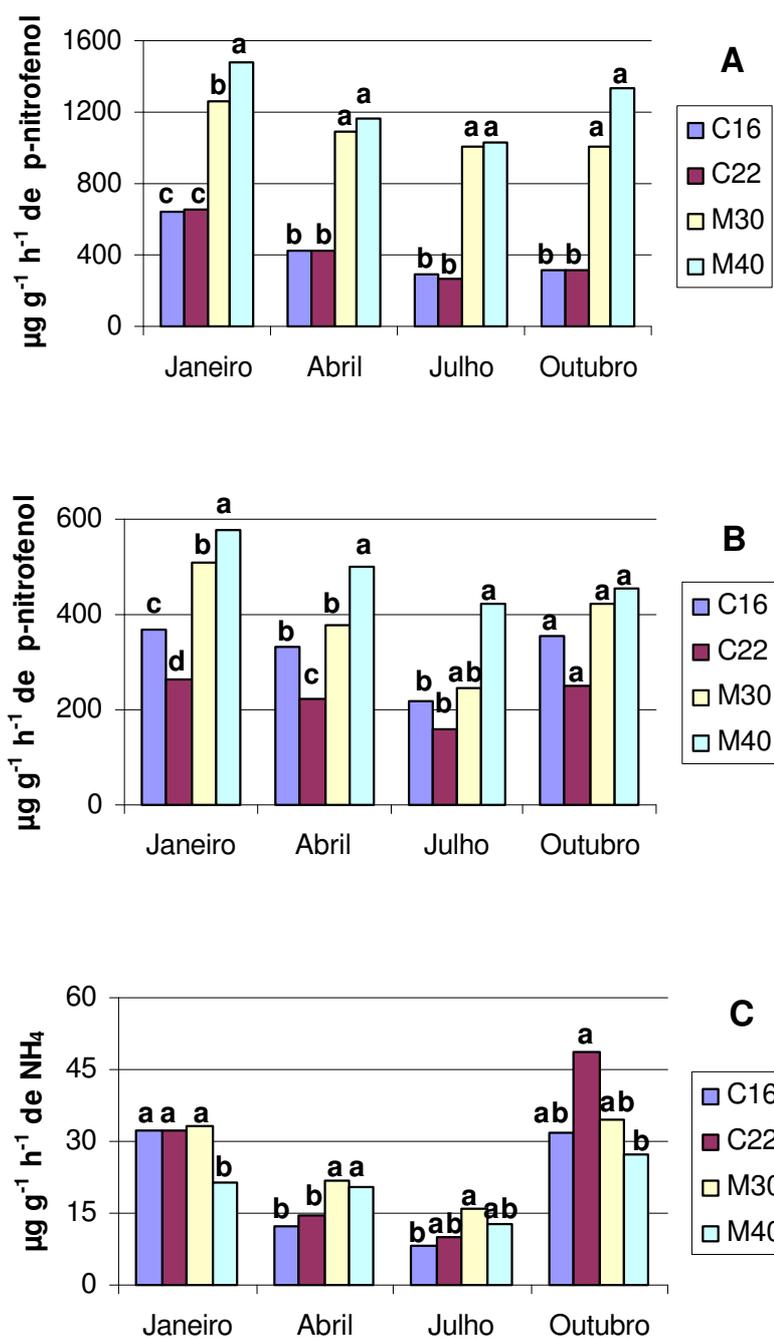


Figura 12 – Atividade das enzimas fosfatase ácida (A), β -glicosidase (B) e uréase (C) em amostras retiradas em diferentes períodos do ano em solos cultivados com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG.

C16 – Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos

No Quadro 12 observa-se uma correlação positiva e significativa entre a enzima β -glicosidase e os teores de C orgânico. Badiane et al. (2001) evidenciaram correlações significativas entre a atividade da β -glicosidase e a quantidade e qualidade de resíduos orgânicos adicionados ao solo.

Quadro 12 - Coeficiente de correlação entre a atividade da enzima β -glicosidase e teores de carbono orgânico sob mata secundária e cultivado com café, em Viçosa-MG

Atributo	Coeficiente de correlação 0-10 cm
β -glicosidase (janeiro)	0,8557***
β -glicosidase (abril)	0,8882***
β -glicosidase (julho)	0,8614***
β -glicosidase (outubro)	0,6720***

*** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Os teores de P disponível nos solos sob mata se mostraram na faixa de 3 mg dm^{-3} (muito baixo) e os valores de atividade de fosfatase ácida nesses ecossistemas variaram de 1.000,47 a 1.476,46 $\mu\text{g g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ de *p*-nitrofenol. Por outro lado, os teores de P disponível nos solos sob café apresentaram-se acima de 13 mg dm^{-3} e os valores de atividade de fosfatase ácida, encontraram-se no intervalo de 266,7 a 657,62 $\mu\text{g g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ de *p*-nitrofenol (Figura 12). Esses resultados indicam que a maior disponibilidade de P inorgânico no solo diminui a dependência de um ecossistema em relação à ciclagem do P orgânico pela atividade da fosfatase resultando em menores valores de atividade dessa enzima (Tarafdar & Jungk, 1987).

Quando se comparam os resultados obtidos nos solos amostrados nas diferentes épocas do ano, observa-se uma tendência de menor atividade da β -glicosidase e da fosfatase no período de pouca umidade no solo (julho), sendo que nos solos sob café a queda foi mais drástica (Figura 12). A atividade da enzima urease, também diminuiu nos períodos mais secos, mas não mostrou uma relação concreta com o manejo do solo. Dick et al. (1988) encontraram evidências que a atividade da enzima urease decresce com a aplicação de fertilizantes amoniacais, pois a adição do produto final da reação enzimática (NH_4), inibe a síntese de enzimas. Bandick & Dick (1999) mostraram que a aplicação de 90 kg de fertilizantes nitrogenados amoniacais reduziu em mais de 30% a atividade da urease no solo. Esse estudo não mostrou esse padrão de comportamento, pois os sistemas com café, apresentaram valores maiores ou iguais às matas em alguns períodos, e receberam anualmente até três aplicações de fertilizantes contendo N. Contudo, houve uma tendência de maiores valores de atividade da urease nos sistemas de mata no período seco e vice-versa (Figura 12). Lazari (2001) & Chaer (2001) também não encontraram diferenças significativas, em

valores da enzima urease, entre solos com plantio de eucalipto que receberam doses de nitrogênio e mata nativa.

3.7. Nematóides do solo

A ocorrência de nematóides de vida-livre ou fitopatogênicos variou de acordo com o sistema estudado e a época do ano, em que foi feita a amostragem do solo (Figura 13). No mês de janeiro (período de boa precipitação pluviométrica) houve maior abundância de nematóides de vida-livre em todos os sistemas. Como os nematóides de vida livre alimentam-se de microrganismos do solo é de esperar grande abundância desse tipo de nematóides em ambiente onde ocorre decomposição da matéria orgânica mais intensamente (Maxuel & Colleman, 1995). No sistema M40, esse fato foi observado, pois o número de nematóides saprófagos foi bem superior aos demais, enquanto que no sistema M30 isto não ocorreu, provavelmente, pela grande quantidade de resíduos orgânicos acumulados nesse solo o que pode ter levado a um excesso de umidade, o que é comum em solos argilosos, originando uma baixa concentração de oxigênio. Uma maior quantidade de fitonematóides no sistema C22 pode ser reflexo de problemas físicos apresentado por esse solo o que dificultou o deslocamento desses até as raízes, apesar de boas condições hídricas que supostamente poderia favorecer tal deslocamento.

No período seco (julho) houve uma redução drástica no número de nematóides de vida-livre em mais de 75% nos solos sob café e em mais de 95% no solo M40. Por outro lado, observou-se que a ocorrência de fitonematóides foi expressiva nos solos com café. Talvez a deficiência hídrica tenha levado os nematóides fitopatogênicos a manterem-se no solo, visto que a migração do nematóide para as raízes da planta hospedeira se dá através do filme de água (Tihohod, 1993). Estes resultados concordam com Souza et al. (1998) que encontraram maiores índices de fitonematóides juvenis do gênero *Meloidogyne exigua* em solo cultivado com café durante o período de baixa precipitação pluviométrica.

A relação fitonematóides / nematóides saprofíticos no solo no período de maiores precipitações foi de apenas 0,23, enquanto durante a estação seca essa relação foi de 2,7. Assim, modificações na umidade do solo provavelmente produzem interferências na flutuação de nematóides de vida livre e fitonematóides no solo. Isto significa que há uma necessidade de favorecimento no aumento da população de nematóides de vida-livre neste período, seja por um manejo da cultura ou introdução de insumos orgânicos a fim de manter a população de fitopatogênicos baixa. Porazinska et al. (1999) trabalhando com diferentes práticas de manejo

na cultura de citrus verificou que a incorporação de resíduos orgânicos contribuiu para aumentar o número de nematóides de vida livre no solo.

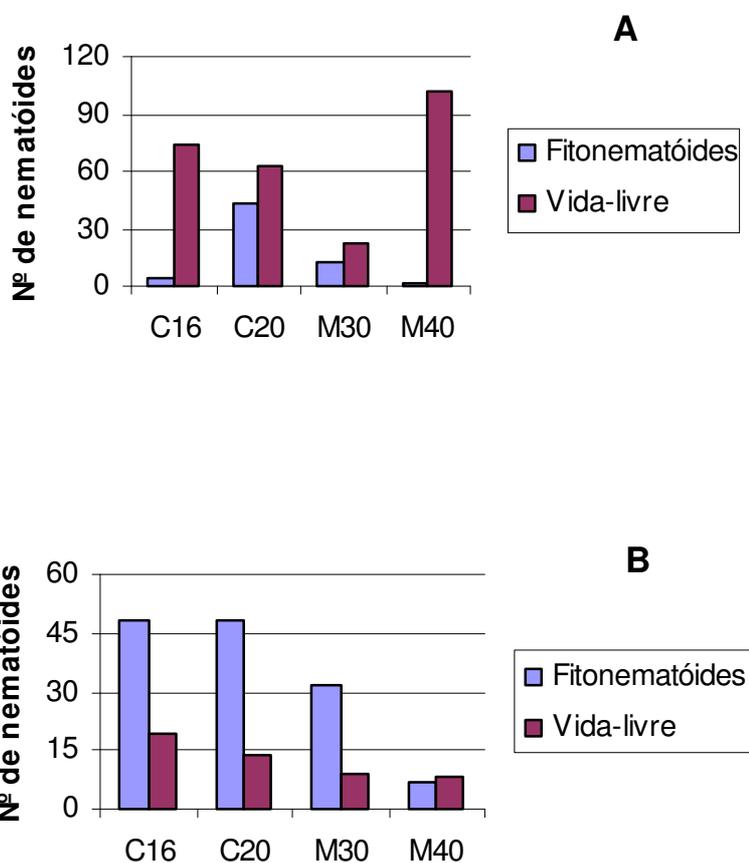


Figura 13. Números de fitonematóides e nematóides de vida livre em janeiro (A) e em julho (B) em amostras de solos cultivado com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG.

C16 – Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40

3.8. Fauna edáfica

Com relação ao número total de indivíduos para os diferentes sistemas estudados, nos solos sob mata predominou três grupos taxonômicos: Formicidae, Coleoptero e Diptera, enquanto que nos solos sob café prevaleceram os grupos Collembola e Formicidae (Quadro 13). A relevância do grupo Formicidae para a comunidade da fauna do solo é atribuída ao hábito social e a repartição do trabalho deste grupo, que são indicativos de sua atividade, com a construção de ninhos onde utilizam as partículas minerais do solo, matéria orgânica de

origem vegetal, secreções e dejetos, sendo em geral abundantes em ecossistemas tropicais, são considerados de fundamental importância para os processos de decomposição nestes sistemas (Lavelle et al., 1993). No sistema M40 a proporção de Formicidae foi de mais de 50% do total. Os Collembola (micrófagos) influenciam indiretamente na fertilidade do solo, criando um balanço favorável entre bactérias e fungos, produzindo enzimas, fragmentando a matéria orgânica e ainda têm um papel importante na formação de microestrutura do solo, sendo comuns em áreas cultivadas e férteis (Sautter et al., 1995, citado por Costa, 2002).

Os grupos taxonômicos de insetos alados, os quais incluem os Homoptera, Heteroptera, Coleoptera, Thysanoptera, Lepdoptera e Diptera, que a princípio não possuem nenhuma associação funcional com o sistema decompositor, estiveram presentes em cerca de 23,27% do total de indivíduos (Quadro 13). No entanto, sabe-se que o Heteroptera e Coleoptera possuem espécies predadoras de organismos do solo, sendo que o último grupo, que ocorreu em grande proporção (12,50 %) sendo favorecida pela densa serrapilheira usada como fonte de alimento, visto que este grupo também possui indivíduos cujo hábito alimentar pode ser caracterizado como saprófago (Correia, 1994). Os Homoptera são, em geral, fitófagos e algumas espécies alimentam-se de raízes. A ordem Diptera não possui função no sistema decompositor, já que a maior parte é hematófaga ou fitófaga, com poucos saprófagos. Sendo assim, a ocorrência desta ordem, chegando a números expressivos nos sistema de mata, talvez se justifique pelo fato deste grupo se utilizar o solo como refúgio (Oliveira, 1997). Os outros grupos também parecem utilizar o solo apenas como refúgio temporário e representaram apenas pequenas parcelas das comunidades, alguns com presença apenas pontuada, como é o caso de Dermaptera (0,006%), Pseudoscorpionida (0,01%), Gastropoda (0,02%) (Quadro 13), embora este último seja influenciado pela umidade do ambiente e apesar de ocorrer em baixas proporções, sua presença é indicativo de ambientes preservados.

O número de indivíduos seguiu um padrão de comportamento quanto à época avaliada, pois houve tendência de maior número nos períodos maior pluviosidade (janeiro e outubro), com exceção do sistema M40, que mostrou valores maiores no período mais seco de coleta e com temperaturas mais amenas (julho) (Figura 14). No entanto, 72% do total de indivíduos neste período no citado sistema, foram representados apenas pelo grupo Formicidae, pois talvez o déficit hídrico tenha favorecido maior abundância deste grupo, em detrimento dos demais. Para Bandeira & Harada (1998) em ecossistemas tropicais, onde as estações chuvosas e secas são bem definidas, a fauna edáfica migra da superfície orgânica do solo, quando este apresenta deficiência de umidade, para a camada mineral mais profunda, retornando para a superfície, quando a umidade é restabelecida.

Quadro 13 – Números total de indivíduos (somatório dos diferentes sistemas em todas as estações) por grupo taxonômico e percentual do grupo em relação ao total de todos os grupos em sistemas cultivados com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG.

Grupos	C16	C22	M30	M40	Total	% do Total
Díptera	128	79	479	561	1247	7,21
Heteroptera	142	8	122	15	287	1,66
Homoptera	139	34	47	36	256	1,48
Lepidoptera	12	-	8	11	31	0,18
Coleoptera	197	211	968	785	2161	12,50
Thysanoptera	8	1	27	7	43	0,25
Orthoptera	236	190	74	187	687	3,97
Psocoptera	1	6	3	8	18	0,10
Blattodea	169	29	18	14	230	1,33
Diplopoda	38	7	2	1	48	0,28
Araneae	53	66	65	45	229	1,32
Pseudoscorpionida	-	-	1	1	2	0,01
Gastropoda	2	1	-	-	3	0,02
Larva de Díptera	21	5	27	62	115	0,66
Larva de Coleoptera	66	22	36	19	143	0,83
Larva de Lepidoptera	13	3	15	10	41	0,24
Larva de Formicidae	-	-	-	18	18	0,10
Hymenoptera	90	20	52	38	200	1,16
Formicidae	977	1477	835	2316	5605	32,39
Isoptera	6	29	6	13	54	0,31
Collembola	453	4760	418	254	5885	34,01
Dermaptera	-	-	-	1	1	0,006
TOTAL	2751	6948	3203	4402	17304	100

C16 – Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos

O número de grupos taxonômicos identificados (riqueza de espécies) foi superior na matas em todas as épocas do ano (Figura 14). Verifica-se que a umidade não influenciou na riqueza de espécies, sobretudo nos solos sob mata que apresentaram um maior número de grupos taxonômicos em julho (período seco) em comparação a janeiro (período úmido). O maior número de indivíduos da fauna edáfica encontrado no sistema C22 nos períodos mais úmidos (janeiro e outubro) (Quadro 13) não acompanha a riqueza de espécies (número de grupos taxonômicos) (Quadro 14). Nesse sistema, cerca de 90% do total de indivíduos foram representados por apenas dois grupos taxonômicos: Collembola e Formicidae, o que pode

evidenciar uma pobreza de fauna, decorrente da ausência de cobertura vegetal, o que limita o número de nichos ecológicos.

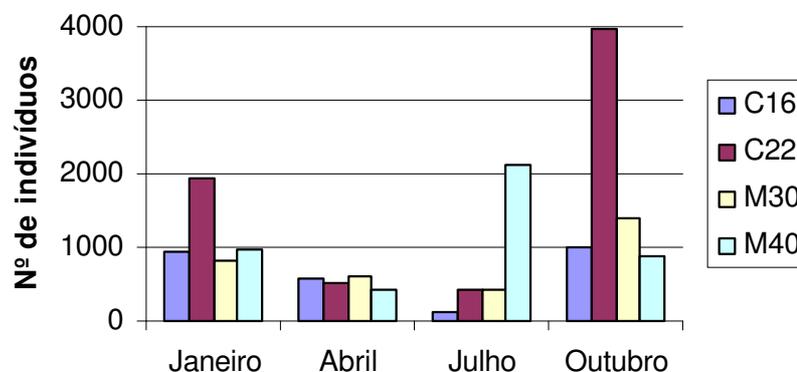


Figura 14 – Número de indivíduos coletados em diferentes períodos do ano em sistemas cultivados com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-Mg.
C16 – Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos

No entanto, quando as comunidades são estudadas apenas em termos de números médios de indivíduos, deixa-se de levar em consideração a proporção de espécies abundantes e raras. Deste modo, foram avaliados também o número total de grupos taxonômicos presentes através do índice de diversidade de Shannon, que é extremamente apropriado para o uso em Ecologia do solo, uma vez que é um índice capaz de atribuir maiores valores às espécies raras presentes na comunidade, e a uniformidade das comunidades, ou seja, a abundância relativa pelo índice de Uniformidade de Pielou.

Quadro 14 - Número de grupos taxonômicos de fauna edáfica analisadas em diferentes períodos do ano em amostras de solos cultivado com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG

Sistema	Janeiro	Abril	Julho	Outubro
C16	16	14	10	13
C22	13	12	15	13
M30	15	15	17	17
M40	16	17	17	20

C16 – Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos

Os valores do índice de Shannon apresentaram diferenças entre as estações (Figura 15). O sistema M30 apresentou uma pequena variação durante todo o ano, enquanto que o

sistema M40 apresentou uma queda no período mais seco (julho), pois houve o predomínio do grupo Formicidae. Em relação às áreas com café, o sistema C22 mostrou maior riqueza de grupos taxonômicos no período mais seco (julho) e o sistema C16 nos períodos iniciais (janeiro e abril), talvez pela maior quantidade de resíduos orgânicos presentes no solo (provenientes da recepa). No geral, o sistema C22 apresentou uma diversidade de grupos taxonômicos inferior aos demais.

De maneira geral, pode-se afirmar que o índice de Shannon mostrou-se fortemente influenciado pelas diferenças na abundância dos grupos taxonômicos dentro de cada sistema, ou seja, pela uniformidade (Figura 16).

Foram confeccionados ainda dendrogramas de diversidade de espécie visto que estes apresentam as diferenças ecológicas em uma forma hierárquica, ao ilustrar o padrão de agrupamento dos sistemas (Figura 17). Observam-se diferenças em épocas avaliadas, pois houve a formação de grupos distintos conforme o período do ano. Nos períodos de maior precipitação (janeiro e outubro) houve a formação de dois grupos distintos, quanto ao nível de similaridade: o primeiro representado pelos sistemas de mata e C16 mostrando maior similaridade, provavelmente pela maior diversidade estrutural e complexidade da vegetação, pois as matas são sistemas mais ricos em espécies e o sistema C16 que recebeu boa quantidade de resíduos orgânicos em janeiro e pode apresentar um efeito de borda em função de sua proximidade ao sistema M30, influenciado ainda por uma boa disponibilidade hídrica e no segundo, o sistema C22 que apresenta uma limitada manta orgânica.

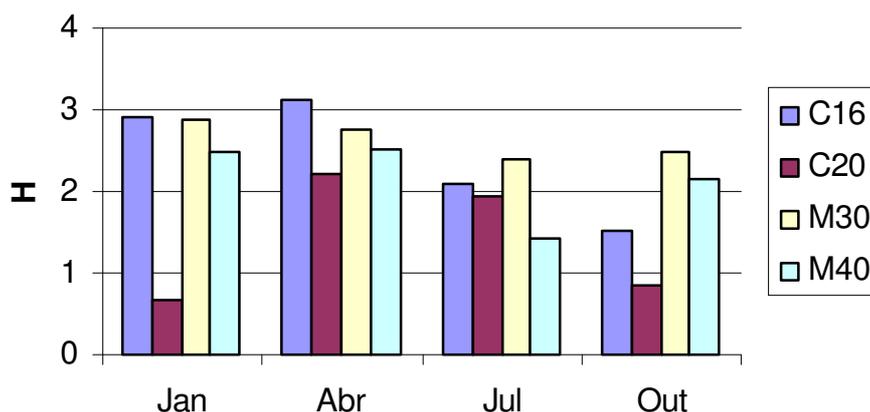


Figura 15 - Variação sazonal e média da diversidade de grupos taxonômicos segundo o índice de Shannon (H) em sistemas cultivado com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG.

C16 – Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos

Em abril verificou-se a formação de dois grupos: um formado pelo sistema M30 que apresentou uma grande dissimilaridade com o outro grupo formado pelos sistemas C16, C22 e M40. No período mais seco (julho) o sistema M40 mostrou-se menos sensível ao déficit hídrico e apresentou-se isolado dos demais sistemas que formaram outro grupo com maior similaridade (Figura 17). Percebe-se que os períodos mais secos (abril e julho) houve uma dissimilaridade entre os sistemas M30 e M40. Este fato pode ser atribuído a diferentes estádios de sucessão dos sistemas. Senra (2000) estudando a composição florística do sistema M30 encontrou que esta área encontra-se em fase intermediária de desenvolvimento apresentando um índice de diversidade (Shannon) de espécie florísticas de 3,01, enquanto que Soares Junior (2000) encontrou no sistema M40 uma maior diversidade de espécie (3,62) indicativo de uma etapa avançada no processo de sucessão.

3.9. Análises de correlação

O Quadro 15 apresenta os contrastes entre os sistemas estudados. Percebe-se que o contraste C16 x C22 (CONT 1), verificou-se diferenças significativas apenas para as variáveis CBM, q_{MIC} , q_{CO_2} e α -glicosidase, enquanto que para o contraste M30 x M40 (CONT 2) apenas as variáveis q_{MIC} , q_{CO_2} e urease não apresentaram diferenças significativas. Esses resultados comprovam maior degradação do sistema C22 em relação ao sistema C16 e um maior equilíbrio do sistema M40 em relação ao M30. Por outro lado, para o contraste café x mata (CONT 3) apresentou diferenças em todas as variáveis estudadas, com exceção, da atividade de enzimas urease, que não mostrou diferença em nenhum dos contrastes testados. Esse fato pode ser levado em consideração sobre a possibilidade de se excluir esse indicador na avaliação de qualidade de solo, pois estudos recentes realizados por Lazari (2002) e Chaer (2002) também não encontraram sensibilidade desse indicador em relação ao manejo do solo.

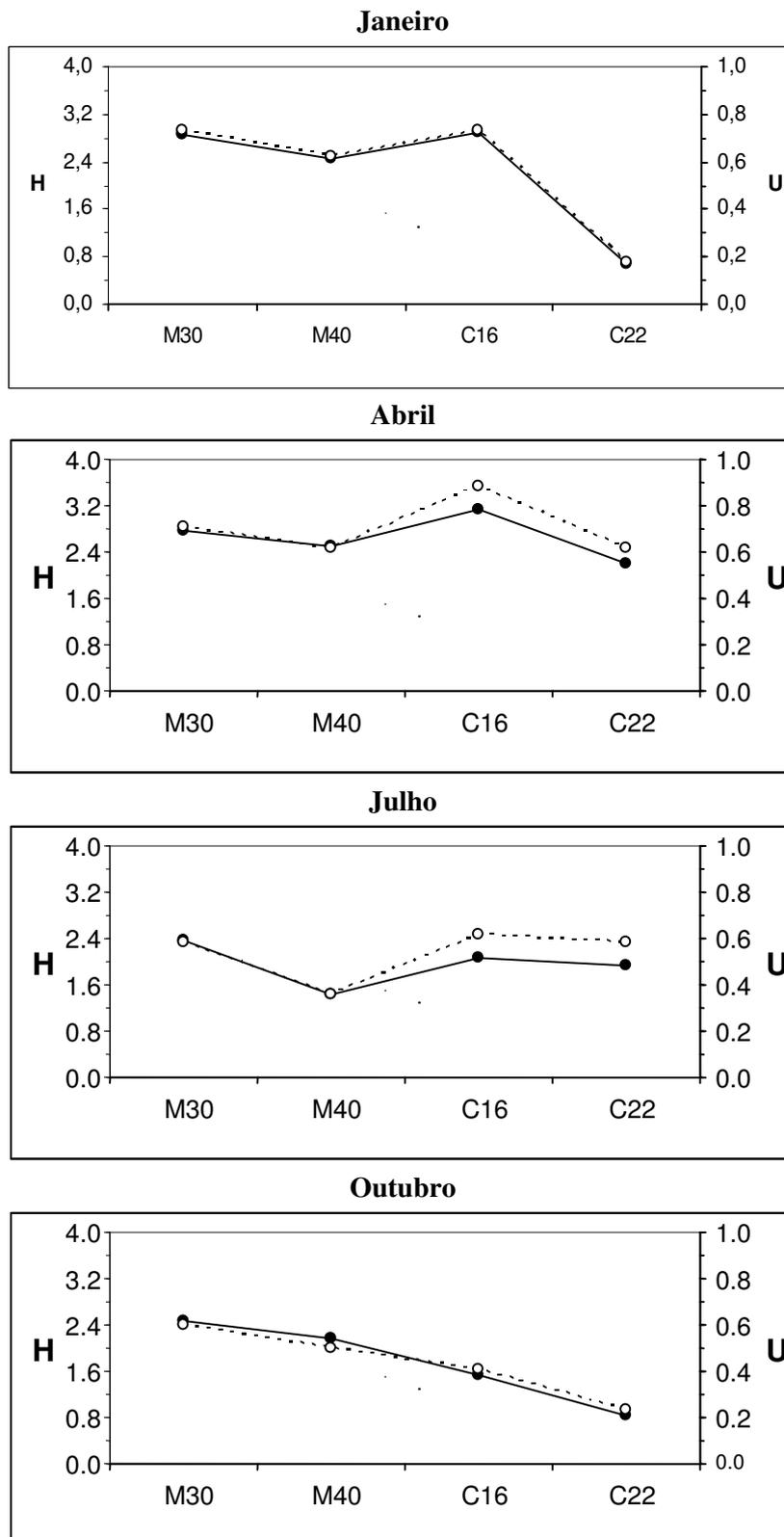


Figura 16 - Variações dos índices de Shannon (H) e Pielou (U) em cada um dos períodos avaliados

C16 – Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e
M40 – Mata com 40 anos

H ●——● ; U ○-----○

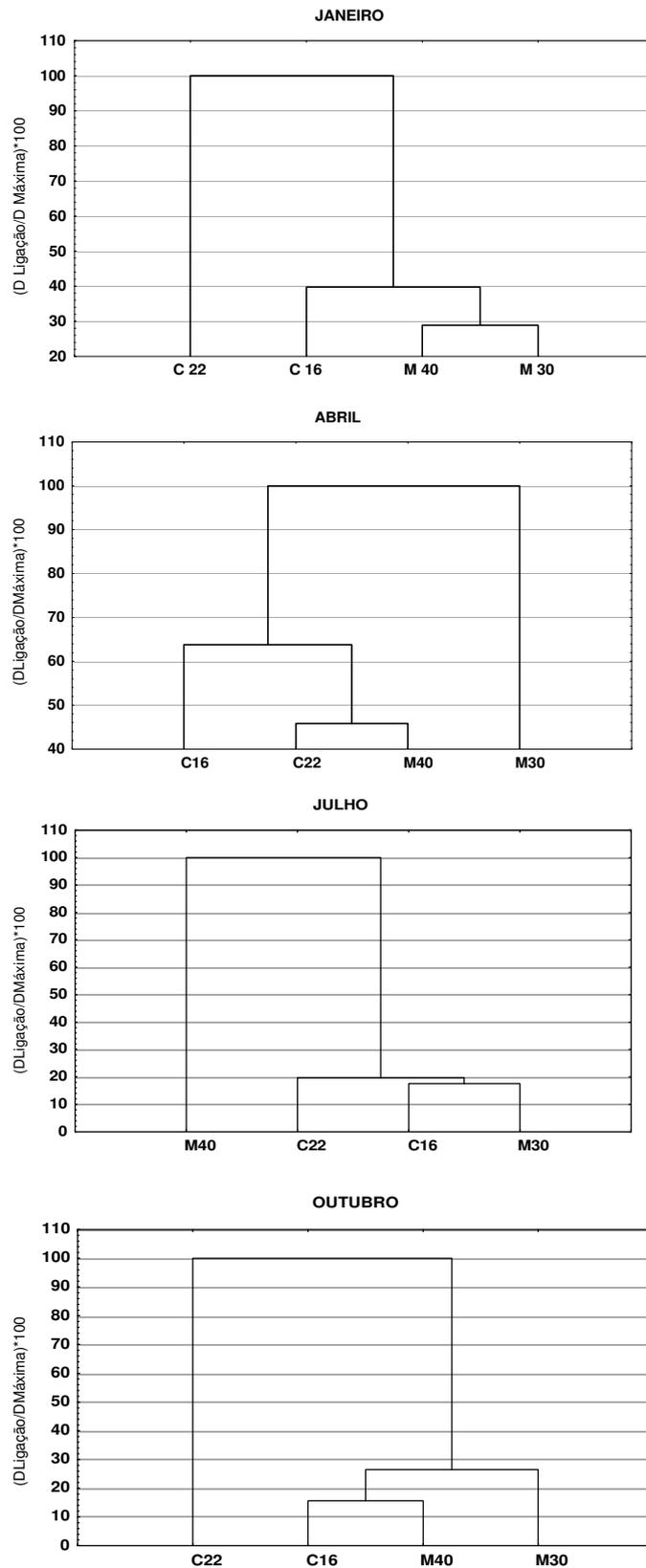


Figura 17 – Dendrogramas representativos dos quatro sistema quanto à percentagem de dissimilaridade em relação à diversidade de espécie.
 C16 – Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40– Mata com 40 anos.

Quadro 15. Valores de “F”, QM Resíduo e CV observados para diferentes contrastes com as variáveis biológicas avaliadas e contrastes entre os sistemas estudados

Contraste	QM Contraste								
	CBM	qMIC	NBM	Respiração laboratório	qCO ₂	- glicosidase	Fosfatase	Uréase	Diversidade de mesofauna
CONT 1	6662,0**	0,063 *	24,22 ^{ns}	59,13 ^{ns}	0,008*	17517,24**	103,68 ^{ns}	46,36 ^{ns}	1,97 ^{ns}
CONT 2	99752,6***	0,03 ^{ns}	469,86***	439,85***	0,001 ^{ns}	20038,02***	52499,3**	71,22 ^{ns}	0,46 ^{ns}
CONT 3	484993***	0,78***	4005,9***	1829,48***	0,031***	111851,8***	2269791***	1,71 ^{ns}	0,87*
QM Res.	775,25	0,013	18,91	15,69	0,0017	1327,68	4720,27	38,12	0,28
CV (%)	6,34	10,26	10,84	5,96	24,96	10,26	8,64	26,10	24,76

CONT 1 = C16 vs C22 ; CONT 2 = M30 vs M40 ; CONT 3 = Cafés vs Matas.

* Significativo ao nível de 10%

** Significativo ao nível de 5%

*** Significativo ao nível de 1%

Ns- Não significativo

4. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo indicaram que a mudança da vegetação nativa para monocultura de café prolongado em área de encosta compromete a qualidade do solo, em virtude das sensíveis alterações dos indicadores biológicos tais como: carbono da biomassa microbiana, quociente microbiano, atividade microbiana, quociente metabólico, atividade das enzimas β -glicosidase e fosfatase ácida e a mesofauna do solo, sendo essas alterações mais intensas no sistema de café com 22 anos de cultivo (C22) em função de um maior tempo de uso.

Os indicadores estudados variaram com a estação do ano e clima sendo que no período mais seco ocorreu uma redução nos seus valores, afetando mais drasticamente os sistemas com café, em particular o sistema C22.

No sistema C22 o maior número de indivíduos da fauna edáfica não correspondeu à riqueza de espécies, mostrando uma diversidade de grupos taxonômicos significativamente inferior aos demais sistemas estudados. O índice de diversidade de Shannon mostrou-se fortemente influenciado pelas diferenças na abundância dos grupos taxonômicos dentro de cada sistema e pelas condições climáticas.

A deficiência hídrica prejudicou a migração de fitonematóides para as raízes do cafeeiro, fazendo com que eles se concentrassem no solo. Com a continuação de estudos, será possível inferir com maior precisão os efeitos do clima sobre a população de fitonematóides no solo de cafeeiro e desta forma aumentar a eficiência dos métodos para controlar e manejar essa praga.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEF, K.; NANNIPIERI, P & TRAZAR-CEPEDA, C. Phosphatase activity. In: ALEF, K. & NANNIPIERI, P. Methods in applied soil microbiology and biochemistry, Academic Press, 1995, p. 335-344.
- ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L.E.; RIBEIRO JUNIOR, E. S.; SOUZA, R. B. ; FONSECA, C.A. Métodos de análises de enxofre em solos e plantas. Viçosa: UFV, 2001, 131p.
- ASSAD, M.L.L. Papel da macrofauna edáfica de invertebrados no comportamento de solos tropicais. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, Rio de Janeiro. Conferências..., CD-ROOM, Rio de Janeiro, SBCS, 1997.
- ASSIS JÚNIOR, S.L. Sistemas agroflorestais *versus* Monoculturas: coleoptera, scarabaeidae e microbiota do solo como bioindicadores de sustentabilidade. Viçosa: UFV, 2000, 70p. (Tese de doutorado).
- BADIANE, N.N.Y.; CHOTTE, J.L., PATE, E.; MASSE, D. & ROULAND, C. Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions. Appl. Soil Ecol., 18: 229-238, 2001 .
- BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A; ANDRADE, D.S & HUNGRIA, M. Biomassa e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. Rev. Bras. Ci. Solo, 22: 641-649, 1998.
- BANDEIRA, A.G. & HARADA, A.Y. Densidade e distribuição vertical de macroinvertebrados em solos argilosos e arenosos na Amazônia central. Acta Amazônica, 28: 191-204, 1998.
- BANDICK, A.K. & DICK, R.P. Field management effects on soil enzymes activities. Soil Biol. Biochem., 31: 1471-1479, 1999.

- BRELAND, T.A. & ELTUN, R. Soil microbial biomass and mineralization of carbon and nitrogen in ecological, integrated and conventional forage and arable cropping systems. *Biol. Fertil. Soil*, 30: 193-201, 1999.
- CASTTELAN, A.J. & VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. *R. Bras. Ci. Solo*, 14: 133-142, 1990.
- CHAER, G.M. Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos. Viçosa: UFV, 2001, 70p. (Tese de mestrado).
- COLOZZI FILHO, A. & ANDRADE, D.S. O impacto dos sistemas de cultivo sobre a biota do solo. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, Londrina. Anais..., Londrina, SBCS, 2001, p. 55 (palestra 20).
- CORREIA, M.E.F. Organização de comunidades de macroartrópodos edáficos em um ecossistema de mata atlântica de Tabuleiros, Linhares ES. Rio de Janeiro, UFRRJ-Instituto de Biologia, 1994. (Teses de mestrado).
- CORREIA, M.E.F. Organização de comunidades da fauna de solo: O papel da densidade e da diversidade como indicadores de mudanças ambientais. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 26., Rio de Janeiro (CD-room). Anais..., Rio de Janeiro, SBCS, 1997.
- COSTA, M.D. Atividade biológica e liberação de nutrientes em resíduos da exploração de povoamentos de Eucalipto. Viçosa: UFV, 1995, 91p. (Tese de mestrado).
- COSTA, P. Fauna do solo em plantios experimentais de *Eucalyptus grandis* Maiden, *Pseudosomanae guachapele* Dugand e *Acácia angium* Willd. Rio de Janeiro: UFRRJ, 2002, 93p. (Tese de mestrado).
- DICK, R.P.; RASMUSSEN, P.E.; KERLE, E.A. Influence of long-term residue management on soil enzymes actives in relation to soil chemical properties of a wheat-fallow system. *Biol. Fertil. Soils*, 6: 159-164, 1988.
- EDWARDS, N.T. & SOLLINS, P. Continuous measurement of carbon dioxide evolution from partitioned forest floor components. *Ecology*, 54: 406-412, 1973.
- EIVAZI , F. & TABATABAI, M .A. Phosphatases in soils.. *Soil Biol. Biochem.*, 9: 167-172, 1977.
- EIVAZI , F. & TABATABAI, M .A. Glucosidases and galactosidases. *Soil Biol. Biochem.*, 20: 601- 606 , 1988.
- GAMA-RODRIGUES, E.M.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. *R. Bra Ci Solo*, Viçosa, 21: 361-365, 1997.

- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. A rapid microwave digestion method for colorimetric measurement of soil organic carbon. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29: 2269-2284, 1988.
- JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. , 1964, 692p.
- KANDELER, E. & GERBER, H. Short term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biol. Fert. Soils*, 6: 68-72, 1988.
- KEMPERS, A.J. & ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate methods. *Soil. Sci. Plant. Anal.*, 17: 715-723, 1986.
- LAVELLE, P. ; BLANCHART, E. & MARTIN, A. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. *Biotropica*, 25: 130-150, 1993.
- LAZARI, M.F. Nitrificação em solos sob plantações de eucaliptos com diferentes idades. Viçosa UFV, 2001, 50p. (Tese de mestrado).
- MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, .23: 257-263, 1999.
- MAXWELL, R.A. & COLEMAN, D.C. Seasonal dynamics of nematode and microbial in soils of riparian-zone forest of the southern Appalachians. *Soil Biol. Biochem.*, 27: 79-84, 1995.
- ODUM, E.P The strategy of ecosystems development. *Science*, 164:262-270, 1969.
- OLIVEIRA, L.C.M. Caracterização da comunidade de macroartrópodos edáficos em uma mata de restinga, Maricá (RJ). Rio de Janeiro: UFRJ, 1997. (Tese de doutorado).
- ORCHARD, V. & COOK, F.J. Relationship between soil respiration and soil moisture. *Soil Biol. Biochem.*,15: 447-453, 1983.
- PORAZINSKA, D.L.; DUNCAN, L.W., McSORLEY, R. & GRAHAM, J.H. Nematodes communities as indicator of status and processes of a soil ecosystem influenced by agricultural management practices. *Appl. Soil Ecol.*, 13: 69-86, 1999.
- PIELOU, E.C. *Mathematical ecology*. New York, Wiley, 1977, 385p.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.K. & CHRISTENSEN, B.T., Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.*, 19: 159-164, 1987.
- SENRA, L.C. Composição florísticas e estrutura fitossociológica de um fragmento florestal da fazenda Rancho Fundo na Zona da Mata – Viçosa, MG. Viçosa: UFV, 2000, 66p. (Tese de mestrado).

- SHANNON, C.E. & WEAVER, W. The mathematical theory of communication. Urbana, Universidade Illinois Press, 1949, 117p.
- SOARES JÚNIOR, F.J. Composição florísticas e estrutura de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual na Fazenda Tico-Tico, Viçosa-MG. Viçosa: UFV, 2000, 68p. (Tese de mestrado).
- SOUZA, S.E.; SOUZA, L.H.; SANTOS, F.S. & SILVA, R.V. Flutuação populacional de *Meloidogyne exigua* (Goeldi, 1887) em cafeeiros no município de Barra do Choça-BA. Revista Bahia Agrícola, 3: 1-4, 1998.
- STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. Soil Plant Sci, 49: 1-24, 1999.
- TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. Assay of urease activity in soils. Soil Biol. Biochem., 4: 479-487, 1972.
- TARAFDAR, J.C. & JUNGK, A. Phosphatase activity in the rhizosphere and its relation to the depletion of soil organic phosphorus. Biol. Fertil. Soils, 3: 199-204, 1987.
- TIHOHOD, D. Nematologia agrícola aplicada. Jaboticabal: Funep, 1993, 371p.
- WARDLE, D.A. Changes in the microbial biomass and metabolic quotient during leaf litter succession in some New Zealand forest and scrubland ecosystem. Func. Ecol., 7: 346-355, 1993.
- WIANT JÚNIOR, H.V. Has the contribution of litter decay to forest "soil respiration" been overestimated ? J. Forest., 65: 408-409, 1967.

CAPÍTULO 4

DETERMINAÇÃO DE ÍNDICE DE QUALIDADE BASEADO EM INDICADORES QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICO DE UM SOLO SOB MATA SECUNDÁRIA E CULTIVADO COM CAFÉ EM VIÇOSA-MG.

1. INTRODUÇÃO

Na interpretação de resultados de indicadores de qualidade de solo deve se considerar a função de determinado ambiente e o conjunto de variáveis para a construção de modelos para a determinação de índices de qualidade do solo (IQS), ou mesmo representações gráficas do desempenho dos indicadores por meio de análises multivariadas, ao invés de uma análise individualizada de cada variável.

O estabelecimento de índices de qualidade do solo é necessário e importante para identificar problemas de produção nas áreas agrícolas, fazer estimativas realísticas da produção de alimentos, monitorar mudanças na sustentabilidade e qualidade ambiental em relação ao manejo agrícola, orientar políticas governamentais voltadas para o uso sustentável do solo (Doran & Parkin, 1994) e monitorar o processo de recuperação de áreas degradadas (Dias, 2002). Esses índices podem ser obtidos por meio de uma expressão ou modelo matemático que levem em conta os atributos do solo considerado. Desse modo, o somatório dos efeitos dos atributos selecionados (quantificados pelos seus respectivos indicadores), que são determinantes da qualidade do solo de um certo ambiente, é manifestada no índice de qualidade (Burger & Kelting, 1999).

O uso de análise multivariada tem se mostrado uma ferramenta capaz de avaliar um conjunto de dados ou indicadores de natureza diversa, de modo a torná-lo de mais fácil interpretação, pois facilita a visualização das relações entre as variáveis e a seleção daquelas que melhor represente a qualidade do ambiente. Para Stenberg (1999) ferramentas multivariadas são importantes quando existem muitas interações entre as variáveis estudadas, como normalmente ocorre no ambiente do solo.

A análise multivariada, com base em variáveis canônicas, para avaliação do grau de similaridade entre os sistemas em gráficos de dispersão é uma técnica que apresenta a vantagem adicional de manter o princípio do processo de agrupamento com base na distância D^2 , de Mahalanobis, qual seja o de levar em conta as correlações residuais existentes entre as médias dos sistemas estudados (Cruz & Regazzi, 1997). A análise de dendrograma permite verificar o grau de similaridade entre variáveis ou tratamentos ou sistemas distintos.

Neste capítulo objetivou-se determinar o índice de qualidade do solo baseado nos valores de indicadores físicos, químicos e biológicos e submeter esses indicadores também a uma análise multivariada, com base em variáveis canônicas, em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob mata secundária e cultivado com café.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O índice de qualidade do solo (IQS) foi calculado a partir de uma modificação dos modelos propostos por Dilly & Blume (1998), citado por Abril & Bucher, (1999) e Burger & Keltling (1999). Os resultados médios de todas as épocas avaliadas de algumas variáveis físicas, químicas e biológicas, na profundidade de 0 a 10 cm, foram processados graficamente em um Qualigrama. Utilizou-se neste gráfico, apenas as variáveis cujos valores mais alto significa melhor qualidade, assim a densidade do solo, por exemplo, na qual valores superiores são desfavoráveis não foi incluída no gráfico. Dentre as variáveis químicas apenas a matéria orgânica foi incluída, em função das demais apresentarem tendências divergentes com os atributos físicos e biológicos, situação comum quando se comparam solos que estão submetidos à atividade agrícola intensiva e sofrem adubações e correções químicas constantes com solos sob vegetação natural, onde se observam reduções nos valores encontrados para indicadores biológicos associados à redução no conteúdo de matéria orgânica no solo sob cultivo e, concomitante, melhoria significativa nas variáveis químicas usadas como critério de fertilidade (Marchiori Júnior & Melo, 1999). Utilizou-se os valores das seguintes variáveis: matéria orgânica (MO), porosidade, agregados > 2mm (macroagregados), grau de floculação, carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), atividade de enzimas fosfatase e α -glicosidase, respiração, índice de Shannon (diversidade de fauna), totalizando 10 variáveis. Os dados foram transformados considerando o valor do sistema M40, usado como área de referência, como 1,0. As diferentes situações analisadas se expressaram em relação aos valores do controle para cada variável analisada. Assim, um solo que apresentar o somatório de todas os indicadores mais próximo de 1,0 mostraria melhor

qualidade, pois estaria mais próximo do solo tomado como padrão ou referência (M40). O IQS foi calculado utilizando-se a seguinte expressão:

$$IQS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Sai}{Spi} \right)$$

Onde:

n = número de indicadores

Sai = valor do indicador do sistema avaliado

Spi = variável do indicador do sistema padrão

Os dados de indicadores físicos, químicos e biológicos obtidos para a profundidade de 0-10 cm foram submetidos à análise multivariada, com base em variáveis canônicas, para avaliação do grau de similaridade entre os sistemas em gráficos de dispersão, utilizando 20 variáveis a saber: MO, pH, densidade de solo, densidade de partículas, argila dispersa em água, grau de floculação, microporosidade, macroporosidade, equivalente de umidade, CBM, quociente microbiano, NBM, respiração em laboratório, quociente microbiano, respiração em campo no solo e na serrapilheira, atividade de enzimas fosfatase e -glicosidase. A determinação da distância multivariada (Distância Generalizada de Mahalanobis) entre as médias dos valores das variáveis consideradas na análise de variáveis canônicas foi utilizada para construção do dendrograma de agrupamento pelo método do vizinho mais próximo entre as áreas e épocas estudadas, utilizando o programa Gene (Cruz, 1997).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O maior IQS foi encontrado no solo de mata secundária com 30 anos (M30) que correspondeu a 0,88 (Quadro 16) em relação ao sistema de referência que corresponde ao círculo central (Figura 18), seguidos pelos IQS calculados para os sistemas de café com 16 anos (C16) com 0,70 e café com 22 anos (C22) com apenas 0,56 (Quadro 16).

Para o sistema C22, o baixo IQS pode estar relacionado ao maior tempo de uso e ao manejo do solo que o mantém descoberto nas entrelinhas do café, durante parte do ano, deixando-o suscetível à degradação. O sistema C16 apresenta um tempo menor de uso que o C22 e pode ter sido favorecido pela recepa que sofreu antes das amostragens pela adição de resíduos orgânicos na superfície do solo e morte de raízes que contribuiu para a melhoria de alguns indicadores biológicos como a respiração e a diversidade de fauna edáfica, sendo que este último mostrou um valor superior a área de referência (M40). O sistema M30 mostrou valores de indicadores físicos bem próximos e uma diversidade da macrofauna edáfica superior a área padrão. De uma maneira geral, os indicadores biológicos mostraram ser mais sensível aos impactos dos sistemas com café, visto que foram mais afetados em relação ao sistema M40 tido como área de referência (Figura 19).

A análise da distribuição gráfica dos escores em um sistema de eixos cartesianos representados pelos dois primeiros componentes principais permitiu identificar pelo menos três comportamentos quanto à qualidade do solo entre os sistemas com base nas variáveis analisadas nas diferentes épocas amostradas (Figura 19).

Nos meses de janeiro e abril percebe-se a formação de dois grupos: um formado pelos sistemas com café e outro pelos sistemas com mata. Em julho, período mais seco, verificou-se a formação de um padrão um pouco diferente com formação de três grupos: o sistema M40 e

sistema C22 isolados e os sistemas M30 e C16 formando um outro grupo. No mês de outubro observou-se um comportamento bem distinto no qual os sistemas C16 e M40 estiveram próximos formando um grupo e os sistemas M30 e C22 mantiveram-se isolados (Figura 19). Isto demonstra que a qualidade do solo apresenta grande variabilidade espacial e temporal, pois os valores de seus indicadores variaram em função de variações climáticas, tipo de vegetação, dentre outros fatores.

Quadro 16. Valores de indicadores químicos, físicos e biológicos analisados em cada sistema em relação ao sistema de referência (M40)

	MO	P	Ag.	G.F	CBM	NBM	F	-GI	R	DF	Média
M40	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
M30	0,7	0,95	1,03	0,9	0,70	0,76	0,87	0,8	0,82	1,22	0,88
C16	0,55	0,92	0,98	0,94	0,4	0,4	0,4	0,65	0,63	1,12	0,70
C22	0,5	0,78	0,71	0,77	0,33	0,36	0,33	0,47	0,69	0,66	0,56

C16 – Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos
 MO – matéria orgânica. P – porosidade; Ag. – agregados > 2mm; F – floculação; -GI. – glicosidase; R – respiração e DF – diversidade de fauna

De certa forma, esse agrupamento separa os sistemas mais contrastantes. Assim, pode-se caracterizar que o sistema C22 encontra-se mais afastado, em todas as épocas avaliadas, comparativamente a área de referência, sendo considerado como o que causou maior modificação na qualidade do solo, logo porque é o sistema que foi submetido a uma maior degradação ou perdas de energia, uma vez que apresenta maior tempo de uso com pastagem e monocultivo onde não há incorporação de resíduos orgânicos. O sistema C16 manteve uma distância próxima ao sistema M30 no mês de julho e ao sistema M40 no mês de outubro, indicando menor grau de distúrbio deste ambiente em relação ao sistema C22, pelo menor tempo de manejo ou talvez devido a deposição de resíduos orgânicos por ocasião da recepa que este sistema sofreu alguns meses antes das amostragens, o que pode ter contribuído para amenizar os efeitos negativos causados pelo déficit hídrico nos períodos mais secos. A maior proximidade do tratamento M30 à área de referência, pode ser interpretada com uma tendência das matas atingirem um certo equilíbrio dinâmico com a idade, inerente ao processo de sucessão, pois o sistema M40 se encontra em um estágio mais avançado no processo de sucessão (Soares Junior, 2000). Trabalhos realizados por Lazari (2001) e Chaer (2001) constataram uma tendência à recuperação da qualidade em solos sob eucalipto com o avanço da idade do povoamento, tendo como referência uma mata nativa.

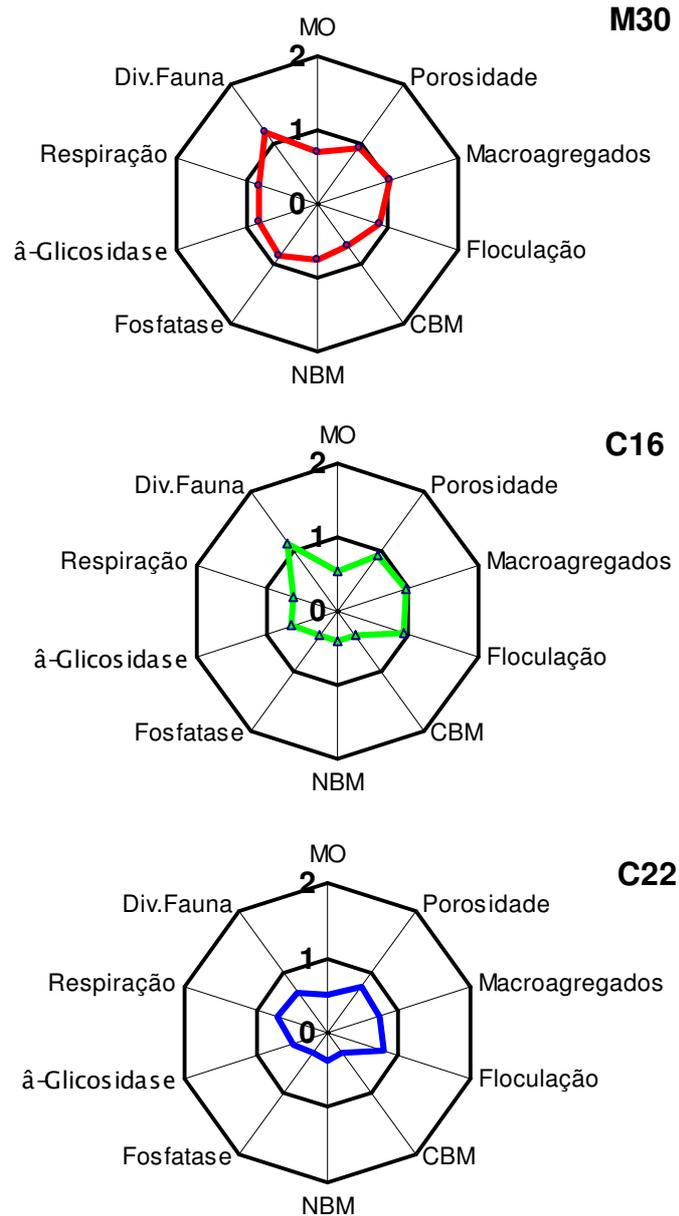


Figura 18 – Índice de qualidade de solos cultivado com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG.

C16 – Café com 30 anos; C22- Café com 22 anos; M30 - Mata com 30 anos;

MO – Matéria orgânica; CBM – carbono da biomassa microbiana; NBM – nitrogênio da biomassa microbiana.

1- Circulo que corresponde a área de referência (M40 – Mata com 40 anos).

A Figura 20 mostra a análise de distribuição gráfica das médias do quatro períodos amostrados nos sistemas estudados e ilustra bem esse fato. Percebe-se que os sistemas encontram-se mais ou menos equidistante entre si na seguinte ordem de qualidade de solo: M40 > M30 > C16 > C22.

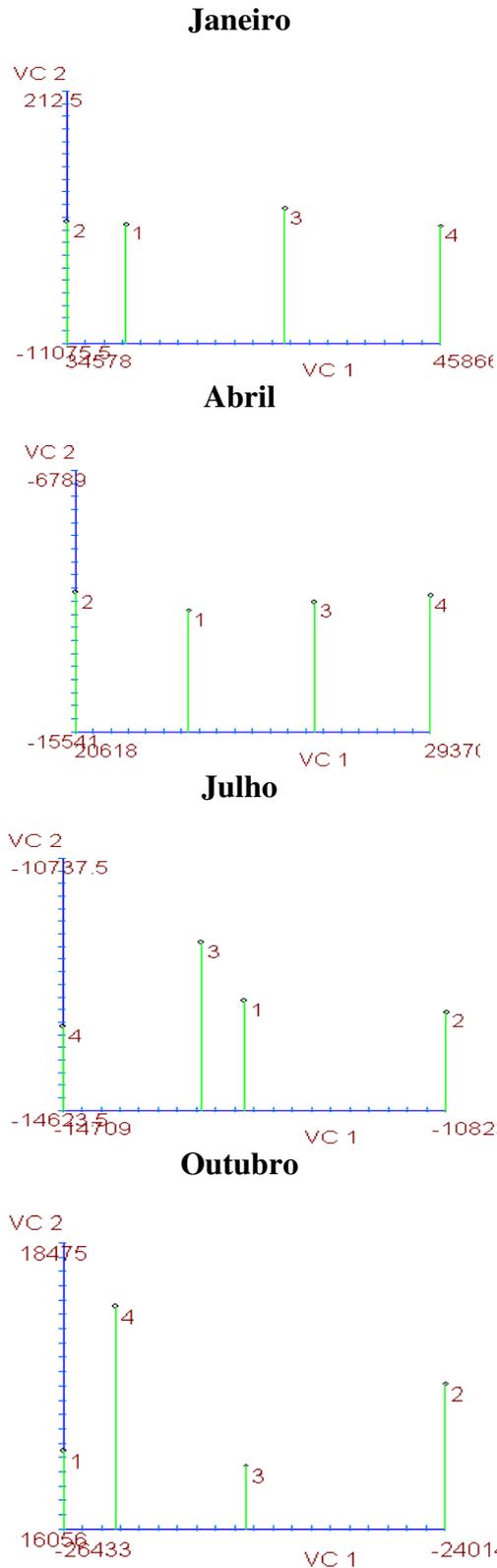


Figura 19 – Dispersão dos escores em diferentes períodos do ano em solos cultivado com café e sob mata secundária , tendo como base 20 variáveis, no município de Viçosa-MG.

1 - C16; 2 – C22 ; 3 – M30 e 4 – M40.

C16 – Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos.

Foi realizada ainda análise multivariada utilizando o método de agrupamento do vizinho mais próximo, que permite melhor visualização do agrupamento sugerido na análise por variáveis canônicas. Com base na matriz de Mahalanobis, utilizando as 20 variáveis da análise multivariada, foi montado um dendrograma de agrupamento, para as épocas estudadas (Figura 21). Este dendrograma permitiu a visualização dos mesmos grupos propostos pelas por variáveis canônicas. No mês de janeiro os sistemas C16 e C22 mostraram-se próximos entre si e distantes dos sistemas M30 e M40, demonstrando que no período chuvoso os sistemas de mata, por serem mais diversificados, tenderam a se afastar dos sistemas de café, pois no mês seguinte de menor abundância de chuva, ocorreu uma distancia uniforme entre estes dois grupos. Nos meses subsequentes o sistema C16 manteve-se mais próximos às áreas com mata, e o sistema C22 permaneceu distante do sistema de referência (M40), em todas as épocas avaliadas.

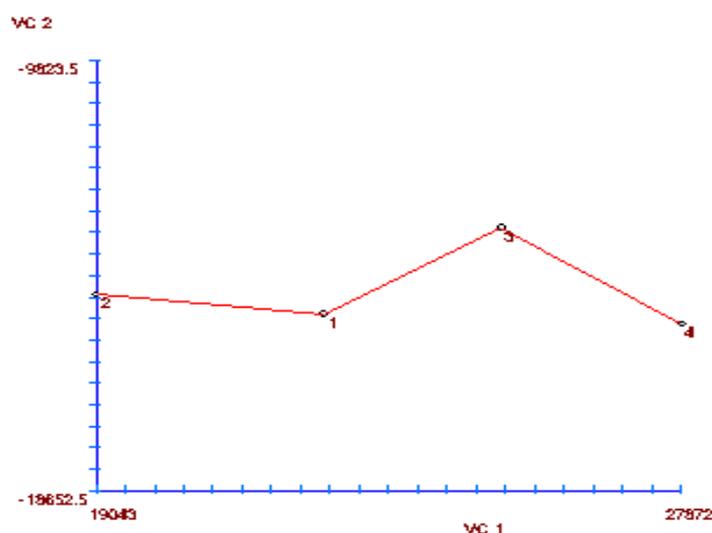


Figura 20 – Dispersão dos escores dos sistemas avaliados, em relação a dois componentes principais, tendo como base 20 variáveis. Média geral dos quatro períodos de avaliação.

1 - C16; **2** - C22 ; **3** - M30 e **4** - M40.

C16- Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40 - Mata com 40 anos

Isto comprova que a monocultura prolongada de café em solos de encosta com retirada total da vegetação original, mantendo-se as entrelinhas livres de resíduos orgânicos na maior parte do ano, mesmo que atinja boas produções, é um tipo de manejo que contribui para uma diminuição gradativa da qualidade de solo com o tempo, tornando-se um sistema menos sustentável, em função da perda de energia que eles experimentam, pois ocorre, entre outros efeitos, perdas de matéria orgânica, nutrientes, solo e água no sistema (Fernandes, 1986). Por

outro lado, os sistemas de mata tendem, com avanço da idade, a adquirir um equilíbrio maior, ou seja, contribuir para a maximização de valores dos indicadores de qualidade de solo.

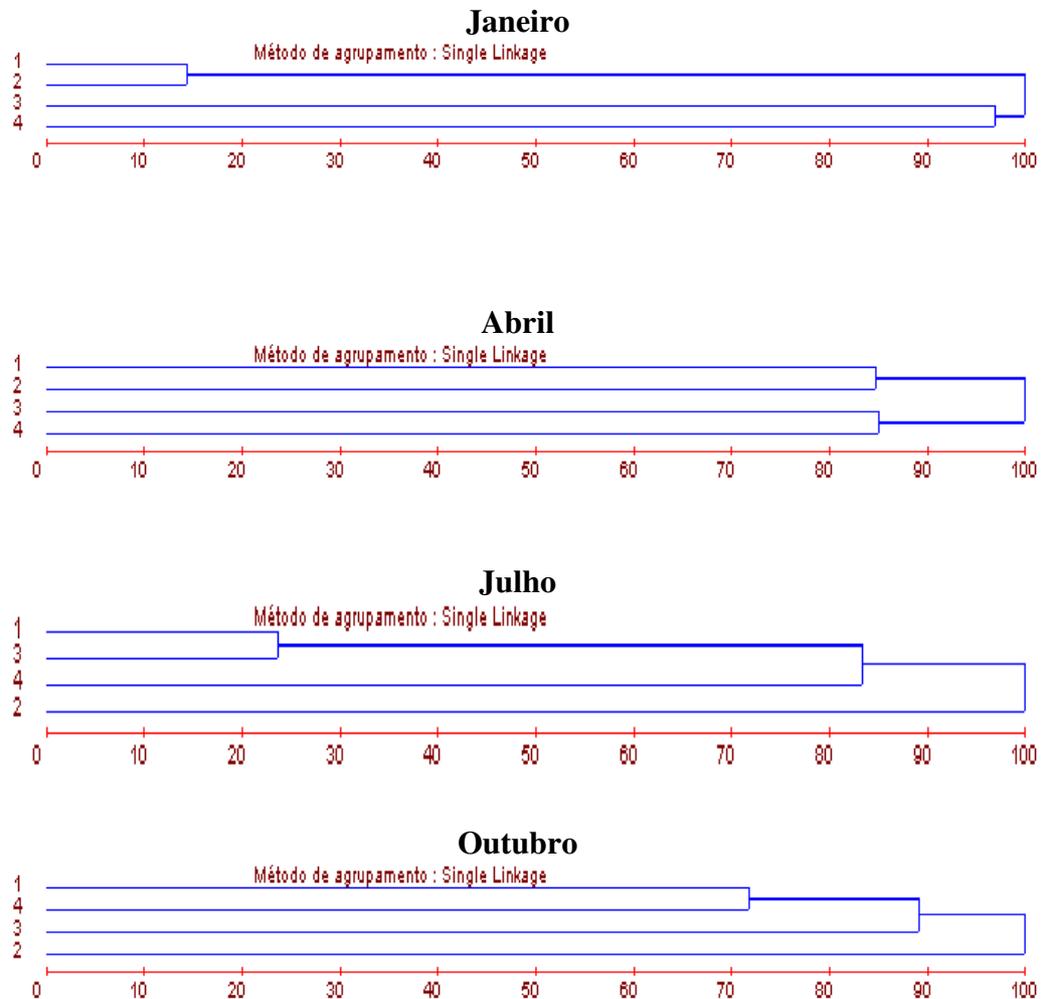


Figura 21 – Dendrograma de agrupamentos dos 4 tratamentos construído a partir da matriz quadrada de distâncias de Mahalanobis médias, obtidas por meio de 20 variáveis para a profundidade de 0-10cm.

1 - C16; **2** – C22 ; **3** – M30 e **4** – M40.

C16- Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40- Mata com 40 anos

4. CONCLUSÕES

Os indicadores biológicos mostraram-se ser bem mais sensíveis que os físicos para avaliar mudanças da qualidade do solo em monoculturas prolongadas. O modelo utilizado para a determinação do IQS e a análise multivariada por variáveis canônicas mostrou-se como ferramentas capazes para diagnosticar o efeito da mudança de vegetação nativa para monocultura de café sobre qualidade do solo.

O IQS permitiu quantificar e separar os sistemas avaliados em relação ao sistema tomado como referência (M40). O sistema café com 22 anos de cultivo mostrou-se mais afastado da área padrão sugerindo que as práticas de manejo adotadas não estão priorizando sustentabilidade desse sistema, uma vez que alteraram negativamente a maioria dos indicadores do solo.

As análises multivariadas por variáveis canônicas permitiram agrupar áreas de acordo com a sua semelhança, em relação a uma área de vegetação nativa, usada como referência, nas diferentes períodos avaliados. Isso demonstrou que a qualidade do solo apresenta grande variabilidade temporal, podendo os valores de seus indicadores variar de acordo com as condições climáticas. O avanço de cultivo de monoculturas contribuiu para aumentar as alterações na qualidade do solo, enquanto que, quanto maior a idade da mata, maior é a tendência de otimização dos indicadores de qualidade do solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRIL, A. & BURCHER, E. Son los microorganismos edáficos buenos indicadores del impacto de los sistemas productivos sobre el suelo?. In: XIV CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, Pucón. Trabalhos ..., CD-ROOM, Pucón., Sociedad Chilena de la Ciência Del Suelo, 1999.
- BURGER, J.A. & KELTING, D.L. Using soil quality indicators to asses Forest stand management. For Ecol. Manag., 122: 155-166, 1999.
- CHAER, G.M. Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos. Viçosa: UFV, 2001, 70p. (Tese de mestrado).
- CRUZ, C.D. & REGAZZI, A.J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV, 1997, 390p.
- CRUZ, C.D. Programa GENES – aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 1997, 442p.
- DIAS, L.E. Uso de Indicadores de qualidade de solos no monitoramento de processos de recuperação de áreas degradadas. Viçosa: SBCS, 27 (1): 06-08, 2002 (Boletim informativo).
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W. COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Sci. Soc Am., 1994, p. 3-21. (Special Publication, 35).
- FERNANDES, D.R. Manejo do cafezal. In: RENA, A.B. ; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. Cultura do cafeeiro, fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, Potafós, 1986, p. 275-301.

- LAZARI, M.F. Nitrificação em solos sob plantações de eucaliptos com diferentes idades. Viçosa UFV, 2001, 50p. (Tese de mestrado)
- MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. R. Bras. Ci. Solo, 23: 257-263, 1999.
- SOARES JÚNIOR, F.J. Composição florísticas e estrutura de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual na Fazenda Tico-Tico, Viçosa-MG. Viçosa: UFV, 2000, 68p. (Tese de mestrado).
- STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. Soil Plant Sci, 49: 1-24, 1999.

APÉNDICE

Quadro 1A - Carbono da biomassa microbiana (CBM), carbono orgânico (CO) e quociente microbiano ($qMIC$) de solos sob plantio de café e em matas secundárias adjacentes

Manejo	CBM				CO				$Qmic$			
	----- $\mu g\ g^{-1}$ de solo-----								-----%-----			
	Jan.	Abr.	Jul	Out.	Jan.	Abr.	Jul	Out.	Jan.	Abr.	Jul	Out.
C16	376,34 c	249,88 c	202,80 c	344,40 c	304,30 c	316,30 c	296,90 c	271,70 c	1,24 ab	0,79 b	0,68 b	1,27 ab
C22	294,90 d	199,54 c	172,32 c	276,20 c	280,30 c	284,60 c	297,90 c	298,10 b	1,06 b	0,70 b	0,58 b	0,93 b
M30	523,50 b	536,20 b	404,14 b	540,72 b	385,70 b	408,10 b	379,60 b	391,50 ab	1,36 a	1,32 a	1,08 ab	1,39 a
M40	790,30 a	685,71 a	641,84 a	780,03 a	552,10 a	501,70 a	482,70 a	510,20 a	1,43 a	1,36 a	1,33 a	1,52 a

C16 – Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos

* Valores seguidos de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Quadro 2A - Atividade das enzimas fosfatase ácida, β -glicosidase e uréase em amostras de solos sob plantio de café e de áreas com matas secundárias adjacentes

Manejo	Fosfatase Ácida**				β -glicosidase**				Uréase***			
	Jan.	Abr.	Jul	Out.	Jan.	Abr.	Jul	Out.	Jan.	Abr.	Jul	Out.
C16	644,91 c	429,60 b	294,53 b	319,94 b	366,69 c	333,50 b	217,48 b	355,28 a	33,95 a	12,36 b	8,08 b	31,70 ab
C22	657,62 c	423,95 b	266,70 b	311,91 b	264,74 d	221,69 c	160,52 b	251,65 a	32,13 a	14,57 b	10,00 ab	48,65 a
M30	1261,73 b	1094,16 a	1000,47 a	1007,35 a	508,01 b	378,18 b	246,28 ab	422,00 a	33,28 a	21,60 a	16,10 a	34,51 ab
M40	1476,46a	1164,41 a	1035,27 a	1335,64 a	579,16 a	500,46 a	420,97 a	454,26 a	21,35 b	20,44 a	12,77 ab	27,06 b

C16 – Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos

* Valores seguidos de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

** Valores em μg de p -nitrofenol g^{-1} de solo h^{-1}

*** Valores em μg de amônio g^{-1} de solo h^{-1}

Quadro 3A - Nitrogênio da biomassa microbiana em amostra de solos cultivado com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG

Tratamento	Janeiro	Abril	Julho	Outubro
	----- $\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1}$ de solo-----			
C16	29,75 c	29,12 b	17,14 c	28,06 b
C22	23,28 c	27,70 b	19,16 c	20,01 c
M30	55,17 b	52,35 a	36,05 b	49,47 ab
M40	73,19 a	66,90 a	46,49 a	67,77 a

C16 – Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos

* Valores seguidos de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Quadro 4A - Atividade respiratória basal em laboratório e quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) em amostra de solos cultivado com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG

Tratamento	Respiração				$q\text{CO}_2$			
	Jan.	Abr.	Jul	Out.	Jan.	Abr.	Jul	Out.
	----- $\mu\text{g de CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{d}^{-1}$ de solo-----				----- $\mu\text{g de CO}_2 \mu\text{g biomassa}^{-1}\text{d}^{-1}$ -----			
	--							
C16	82,45 c	69,62 b	17,82c	42,34 b	0,24 ab	0,28 b	0,09 a	0,11 ab
C22	85,41 c	74,10 b	24,37bc	50,10 ab	0,29a	0,37 a	0,14 a	0,18 a
M30	102,79b	80,14ab	35,05b	61,01 ab	0,19 bc	0,15 c	0,09 a	0,11 ab
M40	115,73a	92,54a	58,49a	71,55 a	0,15 c	0,13 c	0,09 a	0,08 b

C16 – Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos

* Valores seguidos de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Quadro 5A - Atividade biológica do solo em campo em serrapilheira e solo em sistemas cultivado com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG

Sistemas	Janeiro		Abril		Julho		Outubro	
	Serrap.	Solo	Serrap.	Solo	Serrap.	Solo	Serrap.	Solo
	----- $\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ -----							
C16	748,00 a	447,47 a	162,07bc	162,07ab	110,38 b	112,39 b	585,53a	398,30 a
C22	498,11 b	384,37 a	136,48c	125,44b	109,38 b	103,36 b	450,40ab	376,22 a
M30	427,54 b	354,49 a	217,26ab	204,72a	174,61 a	162,57 a	351,50 b	309,98 a
M40	488,11 b	404,30 a	228,28a	202,10a	160,56 a	152,53 a	419,50b	409,78 a

C16 – Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos

* Valores seguidos de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Quadro 6A - Variação sazonal e média da diversidade de grupos taxonômicos segundo o índice de Shannon em sistemas com café e sob mata secundária, no município de Viçosa-MG

Sistema	Janeiro	Abril	Julho	Outubro	X
C16	2,90	3,13	2,08	1,53	2,41 a
C22	0,66	2,21	1,95	0,85	1,42 b
M30	2,87	2,77	2,38	2,47	2,62 a
M40	2,47	2,51	1,43	2,16	2,14 a

C16 – Café com 30 anos ; C22- Café com 22 anos ; M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos

* Valores seguidos de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%