



**CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS ORGÂNICOS DE
PRODUÇÃO DE CAFÉ UTILIZADOS POR
AGRICULTORES FAMILIARES EM POÇO
FUNDO/MG**

MÁRCIA MARTINS

2003

MÁRCIA MARTINS

**CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS ORGÂNICOS DE PRODUÇÃO DE
CAFÉ UTILIZADOS POR AGRICULTORES FAMILIARES EM POÇO
FUNDO-MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Lavras como parte das exigências do Programa
de Pós-graduação em Agronomia, área de
concentração Fitotecnia, para obtenção do título
de “Doutor”.

Orientador:
Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Martins, Marcia

Caracterização de sistemas orgânicos de produção de café utilizados por agricultores familiares em Poço Fundo-MG / Márcia Martins. -- Lavras : UFLA, 2003.

190 p. : il.

Orientador: Antônio Nazareno Guimarães Mendes

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Café orgânico. 2. Agricultura orgânica. 3. Agricultura familiar. 4. Solo - Característica física, química e microbiológica. 5. Praga. 6. Doença. 7. Nutrição vegetal. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-574.5264
-633.73

MÁRCIA MARTINS

**CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS ORGÂNICOS DE PRODUÇÃO DE
CAFÉ UTILIZADOS POR AGRICULTORES FAMILIARES EM POÇO
FUNDO-MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Lavras como parte das exigências do Programa
de Pós-graduação em Agronomia, área de
concentração Fitotecnia, para obtenção do título
de “Doutor”.

APROVADA em 13 de agosto de 2003

Dra. Maria Inês Nogueira Alvarenga	EPAMIG
Dr. Carlos Alberto Spaggiari Souza	CEPLAC
Dr. Samuel Pereira de Carvalho	UFLA
Dra. Sara Maria Chalfoun de Souza	EPAMIG

Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

Dedico,

Ao grande companheiro ALEXANDRE
e aos nossos queridos filhos
DANIEL e DIEGO

A meus amados pais

A todos os agricultores familiares

AGRADECIMENTOS

A todos os produtores familiares do município de Poço Fundo-MG, especialmente aos senhores e senhoras: Donizete e Maria do Carmo, Luis Carlos e Rosângela, Lourenço e Adriana, Adalton, José Antônio, Messias e Maria Joana, Vicente e Lizete, Célio, Júlio, Avair e Rosana, Francisco e Maria, e a todos seus familiares.

Ao Alexandre, pelos momentos que teve de ser pai e mãe ao mesmo tempo, e ao Daniel e Diego pela ‘paciência da espera.’

Ao Sirlei, pela amizade e pelo grande apoio no processo de levantamento de dados deste trabalho e ao Sebastião (Tebinha).

A meus pais José e Myltes pelo carinho e apoio. A meus sogros Roberto e Rita.

Aos meus irmãos Júnior e Renato pelo carinho. As (aos) cunhadas (os) e sobrinhas (os). A minha irmã Cristina pelo carinho, pelos conhecimentos lingüísticos e pela colaboração na revisão desta tese.

Ao Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes e à Dra. Maria Inês Nogueira Alvarenga, pelas orientações e amizade, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e para a vida profissional.

Ao amigo Dr. Marcos Affonso Ortiz Gomes, pelo incentivo e sugestões.

Ao Dr. Eduardo Van der Berg, pelos ensinamentos sobre análises multivariadas.

Ao CNPq, pela bolsa concedida.

À UFLA, especialmente aos profissionais do Departamento de Ciência do Solo e Departamento de Agricultura.

Ao Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto, pois sem o seu apoio seria impossível a realização desta pesquisa.

Ao Dr. Carlos Alberto Spaggiari, Dr. João Batista Donizeti Correa (*in memorian*), Dr. Gabriel José de Carvalho, Dr. Samuel Pereira de Carvalho, pelas sugestões e amizade.

Aos pesquisadores da EPAMIG – Centro Tecnológico do Sul de Minas.

Ao CEPECAFÉ e ao NECAF.

À Associação de Certificação Instituto Biodinâmico – IBD.

Ao Instituto ELO, especialmente à Elisa e ao Fernando.

Aos amigos Eliana, Waléria, Gu, Renata, Daniel, Simone, Passarinho, Barbacena, Helô, Carol, João Argenta, Gisele e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Somos feitos de
Sol,
Chuva,
Terra
por intermédio das plantas.

mas
O homem alterou a luz do sol
estragando a camada de ozônio
e poluindo a atmosfera com gás carbônico

O homem alterou as chuvas
desmatando indiscriminadamente

O homem destruiu a terra
com máquinas pesadas, adubos químicos
e agrotóxicos
O homem destruiu as plantas pela modificação genética.

E agora
O que será de nós?

*(Dizeres dos índios bolivianos, citados em palestra proferida pela
Dra. Ana Primavesi)*

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

- AAO – Associação de Agricultura Orgânica
- ABIO – Associação dos Agricultores Orgânicos do Rio de Janeiro
- ANC – Associação de Agricultura Natural de Campinas e Região
- APAN – Associação dos Produtores de Agricultura Natural
- BCS – BCS Öko-Garantie GMBH (Control System Peter Grosch)
- CHÃO VIVO – Associação de Certificação de Produtos Orgânicos do Espírito Santo
- CMO – Certificadora Mokiti Okada
- COOLMEIA – Cooperativa Ecológica Coolméia
- COORGÂNICA JEQUITIBÁ – Cooperativa Brasileira de Produtores Orgânicos Jequitibá
- DAP – Deutscher Akkreditierungssystem Prufwesen
- DAR – Deutscher Akkreditierungs Rat
- DOK – Biologisch-dynamisch, organisch-biologisch and konventionell
- ECOCERT – ECOCERT Brasil
- EMATER – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais
- FAL – Instituto de Pesquisas em Agroecologia (Zürich – Reckenholz)
- FiBL – Instituto de Pesquisa em Agricultura Orgânica (Suíça)
- FLO – Fair Trade Labelling Organizations International
- FVO – Farm Verified Organic
- IBC – Instituto Brasileiro de Café
- IBD – Instituto Biodinâmico
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IFOAM – International Federation of Organic Agriculture
- IMO – The Institute of Marketecology

IN – Instrução Normativa

JAS – Sistema de Certificação de Alimentos do Japão

MINAS ORGÂNICA – Associação Mineira para Certificação de Produtos
Orgânicos

MCE – Mercado Comum Europeu

OIA – Organização Internacional Agropecuária

ONG – Organização Não Governamental

REDE ECOVIDA – Rede Ecovida de Agroecologia

SAPUCAI – Certificadora Sapucaí

SKAL – Skal Brasil Control Union

UFLA – Universidade Federal de Lavras

USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Agroecologia e agroecossistemas.....	3
2.1.1 Agricultura Orgânica.....	4
2.1.2 Agricultura Biodinâmica.....	8
2.1.3 Agricultura Biológica ou Agrobiológica.....	9
2.1.4 Permacultura.....	9
2.1.5 Agricultura Natural.....	9
2.1.6 Os sistemas de certificação.....	10
2.2 O solo.....	11
2.2.1 Propriedades físicas do solo.....	12
2.2.2 Propriedades químicas do solo.....	16
2.2.3 Propriedades microbiológicas do solo.....	27
2.2.4 Adubação verde.....	36
2.3 Estado nutricional do cafeeiro.....	40
2.4 Pragas e doenças.....	46
2.4.1 Bicho-mineiro do cafeeiro (<i>Leucoptera coffeella</i> – Guérin – Mêneville, 1842 – Leucoptera: Lyonetiidae).....	48
2.4.2 Broca-do-café (<i>Hypothenemus hampei</i> – Ferrari, 1867 – Coleoptera: Scolytidae).....	54
2.4.3 Cercosporiose (<i>Cercospora coffeicola</i> Berk e Cook).....	57
2.4.4 Ferrugem (<i>Hemileia vastatrix</i> Berk e Br).....	59
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	64
3.1 O município de Poço Fundo/MG.....	64
3.2 Agroecossistemas amostrados.....	66
3.2.1 Agroecossistema I – Bairro Cardoso.....	68
3.2.2 Agroecossistema II – Bairro Cardoso.....	69
3.2.3 Agroecossistema III – Bairro Dourado dos Lopes.....	70
3.3 Descrição dos métodos de amostragem e análises laboratoriais.....	71
3.3.1 Propriedades químicas do solo.....	72
3.3.2 Propriedades físicas do solo.....	73
3.3.3 Propriedades microbiológicas do solo.....	75
3.3.4 Análises foliares.....	79
3.3.5 Pragas e doenças.....	80
3.3.6 Delineamento experimental e análises estatísticas.....	82
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85
4.1 Características físicas do solo nos agroecossistemas de cafeeiros sob manejo orgânico.....	85

4.1.1 Densidade do solo (DS); Porosidade total (PT), Macroporosidade (Macro) e Microporosidade do solo (Micro)	85
4.1.2 Umidade atual e textura do solo.....	92
4.2 Propriedades químicas do solo nos diferentes agroecossistemas	93
4.2.1 Fósforo no solo (P).....	93
4.2.2 Potássio no solo (K).....	98
4.2.3 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) no solo.....	101
4.2.4 Acidez ativa (pH), Alumínio trocável (Al ⁺³), Acidez potencial (H+Al) e Saturação por alumínio (m).....	104
4.2.5 CTC efetiva (t) e CTC a pH 7,0 (T).....	108
4.2.6 Soma de bases (SB), saturação por bases (SV) e matéria orgânica (MO)....	111
4.2.7 Enxofre no solo (S).....	115
4.2.8 Ca/Mg	117
4.2.9 Micronutrientes no solo: B, Cu, Fe, Mn e Zn.....	119
4.3 Propriedades biológicas do solo.....	125
4.3.1 Biomassa de carbono (biomassa microbiana)	125
4.3.2 Respiração do solo	128
4.3.3 Taxa de colonização e fungos micorrízicos arbusculares.....	131
4.4 Diagnose Foliar: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Boro (B), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Manganês (Mn) e Ferro (Fe).....	137
4.5 Pragas e doenças	145
4.5.1 Bicho mineiro do cafeeiro (<i>Leucoptera coffeella</i> - Guérin-Mèneville, 1842 – Lepidoptera: Lyonetiidae).....	145
4.5.2 Broca-do-café (<i>Hypothenemus hampei</i> – Ferrari, 1867 – Coleoptera: Scolytidae)	148
4.5.3 Ferrugem do cafeeiro (<i>Hemileia vastatrix</i> Berk & Br.)	150
4.5.4 Cercospora nas folhas e nos frutos do cafeeiro (<i>Cercospora coffeicola</i> Berk & Cooke).....	153
4.6 Alterações das propriedades do solo	159
4.6.1 Avaliação das propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo	159
4.6.2 Avaliação das propriedades químicas do solo e folha.....	162
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	168
6 CONCLUSÕES	171
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	173
ANEXOS	188

RESUMO

MARTINS, Márcia. **Caracterização de sistemas orgânicos de produção de café utilizados por agricultores familiares em Poço Fundo-MG.** 2003. 190 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Objetivando a caracterização de três agroecossistemas de produção de café orgânico, avaliaram-se as propriedades químicas, físicas e microbiológicas do solo, incidência de pragas e doenças, nutrição das plantas e produtividade. Os agroecossistemas, conduzidos por agricultores familiares, situam-se em Poço Fundo-MG. Esta pesquisa foi conduzida por dois anos, sendo as amostras de solo e folha coletadas nos períodos chuvoso e seco e a determinação da incidência de pragas e doenças, a partir de levantamentos mensais. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com três repetições para cada amostra de solo e folha. A amostragem de solo foi realizada em três profundidades (0-10, 10-20 e 20-40 cm) para levantamento das propriedades físicas e químicas e a 0-10 cm para as microbiológicas. A proposta desta pesquisa foi de caracterizar esses agroecossistemas sem interferir na sua forma de manejo, priorizando consolidar o conhecimento local na lógica do sistema de produção. Observou-se que os agroecossistemas apresentaram boa estruturação do solo, provavelmente devido à não mecanização das áreas e à constante reposição de matéria orgânica ao solo. Em relação às propriedades químicas do solo e à nutrição dos cafeeiros pode-se observar que mesmo quando determinados nutrientes do solo apresentaram-se fora do nível adequado para a cultura, a nutrição vegetal estava adequada, como por exemplo, para o B, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, S e Zn. O teor de P, a 0-10 cm no solo, apresentou-se dentro do nível adequado para a cultura, estando abaixo deste nas profundidades 10-20 e 20-40 cm, porém os teores foliares desse nutriente apresentaram-se acima do nível considerado adequado. O teor de K, tanto nas três profundidades do solo quanto nas folhas, apresentou-se abaixo do recomendado. A matéria orgânica do solo apresentou teor médio nas profundidades 0-10 e 10-20 cm e, praticamente, teores baixos na profundidade 20-40 cm. O teor de N foliar manteve-se dentro do nível de adequação. A biomassa de carbono e a taxa de colonização micorrízica não apresentaram diferenças significativas entre os agroecossistemas. Quanto à respiração do solo, pode-se constatar que o agroecossistema III apresentou maior atividade microbiana. Em relação aos fungos micorrízicos arbusculares identificados, observou-se maior frequência dos gêneros *Glomus* e *Paraglomus* nos agroecossistemas, sendo que o gênero *Acaulospora* apresentou maior

* Comitê Orientador: Antônio Nazareno Guimarães Mendes – UFLA (Orientador), Maria Inês Nogueira Alvarenga – EPAMIG (Co-orientadora)

incidência no agroecossistema II. A infestação por bicho-mineiro ultrapassou 20% no terço superior (principalmente no período seco). A infestação por broca atingiu o nível de dano somente no agroecossistema I em 2001 e no agroecossistema III em 2002. A ferrugem no agroecossistema III não atingiu nível de dano devido à tolerância da cultivar ('Icatu Amarelo') à infecção por esse fungo. Porém nos agroecossistemas I e II ('Catuaí Vermelho') a infecção na lavoura atingiu elevados níveis. A infecção por cercóspora em folhas e frutos atingiu níveis elevados (período seco) em todos os agroecossistemas. A produtividade do agroecossistema I em 2001 foi de 8,5 sc/ha e em 2002 de 39,0 sc/ha, no agroecossistema II em 2001 foi de 7,0 sc/ha e em 2002 de 21,5 sc/ha e no agroecossistema III foi praticamente zero em 2001 e em 2002 de 33,5 sc/ha.

ABSTRACT

MARTINS, Márcia. **Characterization of organic systems of coffee crop utilized by familiar farmers in Poço Fundo-MG.** 2003. 190 p. Thesis (PhD in Crop Science) - Federal University of Lavras, MG.*

Having as an aim the characterization of three agricultural ecosystems of organic coffee crop one evaluated the chemical, physical and microbiological properties of the soil, plagues and disease incidence, plant nutrition and field. The agricultural ecosystems carried out by familiar farmers are located in Poço Fundo-MG. This research has been developed for two years and the soil and leaf samples were collected during the rainy and dry periods and the determination of plague and disease incidence from monthly raising. One used an entirely randomized outline with three repetitions for each soil and leaf samples. The soil sampling was performed at three depths (0-10, 10-20 and 20-40 cm) for raising the physical and chemical properties and at 0-10 cm for the microbiological ones. The proposal of this research was to characterize these agricultural ecosystems without interfering on their way of handling, prioritizing to consolidate the local knowledge in the yield system logics. One observed that the agricultural ecosystems have presented good structure on the soil, most probably due to the non-mechanization of the areas and the frequent replacement of organic material to the soil. Concerning the soil chemical properties and nutrition of the coffee plants one can observe that even when certain soil nutrients have presented to be out of the correct level for the culture, the vegetal nutrition was adequate, as for example, for B, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, S and Zn. The amount of P at 0-10 cm on the soil has presented within the adequate level for the culture, being below these at the depths 10-20 and 20-40 cm, however the foliar amounts of this nutrient have presented to be above the level considered adequate. The amount of K at the three depths of soil as well as in the leaves has presented to be below the recommended. The organic material of the soil has presented medium amount at the depths 0-10 and 10-20 cm and, practically, low amounts at the depth 20-40 cm. The amount of foliar N has remained within the adequate level. The carbon biomass and the rate of micorrizic colonization did not present significative differences among the agricultural ecosystems. From the results of soil respiration it can be inferred that the agricultural ecosystem III has presented greater microbic activity. With relation to the identified arbuscular micorrizic fungi, one observed a greater frequency of the *Glomus* and *Paraglomus* types in the agricultural ecosystems, and the type *Acaulospora* has present greater incidence in the agricultural ecosystem III. The infestation for

* Advising committee: Antônio Nazareno Guimarães Mendes - UFLA (Advisor), Maria Inês Nogueira Alvarenga - EPAMIG (Co-advisor)

leaf miner has passed over 20% in the upper third (mainly during the dry period). The infestation by borers has reached the damage level only in the agricultural ecosystem I in 2001 and agricultural ecosystem III in 2002. The leaf rust in agricultural ecosystem III did not reach the damage level due to the tolerance of the cultivar ('Yellow Icatu') to the infection by this fungus, however, the agricultural ecosystems I and II ('Red Catuai') the infection in the agriculture has reached high levels. The infection for cercospora on leaves and fruits has reached high levels (dry period) in all agricultural ecosystems. The yield of the agricultural ecosystem I in 2001 was of 8,5 sc/ha and in 2002 of 39,0 sc/ha, in the agricultural ecosystem II in 2001 was of 7,0 sc/ha and in 2002 of 21,5 sc/ha and in agricultural ecosystem III was practically zero in 2001 and in 2002 was of 33,5 sc/ha.

1 INTRODUÇÃO

O atual modelo produtivo empregado na agricultura enfrenta desafios principalmente em relação à sustentabilidade do sistema de manejo. A adoção de práticas (pacotes tecnológicos) oriundas da Revolução Verde conduziu, principalmente, ao desequilíbrio ambiental. Não se pode negar que o emprego dos pacotes tecnológicos na cafeicultura culminou com um aumento de produção e produtividade, mas também não se pode negar que causaram e causam enormes danos ao meio ambiente e ao homem. A utilização dos chamados “pacotes tecnológicos” também colaborou para o aumento das desigualdades sociais no campo. Ou seja, desigualdades sociais acentuadas pela dificuldade dos agricultores, principalmente familiares, de se integrarem nas cadeias produtivas ocasionando, em determinados casos, o êxodo rural.

Uma das alternativas ao atual modelo produtivo (convencional) é a adoção de práticas de agricultura voltadas para o manejo orgânico, buscando-se empregar técnicas que conduzam à sustentabilidade do agroecossistema e que sejam condizentes com os princípios, conceitos e metodologias apresentados pela Agroecologia. Basicamente, a sustentabilidade dos agroecossistemas, dentro do organismo agrícola, pode ser alcançada a partir da integração da produção vegetal à produção animal, ao homem e aos recursos naturais.

Assim como todo cultivo orgânico, a cafeicultura orgânica deve fundamentar-se na Agroecologia, ou seja, direcionar-se para o enfoque agroecológico. O enfoque agroecológico, segundo Caporal & Costabeber (2002a), traz consigo as ferramentas teóricas e metodológicas que auxiliam a considerar, de forma holística e sistêmica, as seis dimensões da sustentabilidade: a Ecológica, a Econômica, a Social, a Cultural, a Política e a Ética.

A partir desses princípios, esta pesquisa foi desenvolvida em agroecossistemas de agricultores familiares do município de Poço Fundo, localizado no sul do Estado de Minas Gerais. Os agroecossistemas, atualmente com cultivo orgânico de café, foram implantados e conduzidos sob o conhecimento de cada um dos agricultores e através de troca de experiências entre eles e com o grupo. Os agricultores envolvidos nesta pesquisa fazem parte, junto com mais 43 produtores familiares de café orgânico, da Associação de Pequenos Produtores de Poço Fundo.

Os agroecossistemas pesquisados estão sob manejo orgânico, basicamente, desde 1997. A proposta deste estudo foi de caracterizar essas áreas sem interferir, ou interferindo o mínimo possível, na sua forma de manejo, priorizando consolidar o conhecimento local na lógica do sistema de produção, respeitando acima de tudo a diversidade cultural.

Como forma de integrar o conhecimento científico ao conhecimento local objetivou-se caracterizar os agroecossistemas, num período de dois anos, a partir da avaliação:

- das propriedades químicas, físicas e microbiológicas do solo e do estado nutricional dos cafeeiros, em quatro épocas de amostragem, diferenciando o período chuvoso do seco, em cada ano;
- da incidência de pragas e doenças, a partir de levantamentos mensais;
- do levantamento da produtividade de cada agroecossistema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Agroecologia e agroecossistemas

O uso contemporâneo do termo agroecologia data dos anos 70, mas a ciência e a prática da agroecologia têm a idade da própria agricultura. A agroecologia enfoca as relações ecológicas no campo e o seu objetivo é iluminar a forma, a dinâmica e a função destas relações. Em alguns trabalhos agroecológicos está implícita a idéia de que através da compreensão destes processos e relações, os agroecossistemas podem ser manipulados para produzir melhor, com menores impactos negativos ambientais e sociais, mais sustentabilidade e menos insumos externos (Hecht, 1985, citado por Altieri, 1989). A diretriz da agroecologia é a de planejar agroecossistemas que se comparem em estabilidade e produtividade aos ecossistemas naturais (Cox & Atkins, 1979 citados por Altieri, 1989).

Para que entenda-se o que é um agroecossistema, cabe definir primeiramente o ecossistema. O Ecossistema é um sistema funcional de relações complementares entre organismos vivos e seu ambiente, delimitado por fronteiras escolhidas arbitrariamente, as quais, no espaço e no tempo, parecem manter um equilíbrio dinâmico, porém estável. Assim, um ecossistema tem partes físicas com suas relações particulares – a estrutura do sistema -, que juntas participam de processos dinâmicos – a função do sistema. Os componentes estruturais mais básicos dos ecossistemas são fatores bióticos, organismos vivos que interagem no ambiente, e fatores abióticos, componentes químicos e físicos não vivos do ambiente, como solo, luz, umidade e temperatura. Um agroecossistema é um local de produção agrícola – uma propriedade agrícola,

por exemplo – compreendido como um ecossistema. O conceito de agroecossistema proporciona uma estrutura com a qual podemos analisar os sistemas de produção de alimentos como um todo, incluindo seus conjuntos complexos de insumos e produção e as interconexões entre as partes que os compõem (Gliessman, 2001).

Segundo Altieri (1989), todo produtor deve manipular os recursos físicos e biológicos de sua propriedade para a produção. Dependendo do grau de modificação de tecnologia, estas atividades afetam quatro processos ecológicos principais: processos energéticos, hídricos, bioquímicos e de equilíbrio biótico. Cada um pode ser avaliado em termos de entrada (insumos), saídas (exportação, produção), armazenamento e transformação.

Pode-se citar, considerando o enfoque holístico da Agroecologia, diferentes correntes ou métodos de agricultura que visam a sustentabilidade do agroecossistema, tais como: agricultura biodinâmica, agricultura orgânica, agricultura biológica ou agrobiologia, permacultura e a agricultura natural. Segundo Deffune (2002), outras correntes não menos importantes existem, seguem os mesmos princípios orgânicos ou biológicos e se enquadram, do ponto de vista técnico, nas categorias citadas ou nas denominações “ecológica”, “regenerativa” e por fim “sustentável”.

2.1.1 Agricultura Orgânica

A agricultura orgânica está fundamentalmente ligada ao trabalho dos agrônomos ingleses, Lady Eve Balfour – agricultora e fundadora da Soil Association e Sir. Albert Howard (Howard, 1940 citado por Deffune, 2002), investigador que entre as décadas de 20 e 40 desenvolveu métodos pioneiros de compostagem controlada, durante seu período de trabalho em Indore, Índia. Sua base mestra é a manutenção da fertilidade do solo e da sanidade geral de plantas

e animais pela adubação orgânica, diversificação e rotação de culturas. Segundo Scofield (1986), citado por Deffune (2002), o nome ‘orgânica’ teve origem na proposta do agricultor biodinâmico inglês, Lord Northbourne, de que a nova agricultura proposta deveria ser definida com um enfoque e concepção das unidades agrícolas como organismos, uma idéia original de Rudolf Steiner. Esta denominação foi aceita em consenso em Howard e Balfour, sendo a mais difundida mundialmente através da fundação em 1972 da IFOAM – Federação Internacional de Movimentos de Agricultura Orgânica, que congrega todas as correntes aqui mencionadas (Deffune, 2002).

Considera-se sistema orgânico de produção agropecuária e industrial todo aquele em que se adotam tecnologias que otimizem o uso de recursos naturais e socioeconômicos, respeitando a integridade cultural e tendo por objetivo a auto-sustentação no tempo e no espaço, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energias não renováveis e a eliminação do emprego de agrotóxicos e outros insumos artificiais tóxicos, organismos geneticamente modificados, ou radiações ionizantes em qualquer fase do processo de produção, armazenamento e consumo, e entre os mesmos, privilegiando a preservação da saúde ambiental e humana, assegurando a transparência em todos os estádios da produção e da transformação (Brasil, 1999).

A agricultura orgânica deve promover e estimular a biodiversidade, os ciclos biológicos e atividade biológica do solo. Baseia-se no uso mínimo de insumos externos e em métodos que recuperem, mantenham e promovam a harmonia ecológica. O cultivo orgânico deve empenhar-se em desenvolver um solo saudável, fértil e rotações de culturas sadias. Desse modo, a propriedade agrícola permanecerá biologicamente equilibrada, com ampla variedade de insetos úteis e outros organismos que agem como predadores naturais de pragas, e, um solo pleno de microorganismos e minhocas que mantêm a sua vitalidade.

Se for necessário adotar medidas diretas de controle para evitar sérios danos às culturas, podem-se usar diferentes agentes (por exemplo, extratos de *Neem*) e agentes de controle biológico (por exemplo, joaninhas contra afídeos) (Koechlin, 2003).

A conversão para um manejo do agroecossistema fundamentado em princípios ecológicos resulta em um conjunto de mudanças na ecologia do sistema (Gliessman, 1986 citado por Gliessman, 2001). À medida que o uso de agroquímicos sintéticos é reduzido ou eliminado, e os nutrientes e biomassa são reciclados dentro do sistema, a estrutura e função do agroecossistema também mudam. Uma variedade de processos e relações é transformada, começando com aspectos da estrutura básica do solo, seu conteúdo de matéria orgânica e a diversidade e atividade da biota do solo. Posteriormente, mudanças de maior porte também acontecem na atividade e nas relações entre plantas espontâneas, insetos e populações de pragas, e no equilíbrio entre organismos-pragas e benéficos. A mensuração e o monitoramento dessas mudanças durante o período de conversão ajudam o produtor a avaliar o sucesso do processo de conversão e proporcionam um quadro de referência para determinar as exigências e os indicadores de sustentabilidade (Gliessman, 2001).

Atualmente, o Brasil produz cerca de 30 variedades de produtos orgânicos em quase 300 mil hectares de área plantada, com destaque para a soja, hortaliças e café. Os produtores orgânicos estão divididos basicamente em dois grupos: pequenos produtores familiares ligados a associações e grupos de movimentos sociais, que representam 90% do total de agricultores, e grandes produtores empresariais (10%) ligados a empresas privadas. Os primeiros respondem por cerca de 70% da produção orgânica nacional (Mangabeira, 2003).

Apesar da expansão da agricultura orgânica, no território brasileiro, somente em maio de 1999, o Ministério da Agricultura, Pecuária e

Abastecimento publicou a instrução normativa nº 07, que estabelece as normas de produção, tipificação, processamento, envase, distribuição, identificação e de certificação da qualidade para os produtos orgânicos de origem vegetal e animal. Em junho de 2002, foi publicada a instrução normativa 06/2002 que complementa determinados critérios e procedimentos no credenciamento das entidades certificadoras. Atualmente tramita no Senado Federal o projeto de Lei PLC nº 14/02 sob a denominação de PL 659/99 em sua casa de origem. Segundo o Grupo de Agricultura Orgânica (GAO) e representantes do Movimento de Agricultura Orgânica do país, o texto do referido projeto não atende aos requisitos necessários para seu desenvolvimento. Alterações ao texto estão sendo encaminhadas, e são decorrentes de um processo de discussão com a sociedade, a partir das bases do GAO e representantes do Movimento de Agricultura Orgânica no país, envolvendo setores governamentais competentes (CEPorg, 2003).

O projeto de Lei PLC nº 14/02 visa trazer definições claras sobre a agricultura orgânica, com normas de produção, tipificação, processamento, distribuição, identificação e certificação da qualidade para os produtos orgânicos de origem vegetal e animal (Mangabeira, 2003).

Quanto aos aspectos tecnológicos, os fundamentos básicos da agricultura orgânica baseiam-se no manejo ecológico do solo, através do uso de práticas que tornam o solo química e fisicamente equilibrado e biologicamente ativo, supressor de pragas e doenças, tornando também a planta nutricionalmente equilibrada, mais resistente às pragas e doenças. Entre estas práticas, está o uso de adubação verde, esterços, biofertilizantes, compostos orgânicos, cinzas, resíduos orgânicos internos e externos à propriedade rural, cobertura morta, rotação e consorciação de culturas, rochas moídas (calcário, fosfatos naturais), etc. Outro fundamento importante é sua capacidade de favorecer o controle biológico natural de pragas e doenças, estimulando a biodiversidade com

práticas de manejo ecológico de plantas espontâneas, consorciações, barreiras vegetais, rotação de culturas, quebra-ventos, faixa com vegetação espontânea para abrigo, alimentação e reprodução de inimigos naturais. Práticas complementares, como uso de armadilhas luminosas e pulverizações com defensivos alternativos (que favoreçam a síntese e proteínas) como biofertilizantes enriquecidos com micronutrientes ('supermagro', por exemplo), aminoácidos, caldas sulfocálcicas e bordalesa, água de cinza e cal, extratos de plantas, entre outras, são de importância, sobretudo, no período de transição agroecológica (Claro, 2001).

2.1.2 Agricultura Biodinâmica

O primeiro movimento de uma agricultura ecológica nasceu no ano de 1924, em Koberwitz, por meio do 'Curso Agrícola' de Rudolf Steiner, o qual conduziu à fundação da agricultura biodinâmica (Scheller, 2001). O termo "biodinâmica" é a composição de duas palavras: biológico e dinâmico. Biológico se refere a uma agricultura inerente à natureza, que impulsiona os ciclos vitais através de adubação verde, consórcios e rotações de culturas, agrossilvicultura e integração das atividades animais e vegetais dentro da propriedade agrícola, sem a utilização de agrotóxicos e adubos químicos. Dinâmico se refere ao conhecimento e aplicação pelo produtor dos ritmos formativos e de crescimento da natureza, o que na prática agrícola ocorre através do uso dos preparados biodinâmicos (à base de plantas medicinais, sílica e esterco aplicados de forma homeopática), harmonia com os ritmos naturais e estruturação da paisagem agrícola. A prática da agricultura biodinâmica propicia o encontrar de uma relação espiritual e ética com o solo, com as plantas, com os animais e com o ser humano, vencendo uma concepção unilateral da natureza (Koechlin, 2003).

2.1.3 Agricultura Biológica ou Agrobiológica

A agricultura biológica (ou agrobiológica) surgiu na França, na década de 60, a partir dos trabalhos dos agrônomos Francis Chaboussou, Raul Lemaine, Jean Boucher e Claude Albert. Destaca-se pela importância do Controle Biológico, do Manejo Integrado de Pragas e Doenças e pela Teoria da Trofobiose – a primeira identificação científica da ligação entre fontes de elementos nutrientes, pesticidas e interferência no metabolismo secundário de resistência sistêmica de plantas a pragas e doenças. Isso reforça a importância do uso da adubação orgânica e demais técnicas biológicas e alelopáticas em substituição aos agroquímicos (Deffune, 2002).

2.1.4 Permacultura

A permacultura defende a manutenção de sistemas agro-silvipastoris, visando um aproveitamento permanente também dos espaços verticais da vegetação, sendo especialmente adequada a regiões de florestas tropicais e subtropicais. Teve origem no trabalho de Bill Mollison e Dave Holmgren, na Austrália, na década de 70. Hoje seus princípios estão presentes no conceito de manejo sustentado em Agrossilvicultura (Deffune, 2002).

2.1.5 Agricultura Natural

A agricultura natural resultou do trabalho do biólogo Masanobu Fukuoka, iniciado na década de 50 e que culminou com a publicação de seu livro *One Straw Revolution (A Revolução de uma Palha)* em 1975. Seus métodos substituem toda e qualquer movimentação ou cultivo do solo por

roçadas (cortes da parte aérea) da vegetação, cobertura verde e morta, combinadas com semeadura consorciada de cereais e leguminosas ou misturas de hortaliças e ervas aromáticas no meio de pomares não podados. Esse método radical despertou interesse da pesquisa agrônômica do Japão por alcançar médias comparáveis às mais altas produtividades do país, especialmente na cultura do arroz (Deffune, 2002).

2.1.6 Os sistemas de certificação

O objetivo dos sistemas de certificação de produtos ‘ecológicos’ pode ser definido como um mecanismo para garantir aos consumidores um tipo de qualidade para os produtos, principalmente livre de agroquímicos e adubos químicos sintéticos. Esse sistema normatiza toda a fase de produção, processamento e distribuição. Assim, fiscaliza desde os insumos utilizados, os manejos da lavoura, processamento e comercialização. Os sistemas também certificam os agentes ao longo da cadeia, como empresas de comercialização, agroindústrias e produtores de insumos agrícolas. Dependendo do processo produtivo, o produto pode ser comercializado com diferentes selos, que guardam especificidades entre eles (Gonçalves, 2003).

Várias são as certificadoras de produtos orgânicos que atuam no Brasil, entre elas: AAOCert, ABIO, ANC, APAN, BCS, Chão Vivo, CMO, COOLMEIA, ECOCERT, FVO, IBD, IMO, Minas Orgânica, OIA, SAPUCAÍ, SKAL.

A regulamentação da certificação no mercado interno é realizada através de normas técnicas e normas de credenciamento das certificadoras. Nesse processo, atuam os Estados ou blocos de países. Como forma de exemplo, o regulamento do mercado comum europeu é o MCE N° 2092/91; nos Estados Unidos o OFPA (Organic Foods Production Act) e no Japão o sistema JAS.

Além dos órgãos governamentais, atuam ONG's no processo de credenciamento, como a IFOAM (Gonçalves, 2003).

De acordo com o projeto de Lei PLC nº 14/02, o Ministério da Agricultura deverá cuidar da certificação e do credenciamento dos certificadores. A certificação é um processo de fiscalização e inspeção das propriedades agrícolas e processos de produção que verifica se o alimento está sendo cultivado e/ou processado de acordo com as normas de produção orgânica (Mangabeira, 2003).

O IBD, Associação de Certificação Instituto Biodinâmico, é a única certificadora nacional com reconhecimento internacional. Possui o credenciamento IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements), ISO 65 (DAP – Alemanha), DAR (Alemanha) e USDA (United States Department of Agriculture), reconhecimento do Conseil d'Accréditation Du Québec (Canadá), e um acordo com a certificadora OCIA – JAPAN para a certificação com o selo JAS. O IBD é também o representante no Brasil do 'Demeter International' (Harkaly, 2002).

2.2 O solo

O solo é um componente do agroecossistema, complexo, vivo, dinâmico e em transformação. É a camada superficial da terra, intemperizada, misturada com organismos vivos e os produtos de suas atividades metabólicas e de decomposição. Inclui material derivado de rochas, substâncias orgânicas e inorgânicas oriundas de organismos vivos, e o ar e a água que ocupam os espaços entre as partículas de solo. Está sujeito a alterações e pode ser degradado ou manejado sabiamente. Nos atuais sistemas convencionais de cultivo, o solo é tratado como se fosse basicamente um meio para segurar a planta em pé. Muitos produtores acham que obter um alto rendimento da terra evidencia um solo produtivo. Porém, se a perspectiva for agroecológica e a meta

for manter e promover todos os processos de formação e proteção do solo relacionados à matéria orgânica, então um solo produtivo não é necessariamente um solo fértil. Fertilizantes podem ser adicionados para elevá-la, mas a fertilidade do solo somente pode ser mantida ou restaurada entendendo-se os ciclos dos nutrientes e processos ecológicos do solo – especialmente a dinâmica da matéria orgânica (Gliessman, 2001).

Através de uma série de práticas, a agricultura ecológica tenta imitar a natureza. Com relação ao manejo do solo, busca o aumento da biomassa do sistema pelo uso de adubação verde e outros adubos orgânicos. É importante favorecer o desenvolvimento de microrganismos no solo para melhorar sua fertilidade, sempre considerando a quantidade e qualidade dos nutrientes, além da organização interna dos processos biológicos. Outro aspecto importante é que cada espécie de planta favorece o desenvolvimento de tipos específicos de vida, espécies diferentes exudam substâncias diferentes que favorecem e/ou reprimem determinadas populações de organismos no solo, daí a importância das rotações e/ou associações de culturas para aumentar a fertilidade mediante a atividade e equilíbrio dos macro e microrganismos. Com a agricultura ecológica busca-se uma nutrição lenta e constante, fomentando a nutrição vegetal indireta (através dos macro e microrganismos) e não a nutrição direta que altera os processos biológicos e o ecossistema em geral (Kolmans & Vásquez, 1996).

2.2.1 Propriedades físicas do solo

Do ponto de vista físico, o solo é um sistema trifásico, com uma fase sólida relativamente estável e com as fases líquida e gasosa ocupando de forma complementar o espaço poroso. A simples existência de partículas sólidas de diferentes tamanhos e formatos já seria suficiente para permitir a existência de espaços vazios ou poros entre as partículas. Contudo, na maioria dos solos

ocorre a forma de agregados de partículas unitárias, o que permite a ocorrência de uma porosidade maior do que a que existiria sem agregação. Os agregados, ou torrões, são aglomerados de partículas unitárias que se formam por causa de atrações físicas entre essas partículas ou através de agentes cimentantes ou aglutinadores, como óxido de ferro e matéria orgânica. O conjunto de agregados que ocorrem em um solo denomina-se estrutura do solo (Raij, 1991).

Assim, os solos agrícolas funcionam como um sistema complexo que retém e transmite água, ar, nutrientes e calor às plantas e demais vidas diretamente correlacionadas a ele. Portanto torna-se fundamental um ambiente físico favorável ao crescimento radicular e produtividade das culturas (Letey, 1985; Hamblim, 1985). Dependendo da forma com que esses constituintes se associam, a movimentação dos fluidos, ar e água no sistema poroso variará em função do tipo de solo e/ou condições de manejo às quais é submetido. Portanto, o conhecimento das propriedades do solo e de suas implicações como sistema solo-água-plantas são básicos para o entendimento e conservação do ambiente (Alvarenga, 1996). A densidade do solo (densidade aparente ou de volume) é uma propriedade física que reflete o arranjo das partículas do solo (Ferreira, 1993). É definida como a massa (peso) de uma unidade de volume do solo seco. Este volume incluirá tanto os sólidos como os poros (Brady, 1989). A densidade do solo depende de sua natureza, das dimensões das formas e de como se acham dispostas suas partículas (Kiehl, 1985).

Para manter o solo em condições de alta produtividade é importante conservá-lo bem estruturado, o que se consegue com manejo adequado de restos de culturas, visando manter a matéria orgânica do solo, evitando compactação excessiva com máquinas e, principalmente, tomando medidas contra a erosão, que tende a remover do solo as partículas mais finas e mais ricas em argila e matéria orgânica (Raij, 1991).

Podem ser reconhecidos dois tipos de poros nos solos. Os macroporos, de maior diâmetro, através dos quais a água drena e o ar se move livremente, e os microporos, responsáveis pela retenção de água ou capilaridade (Raij, 1991). Assim, em um solo arenoso, apesar de sua reduzida porosidade total, a movimentação do ar e da água é surpreendentemente rápida, face à predominância dos macroporos (Brady, 1989).

Vários pesquisadores (Kiehl, 1985; Brady, 1989; Primavesi, 1990; Raij, 1991; Miyasaka & Okamoto, 1993) citam os benefícios da matéria orgânica para o estabelecimento de uma estrutura adequada do solo, permitindo uma maior circulação de ar e água.

Segundo Kiehl (1985), a matéria orgânica exerce apreciável influência nas propriedades físicas do solo, que é classificada por certos autores como ‘melhoradora’ do solo e não como fertilizante, fornecedora de nutrientes. O mesmo autor afirma que a matéria orgânica reduz a densidade aparente do solo.

Kiehl (1979), pesquisando a correlação entre o teor de matéria orgânica e a densidade aparente dos solos do Estado de São Paulo, diagnosticou que quanto maior o teor de matéria orgânica encontrada no solo menor é a densidade aparente.

Hafet (1974) citado por Kiehl (1985), pesquisou a influência da aplicação de esterco bovino, suíno, equino e ovino nas propriedades físicas do solo e demonstrou que esses fertilizantes orgânicos contribuíram para uma maior agregação, reduzindo a densidade aparente e melhorando a condutividade hidráulica. Portanto, de acordo com Kiehl (1985), a matéria orgânica reduz a densidade aparente direta e indiretamente; diretamente como foi explicado e indiretamente, pelo seu efeito na estruturação do solo, tornando-o mais ‘solto’, menos denso.

A matéria orgânica atua na estruturação do solo através de polímeros com cargas, que unem as partículas isoladas da argila, formando agregados (Raij, 1991).

Cunha (1995) ao realizar um estudo comparativo de condições químicas e físicas de um latossolo vermelho-amarelo álico, de encostas, sob café e mata natural diagnosticou que houve um acréscimo nos valores de densidade aparente do solo sob café. Esse acréscimo foi atribuído à retirada da vegetação que interceptava as gotas de chuva e também contribuía para o aumento de matéria orgânica.

Gliessman (2001) afirma que um solo com densidade aparente baixa tem um percentual mais alto de espaços de poros (porosidade mais alta), maior aeração, melhor percolação (permeabilidade) e maior capacidade de armazenamento de água, sendo mais fácil seu preparo, permitindo que as raízes das plantas penetrem mais facilmente. O cultivo excessivo do solo acelera a decomposição da sua matéria orgânica e aumenta o potencial de compactação, provocando a elevação da densidade e a desestruturação do solo.

A compactação, ou a perda de espaços de poros e elevação da densidade aparente, é uma indicação da perda da estrutura grumosa, e pode ser causada pelo peso das máquinas agrícolas, pela perda da matéria orgânica por preparo excessivo, ou por uma combinação das duas (Gliessman, 2001).

Considerando a importância das propriedades físicas do solo para o bom desenvolvimento e crescimento das plantas, torna-se fundamental para esta pesquisa o seu conhecimento. Apesar das áreas estudadas seguirem basicamente o mesmo manejo, deve-se considerar que todos os tipos de solo podem apresentar maior ou menor susceptibilidade à degradação. A partir desse pressuposto, o conhecimento das propriedades físicas do solo torna-se uma ferramenta essencial na avaliação da sustentabilidade de cada agroecossistema estudado.

2.2.2 Propriedades químicas do solo

Vários elementos químicos são essenciais à produção vegetal, pois, sem qualquer um deles as plantas não conseguem completar o seu ciclo de vida. Portanto, são considerados nutrientes de plantas. Exceto o carbono, oxigênio e hidrogênio, que são supridos às plantas através de água e do ar, os demais elementos essenciais ao crescimento das plantas têm o solo como fonte primária (Vale et al., 1997). Considerando que a maioria das lavouras de café estão implantadas em solos de baixa fertilidade natural, para que o cultivo resulte em uma boa produção há necessidade de reposição desses nutrientes ao solo, seja de forma orgânica ou mineral.

Porém, o uso inadequado de fertilizantes, tanto de natureza mineral quanto orgânica pode resultar em sérios problemas ao meio ambiente, tais como, a contaminação de águas subterrâneas, com a eutrofização de lagos e rios e, até mesmo, com a contaminação dos próprios alimentos produzidos (Vale et al., 1997). Se considerarmos que o solo é a base para uma agricultura sustentada, é necessário adotar práticas de manejo que conservem e/ou restaurem sua fertilidade a fim de manter a produtividade (Alvarenga, 1996).

Numa perspectiva agrícola, um solo ‘ideal’ é composto de 45% de minerais, 5% de matéria orgânica e 50% de ‘espaço’, com o ‘espaço’ preenchido, metade com água e metade com ar. É difícil encontrar um solo com essas características, uma vez que cada local tem propriedades únicas que, em última instância, determinam o resultado final do processo de formação do solo (Gliessman, 2001). No Brasil, 80% dos solos cultiváveis sofrem limitações de uso agrícola por associar uma fertilidade baixa a uma bioestrutura decaída.

Deve-se entender a diferença entre fertilidade e produtividade do solo. Fertilidade do solo é a quantidade de nutrientes disponíveis aos vegetais e a ausência de substâncias tóxicas. A produtividade do solo é a possibilidade de as

plantas aproveitarem estes nutrientes, podendo absorvê-los e metabolizá-los para produzir substâncias vegetais, e com isso, colheitas. Crostas superficiais que impedem a circulação de ar no solo, compactação e adensamentos que prejudicam o desenvolvimento radicular bem como baixa umidade constituem fatores que influem negativamente sobre a produtividade dos solos (Primavesi, 1990).

A caracterização das propriedades químicas do solo é necessária para diagnosticar tanto as deficiências agudas de determinados nutrientes como a possibilidade de toxidez de outros, como por exemplo de alumínio. Para que se possa entender e, posteriormente, manejar corretamente um solo – tanto para a agricultura orgânica como para a convencional – é recomendável o diagnóstico das propriedades físicas, químicas e biológicas bem como suas correlações com as condições climáticas locais.

Sabe-se que a produtividade dos solos decresce com o período de cultivo. Como o café é uma cultura perene, é de fundamental importância atentarmos para o manejo do solo a fim de não decrescer sua produtividade ao longo dos anos.

Alvarenga (1996) relata que o adequado manejo dos nutrientes do solo é tanto mais importante quanto maior for a remoção desses do sistema ou quando a taxa de remoção excede a taxa natural de substituição. Fato que ocorre com a cultura do café, uma vez que os nutrientes são retirados do sistema na forma de produtos vegetais (grãos), tornando-se importante a reposição. Para a agricultura orgânica a reposição de nutrientes ao solo é realizada por adubações orgânicas, adubações verdes e com micronutrientes como componentes de biocaldas¹ e biofertilizantes².

¹ adubo orgânico líquido produzido a partir de uma mistura de micronutrientes fermentados em meio orgânico (fermentação aeróbia)

² adubo orgânico líquido produzido a partir da fermentação anaeróbia do esterco mais água.

A matéria orgânica atua como granulador das partículas minerais do solo, é também uma das principais fontes de dois importantes elementos minerais: P e S, além de ser, em essência, fonte de nitrogênio. A matéria orgânica exerce influência nas condições físicas, aumentando a absorção de água do solo. Finalmente, é a principal fonte de energia para os microorganismos do solo. Sem ela, a atividade bioquímica redundaria praticamente em paralisação (Brady, 1989).

Chaves (2000) conduziu um experimento durante 10 anos sobre um Latossolo Roxo Eutrófico no município de Ibiporã-Paraná, a fim de avaliar a combinação de diferentes fontes de fertilizantes (adubação mineral, adubação orgânica, adubação verde e combinações de adubação mineral - orgânica - verde) sobre a fertilidade do solo, nutrição e produção do cafeeiro e diminuição da dependência por nitrogênio mineral. Os resultados mostraram que a fertilidade do solo sofreu alterações com os tratamentos, sendo os efeitos mais pronunciados sobre o pH, K, Al, H+Al, P e CTC. A adubação mineral acidificou o solo e a combinação dos adubos orgânico e verde contribuiu para a melhoria da fertilidade. Constatou-se melhor equilíbrio nutricional ao se combinar as adubações orgânica, mineral e verde. As produções de café beneficiado correlacionaram-se diretamente com o estado nutricional das plantas. A presença de leucena, utilizada como adubo verde, contribuiu para o fornecimento equivalente a 130 Kg N/ha. A biomassa da leucena ajudou a diminuir o número de espécies e a quantidade de ervas invasoras, proporcionando economia no tempo com capina em aproximadamente 50%.

Pode-se perceber através desses resultados que há necessidade em desenvolver novos experimentos variando o tipo de adubação, por exemplo, a fim de diagnosticar práticas de manejo com bases conceituais e princípios científicos fundamentados na Agroecologia. Como é longo o tempo necessário para se obter resultados palpáveis quanto as variações ocorridas no solo, tanto

nas propriedades químicas quanto nas físicas e biológicas, uma alternativa viável seria acompanhar propriedades que já empregam diferentes tipos de adubo orgânico e/ou verde por determinado período de tempo. Dessa forma, estaria aproximando a universidade dos agricultores, reduzindo custos de implantação de experimentos e diagnosticando técnicas de produção mais próximas da realidade.

Vale considerar que a agroecologia também incorpora idéias mais ambientais e de sentimento social acerca da agricultura, focando não somente a produção, mas também a sustentabilidade ecológica dos sistemas de produção (Altieri, 1989). Para Caporal & Costabeber (2002b), a agroecologia tem sido reafirmada como uma ciência ou disciplina científica, ou seja, um campo de conhecimento de caráter multidisciplinar que apresenta uma série de princípios, conceitos e metodologias que permitem estudar, analisar, dirigir, desenhar e avaliar agroecossistemas, sendo os agroecossistemas considerados como unidades fundamentais para o estudo e planejamento das intervenções humanas em prol do desenvolvimento rural sustentável. São nestas unidades geográficas e socioculturais que ocorrem os ciclos minerais, as transformações energéticas, os processos biológicos e as relações sócio-econômicas, constituindo o local onde se pode buscar uma análise sistêmica e holística do conjunto destas relações e transformações. Sob o ponto de vista da pesquisa agroecológica, os primeiros objetivos não são a maximização da produção de uma atividade particular, mas sim a otimização do equilíbrio do agroecossistema como um todo, o que significa a necessidade de uma maior ênfase no conhecimento, na análise e na interpretação das complexas relações existentes entre as pessoas, os cultivos, o solo, a água e os animais. Por esta razão, as pesquisas em laboratório ou em estações experimentais, ainda que necessárias, não são suficientes, pois sem uma maior aproximação aos diferentes agroecossistemas, elas não correspondem à

realidade objetiva onde seus achados serão aplicados e, tampouco, resguardam o enfoque ecossistêmico desejado.

Sabe-se que se há disponibilidade suficiente de adubo orgânico para a adubação dos cafeeiros, essa prática torna-se viável, como já relatado por Fernandes et al. (2000). Esses pesquisadores citam que, em três safras da pesquisa, verificaram que todas as fontes estudadas (esterco de ovino, esterco de suínos – sólido, composto de lixo e cama de frango) promovem, já no segundo ano, aumentos significativos de produção, com ligeira superioridade para a fonte de esterco sólido de suínos.

Em determinados agroecossistemas, a necessidade de aplicação de altas quantidades de adubo orgânico para suprir a nutrição das plantas, ocasiona, além de elevado custo de produção, diminuição da sustentabilidade local, tornando essa prática inviável principalmente para grandes áreas de produção de café. Por exemplo, considerando que nem todas as propriedades produtoras de café formam um organismo integrado - ou seja, não integram a produção vegetal à produção animal – e, por idealismo ou oportunismo, seus proprietários resolvessem converter os atuais sistemas de produção para o manejo orgânico, pode-se supor que não haveria quantidade suficiente de adubo orgânico, de origem interna ou mesmo externa à propriedade, para todos esses estabelecimentos rurais. Essa realidade é um pouco diferente em áreas de agricultura familiar, pois geralmente há maior diversificação na produção nessas propriedades.

Os produtores familiares, na maioria das vezes, não dependem exclusivamente de uma cultura, há mais diversidade na produção. Além do mais, não se pode tomar como regra, mas na agricultura familiar há possibilidade da propriedade formar um organismo integrado, interagindo a produção animal com a produção vegetal, ou seja, a produção vegetal pode servir de alimento para os animais e resíduo da produção animal (esterco, por exemplo) pode ser fonte de

nutrientes para os vegetais. Isto conduz à sustentabilidade do agroecossistema que também está correlacionada à menor dependência de mão-de-obra contratada. Geralmente a mão-de-obra utilizada é dos próprios familiares e, dependendo do nível de organização local, também ocorre o regime de mutirão e troca de dia entre produtores familiares, assim como acontece em Poço Fundo/MG.

Uma alternativa, tanto para pequenas quanto para grandes áreas agrícolas seria a produção do adubo *in loco*. Ou seja, se não há disponibilidade de esterco de animais suficiente para suprir nutrição às plantas pode-se buscar alternativas na adubação verde local ou por aléias de leguminosa – conforme pesquisa Alvarenga (2000a); ou ainda a partir da arborização do cafezal, que além de fornecer adubo para a lavoura pode agregar valores à produção (Alvarenga, 2000b). Também há possibilidade de promover adubação do cafezal e agregar valores à produção a partir da implantação de sistemas agroflorestais. Há diversos pesquisadores trabalhando cientificamente e empiricamente com diferentes sistemas agroflorestais.

Um dos objetivos da adubação orgânica e/ou verde é fornecer matéria orgânica ao solo. E a matéria orgânica, independentemente de sua origem, pode alterar as características químicas do solo. Ela pode, segundo Kiehl (1985), favorecer a absorção de Ca e Mg pelas raízes, pois elevados teores em húmus no solo fazem com que os colóides inorgânicos e orgânicos adsorvam eletrostaticamente Ca e Mg, retendo-os em uma forma trocável, disponível às plantas, além de exercer importante papel de evitar perdas por lavagens.

A composição química da matéria orgânica conserva os elementos remanescentes dos seres vivos que a produziram, ou seja, C, H, O, N, S e P. Para fins práticos, considera-se que o húmus tem em média 58% de carbono e, portanto, a porcentagem de C multiplicada pelo fator 1,72 corresponde à porcentagem de matéria orgânica do solo. Da mesma maneira, podem ser

admitidos como números em torno dos quais se fixa o raciocínio, no caso da matéria orgânica estabilizada, as relações 100:10:1:2 para C:N:S:P (Raij, 1991).

Segundo Primavesi (1990), resumidamente a matéria orgânica fornece: - substâncias agregantes do solo; - ácidos orgânicos e álcoois, durante a sua decomposição, e que servem de fonte de carbono aos microorganismos de vida livre, fixadores de N, possibilitando, portanto, sua fixação; - possibilidade de vida aos microorganismos, especialmente os fixadores de N, que produzem substâncias de crescimento, como triptofano e ácido indol-acético que possuem efeito muito positivo sobre o desenvolvimento vegetal; - alimento aos organismos ativos na decomposição, produzindo antibióticos que protegem as plantas de pragas e doenças, contribuindo à sanidade vegetal. Mas, quando a matéria orgânica ainda for humificada, traz mais benefícios, além destes: - aumenta a CTC do solo; - aumenta o poder tampão; - fornece substâncias como fenóis, uma vez que é um hetero condensado de substâncias fenólicas, que contribuem não somente para a respiração e a maior absorção de P, mas também à sanidade vegetal.

Dos diversos tipos de substâncias orgânicas somente o húmus influi nas propriedades químicas do solo, embora a palha, durante sua decomposição, tenha influência maior sobre a física do solo (Primavesi, 1990).

Quanto ao P no solo, diferente do C e do N, cujos principais reservatórios ficam na atmosfera, seu reservatório está no solo. O P ocorre naturalmente no ambiente, na forma de fosfato. Os fosfatos podem estar na solução do solo como íons de fosfato inorgânico - especialmente $(PO_4)^{-3}$ - ou como parte de compostos orgânicos dissolvidos. Porém, a fonte principal de fosfato é a intemperização do material de origem; portanto, o aporte e a ciclagem do P nos agroecossistemas ficam limitados pela taxa relativamente lenta deste processo geológico (Gliessman, 2001).

A fixação do P é um dos maiores problemas da agricultura tropical. Como evitar que o P seja fixado, formando complexos pouco acessíveis aos vegetais é uma das maiores dificuldades. O P geralmente se liga a algum composto no solo e pode ocorrer em forma de humatos de apatita ou ligado ao Fe e Al (Primavesi, 1990; Gliessman, 2001).

Sabe-se que num pH acima de 5,5 a fixação do P é diminuída por Al e Fe, o que sugere a correção do solo pela calagem. Porém, a calagem raramente é capaz de mobilizar o P ligado do solo, mas pode melhorar a absorção de uma adubação fosfatada posterior. Calagens maciças, como aconselhada pelo método SMP, apesar de neutralizar o solo, não mobilizam o P nem o mantêm disponível. Três pontos básicos destacam-se no problema da disponibilidade do P: a) o pH do solo deve estar acima de 5,5 para que o P permaneça disponível; b) não podem existir processos de redução no solo, ou seja, o solo deve ser arejado; c) a microvida é capaz de mobilizar o P de ligações com Al e Fe, sendo as bactérias mais ativas produtoras de ácidos. Pode-se assim concluir que um solo deve ter bioestrutura grumosa (arejamento) e suficiente matéria orgânica e Ca, para garantir um abastecimento normal das plantas com P (Primavesi, 1990).

Segundo Kiehl (1985) a baixa disponibilidade de P mineral deve-se a fenômenos de fixação que ocorrem no solo; sendo fixação a transferência de íons fosfatos livres na solução do solo para qualquer forma ligada à fase sólida, tornando-se não disponíveis às raízes. O fosfato solúvel deve estar em equilíbrio químico com o fosfato fixado e o orgânico.

Primavesi (1990) recomenda, para solos tropicais, a aplicação de fosfatos pouco solúveis em água, e solúveis em citratos, como as escórias básicas, fosforitas, termofosfatos, entre outros. O efeito desses é bom em solos ácidos e insatisfatório em solos que receberam calagem prévia. O efeito residual, dos fosfatos pouco solúveis em água, pode durar aproximadamente quatro anos.

Kiehl (1985) recomenda que os minerais fosfatados sejam misturados a fertilizantes orgânicos. Dessa forma, pode-se reduzir a quantidade de aplicação e evitar a insolubilização no solo, inferindo que, ao se decompor o fertilizante orgânico, o P será solubilizado por ácidos orgânicos formados durante a fermentação e também pelo ataque de microorganismos; ainda mais, o húmus que vai se formando protege o fosfato solubilizado, evitando sua fixação.

Para Lopes (1999), a maioria dos fosfatos naturais brasileiros de baixa reatividade (Araxá, Patos, Catalão, Abaeté, por exemplo) é de origem magmática, formados principalmente por apatitas, em geral com 4 a 5% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico e com teores de P_2O_5 total de 28 a 30%.

Cunha (1995) diagnosticou em sua pesquisa comparativa entre área de produção de café e mata nativa que, como a presença de P nas águas de percolação é mínima em razão da sua baixa concentração na solução do solo, e fixação por colóides, o teor desse nutriente foi afetado pela inclinação do relevo. Ou seja, detectou-se que em áreas de café mais íngremes ocorre maior perda desse nutriente. Enquanto que na mata a perda de P foi mínima tanto na localização topográfica quanto na profundidade, já que a vegetação impede seu transporte no sentido da declividade via erosão e há constante reposição pela decomposição dos restos vegetais.

Em contraste com a situação referente ao P, os solos minerais, com exceção dos arenosos, dispõem de um total de K comparativamente elevado. Na realidade, as quantidades totais deste elemento são, em geral, maiores do que as de qualquer dos outros elementos nutrientes principais. A maior porção desse elemento acha-se rigidamente retida como integrante dos minerais primários ou fixada sob formas que, na melhor das hipóteses, são apenas moderadamente permutáveis com os vegetais. Além disso, a competição dos microorganismos pelo K contribui, pelo menos temporariamente, para sua indisponibilidade para os vegetais superiores (Brady, 1989).

Enquanto mais da metade do P e do S encontrados na superfície do solo estão na matéria orgânica e quase todo o N em combinações orgânicas, somente uma pequena quantidade do K está nela contida. O K não participa de combinações orgânicas na planta, como acontece com o N, P e S; ele é um elemento ativo na planta, porém, em forma livre, sendo por isso prontamente liberado para o solo quando restos vegetais são a ele incorporados (Kiehl, 1985).

A resistência vegetal ao frio, seca e doenças depende em larga escala de um abastecimento suficiente com K. A absorção de K pela planta é três vezes superior a uma temperatura de 25 °C do que a 15 °C, sendo melhor a um pH aproximadamente neutro. Em muitos solos brasileiros a adubação potássica não faz efeito e, freqüentemente, baixa o rendimento. Esse efeito negativo provavelmente é atribuído à absorção deficiente de Ca e Mg, em presença de N amoniacal. Provoca-se um desequilíbrio entre ânions e cátions, prejudicando a nutrição vegetal. O mecanismo, provavelmente, é o seguinte: ocorre uma absorção excessiva de K em prejuízo da de Ca, o que aumenta o efeito tóxico de Mn. A quantidade de K disponível no solo arável aumenta com a estação seca, quando sua absorção é menor e sua ascensão à superfície é mais intensa. Ela diminui na época das águas, quando sua absorção é melhor e sua lixiviação é mais intensa (Primavesi, 1990). Segundo Deffune (2002), a relação ideal, para a agricultura orgânica, de Ca e Mg está em torno de 4 a 5:1 para a maioria das culturas, portanto a aplicação de calcário dolomítico (30% de CaO e 15% de MgO) deve ser utilizada com cuidado para não causar um desequilíbrio.

Uma alternativa para a cafeicultura orgânica, além do retorno da casca/palha de café à lavoura, seria o uso de cinzas de madeira. De maneira generalizada, estas contêm 8 a 15% de potassa (óxido de potássio, K₂O), 1,5 a 2% de ácido fosfórico, 30% de CaO e 3 a 6% de MgO, sendo portanto fonte boa e barata de nutrientes. Podem ser aplicadas diretamente ao solo ou incorporadas ao composto curado na dosagem de 500 a 1.000 Kg/ha/ano (Deffune, 2002).

Segundo Malavolta (1976), na cultura do café as perdas de potássio em virtude da exportação na colheita, lixiviação e erosão são muito grandes, chegando ao extremo de 95% do K disponível ser perdido após 25 anos de cultivo com o cafeeiro.

O enxofre (S) está presente no solo nas duas formas: inorgânica e orgânica; na forma orgânica constitui de 50 a 70% do total encontrado. Embora seja um macronutriente secundário, é extraído do solo pelas plantas em grandes quantidades. A relação N/S é semelhante à relação N/P, o que significa que a quantidade de S no solo é mais ou menos igual à de P (Kiehl, 1985).

Em solos normais, o S é oxidado passando a SO_4^{-2} , podendo se perder facilmente por percolação. Assim, os solos arenosos, muito arejados, são geralmente pobres em S enquanto os solos argilosos contêm maior concentração desse nutriente. Cerca de 60 a 90% do S, em solos normais, está ligado a matéria orgânica, formando compostos orgânicos. O S orgânico se encontra principalmente nas proteínas, aminoácidos, peptídeos e tiocianatos (Mello et al., 1988). De acordo com Mengel & Kirkby (1978) citados por Mello et al. (1988), a relação C:N:S da matéria orgânica do solo é aproximadamente igual a 125:10:1,2. Segundo Gliessman (2001), o S é adsorvido parcimoniosamente como um ânion (SO_4^{-2}) de locais com ligações orgânicas no solo ou mediante a dissociação de sulfatos de Ca, Mg ou Na.

Os elementos considerados micronutrientes são B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn. As principais fontes de micronutrientes para as plantas são os minerais e a matéria orgânica. Através de reações de troca ou de mecanismos de complexação ou de quelação, o húmus pode reter em formas disponíveis certos micronutrientes liberados dos minerais do solo ou da matéria orgânica em decomposição (Kiehl, 1985).

A incorporação de matéria orgânica ao solo, principalmente arenoso e com baixo teor de matéria orgânica, pode aumentar a aquisição de

micronutrientes pelas plantas. Neste sentido, os fertilizantes minerais em base orgânica têm apresentado excelente resultado em termos de micronutrientes (Vale et al., 1997).

2.2.3 Propriedades microbiológicas do solo

O solo como habitat é um sistema heterogêneo, descontínuo e estruturado, formado por microhabitats discretos, com diferentes características químicas, físicas e comunidades biológicas. Estas características são altamente interdependentes, de modo que não se pode modificar nenhuma delas sem modificar as demais. Além disso, algumas podem ser medidas enquanto que a mensuração de outras não é possível com o conhecimento atual. O microhabitat ou microsítio é o local particular, ou o volume do solo, onde células, populações, ou comunidades microbianas são encontradas e cujo status físico-químico (microambiente) influencia o comportamento destes, que por sua vez também influenciam o ambiente dentro deste espaço (Moreira & Siqueira, 2002).

Os organismos que habitam o solo são responsáveis direta ou indiretamente por processos bioquímicos e transferências de energia no sistema solo-planta-atmosfera, constituindo-se na base de sustentação e produtividade dos ecossistemas terrestres em equilíbrio (Moreira & Siqueira, 2002).

Os microorganismos, presentes no solo, liberam ácidos que decompõem minerais presentes nos solos e nas rochas, excretam quelantes de baixo peso molecular que complexam íons metálicos e promovem reações de oxidação e redução de elementos químicos (Cardoso & Freitas, 1992).

A proliferação dos microorganismos é limitada pelo pH, riqueza mineral do solo, tipo de matéria orgânica, temperatura e umidade. Em solo com temperatura acima de 20 °C, como ocorre em clima tropical e subtropical, predominam as bactérias, havendo menos fungos e actinomicetos. As bactérias,

porém, são extremamente ativas na decomposição da matéria orgânica, não permitindo a acumulação de húmus. Em altitudes acima de 1.000 m, onde as temperaturas são mais baixas, os fungos predominam (Primavesi, 1990).

Os microorganismos do solo têm papel preponderante no desenvolvimento das plantas; tanto de forma direta, em associações com suas raízes, quanto no que diz respeito ao seu papel como fornecedores de nutrientes pela decomposição da matéria orgânica adicionada ao solo, da qual são também componentes. A zona efetiva de absorção de muitas raízes é modificada, em diversas espécies de lenhosas e herbáceas, pela ocorrência de micorrizas. O micélio destas forma uma bainha ao redor da raiz ou cresce dentro do tecido radicular, crescendo a hifa para dentro do solo, aumentando a superfície de contato da mesma. Além disso, a vida absorptiva das raízes micorrízicas é muito maior do que a vida das raízes não micorrízicas das regiões não suberificadas do sistema radicular (Haag, 1985 citado por Alvarenga, 1996).

Existem dois tipos de associações da micorriza, de considerável importância na prática, ectomicorriza e micorrizas arbusculares. O grupo de ectomicorrizas inclui centenas de espécies fúngicas. Estes fungos, estimulados pelos exudados radiculares, cobrem as superfícies das raízes alimentadoras com um manto fúngico. Suas hifas penetram as raízes e desenvolvem-se em volta das células do córtex, porém não penetram nestas células (Brady, 1989).

As micorrizas arbusculares (MAs), designação mais recente para as micorrizas vesículo-arbusculares, são formadas por fungos da ordem Glomales dos Zigomicetos. Estes são fungos asseptados, que colonizam as raízes das plantas de quase todos os gêneros das Gimnospermas e Angiospermas, além de alguns representantes das Briófitas e Pteridófitas. O fungo coloniza as células do córtex inter e intracelularmente, formando os arbúsculos que são estruturas típicas intra-radiculares altamente ramificadas e, em alguns grupos taxonômicos, as vesículas são hifas com dilatações terminais. Não há evidências de

especificidade hospedeira e não ocorrem alterações morfológicas macroscópicas de raízes colonizadas, sendo a presença da associação detectada apenas através de observações microscópicas de raízes clarificadas e coloridas com corantes especiais (Moreira & Siqueira, 2002).

Atualmente a classificação dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) considera que pertencem à ordem Glomales, como um grupo mono filético, ou seja, um grupo de espécies derivadas de um ancestral comum, contendo todos os organismos que formam associações mutualísticas com as raízes das plantas e também formam arbúsculos. De acordo com essa classificação, a ordem Glomales contém duas sub-ordens, Gigasporineae e Glomineae. A sub-ordem Gigasporineae é formada por uma família, Gigasporaceae, que contém os gêneros *Gigaspora* e *Scutellospora*. A subordem Glomineae é formada por duas famílias, Glomaceae que contém os gêneros *Glomus* e *Sclerocystis*, e a família *Acaulosporaceae*, com os gêneros *Acaulospora* e *Entrophospora*. Recentemente, Mortons e Redecker (2001) citados por Moreira & Siqueira (2002) propuseram duas novas famílias com dois gêneros respectivos Archaeosporaceae (gênero *Archaeospora*) e Paraglomaceae (gênero *Paraglomus*). Desse modo, os fungos glomaleanos acham-se distribuídos em cinco famílias e sete gêneros, desaparecendo o gênero *Sclerocystis* (Moreira & Siqueira, 2002).

A riqueza dos fungos FMAs varia muito, sendo encontrados de 2 a 33 espécies por ecossistema. Embora diversos trabalhos já tenham sido desenvolvidos, a riqueza, diversidade e o potencial simbiótico das populações de fungos MAs nos ecossistemas brasileiros são ainda pouco conhecidos. Várias pesquisas desenvolvidas no Brasil revelam grande riqueza de espécies, como o cerrado com 19, as dunas com 26 e cafeeiros com 30 espécies identificadas. O cultivo do solo causa grande modificação na estruturação das comunidades fúngicas, alterando a distribuição e dominância das espécies. Isto ocorre devido à alteração biótica e abiótica do ambiente edáfico como modificação na

vegetação (raízes) e nas propriedades químicas do solo, especialmente nos componentes da acidez e disponibilidade de nutrientes (Moreira & Siqueira, 2002).

Os mesmos pesquisadores citados acima definem que a fração orgânica do solo é uma mistura complexa de tecidos vivos ou mortos e de substâncias orgânicas ou inorgânicas transformadas ou em seu estado original. São materiais complexos e em constante transformação, mas que podem ser separados em frações distintas. Em torno de 98% do carbono orgânico do solo encontra-se como matéria orgânica morta, principalmente na forma de húmus. A fração viva geralmente não ultrapassa 1 a 5% do total de materiais orgânicos. Desta 5 a 10% são raízes, 60 a 80% são microorganismos e de 15 a 30% são componentes da macrofauna; portanto, a maioria da matéria orgânica viva do solo é protoplasma microbiano, representando a biomassa microbiana que é definida como parte viva da matéria orgânica do solo, composta por todos os organismos menores que $5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, como fungos, bactérias, actinomicetos, leveduras e microfauna como os protozoários. É a principal fonte de enzimas no solo, sendo assim responsável pela quase totalidade de atividade biológica deste, catalisando as transformações bioquímicas, representando fonte e dreno de carbono e troca de nutrientes entre a atmosfera e o ecossistema solo-planta. Para Doran & Parkin (1994), a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais nos sistemas produtivos provocam alterações na composição da comunidade microbiana, influenciando a sua taxa de decomposição. Dessa forma, o manejo do solo atua diretamente na persistência dos resíduos no solo, na biomassa microbiana e, conseqüentemente na sustentabilidade dos agroecossistemas. A quantificação da biomassa microbiana pode ser utilizada para indicar o nível de degradação do solo, em função do sistema de manejo utilizado.

A quantificação da biomassa pode ser realizada por vários métodos baseados em: a) estimativas indiretas da contagem do número de organismos e

conversão para biovolume, b) determinação de constituintes microbianos específicos (macromoléculas, ATP), c) taxa de respiração em resposta à adição de fonte de carbono, d) fluxo de CO₂ em amostras submetidas a fumigação e re-infestação e, e) quantidade de carbono extraído de amostras fumigadas. A possibilidade de estimar a biomassa do solo representou grande avanço metodológico diante das dificuldades e limitações das contagens microbianas em placas com meios seletivos. A biomassa é uma medida na população do solo como um todo, que apesar de ser uma característica muito dinâmica e, de certo modo, pouco informativa quando interpolada por si só. A quantidade de biomassa encontrada no solo é de certo modo em determinado tempo relacionada à quantidade de carbono que este recebe. Ela é favorecida em solos como vegetação, naqueles com teores mais elevados de argila ou sob cultivo mínimo, e geralmente baixa nos solos cultivados, nos arenosos ou degradados pela erosão ou por contaminação com substâncias orgânicas tóxicas ou metais pesados (Moreira & Siqueira, 2002).

Mercante et al. (2000) utilizaram a biomassa microbiana como parâmetro indicador da qualidade do solo sob diferentes sistemas de manejo (convencional; plantio direto; integrado – lavoura/pecuária; pastagem) em comparação ao sistema natural (mata nativa). De um modo geral, concluíram que os teores de carbono microbiano mais expressivos foram observados no sistema natural (350 a 600 μ g C/g solo seco durante o ano de execução da pesquisa), seguido pelo sistema integrado (300 a 400 μ g C/g solo seco), plantio direto (200 a 450 μ g C/g solo seco), pastagem contínua (170 a 200 μ g C/g solo seco) e sistema convencional de preparo do solo (200 μ g C/g solo seco). Também foi observado que a biomassa microbiana sob condições de estresse em solos com matéria orgânica de baixa qualidade nutricional torna-se incapaz de utilizar totalmente o C orgânico do solo. Por outro lado, verificou-se que o sistema integrado lavoura-pecuária apresenta-se como a melhor alternativa para

a melhoria da qualidade nutricional da matéria orgânica nos sistemas, proporcionando um aumento na sua dinâmica no solo.

Segundo De Polli & Guerra (1996) as quantidades médias de nutrientes na biomassa da camada arável do solo são de 101 a 108 Kg.ha⁻¹ de N, 78 a 83 Kg.ha⁻¹ de P, 68 a 70 Kg.ha⁻¹ de K e 9 a 11 Kg.ha⁻¹ de Ca. Bayer (1996) citado por Charity (2002) relata que a biomassa microbiana contém de 2 a 5% do carbono total do solo, estimado em 26 a 40 ton/ha, excluindo-se a biomassa radicular e a macrofauna. Pode-se dizer a grosso modo, segundo Charity (2002) que a biomassa microbiana dos solos tropicais contém de 1 a 2 ton carbono total/ha, constituindo-se em uma massa protoplasmática viva total de cerca de 10 a 12 ton/ha. Charity (2002), ironicamente, relata que essa quantidade é equivalente a 20 vacas vivendo embaixo de 1 ha de solo, este exagero serve para ilustrar o quanto se deve pensar em alimentar este “rebanho” no solo. Sem essa alimentação não há como manter viva a capacidade de auto-regulação do solo. O referido pesquisador conclui que para se poder contar com as centenas de reações e interações que caracterizam o metabolismo do solo, é necessário que seja reconhecida a necessidade de aporte de matéria orgânica de qualidade no sistema criado.

Colozzi Filho (1999) avaliou o efeito do cultivo intercalar de leguminosas de verão para adubação verde do cafeeiro (*Coffea arabica* L), sobre a ocorrência e esporulação de fungos micorrízicos arbusculares no solo e a micorrização. Concluiu que o cultivo de leguminosas na entrelinha do plantio de cafeeiros aumentou a diversidade de espécies e o número de esporos de fungos MAs na rizosfera do cafeeiro. Sendo que o cafeeiro cultivado em consórcio com *Crotalaria breviflora* mostrou-se altamente micorrizado, com maior diversidade de espécies e número de esporo de fungos MAs no solo, em todas as épocas avaliadas. Entretanto, parte da diversidade de fungos presentes na rizosfera do cafeeiro não foi recuperada na rizosfera de milho (*Zea mays* L.) e sorgo

(*Sorghum bicolor* L.), quando se utilizaram raízes colonizadas de cafeeiro como inóculo. Sugerindo que alguns fungos MAs observados na rizosfera do cafeeiro podem ser provenientes de raízes das leguminosas que crescem próximas, mas não estão efetivamente em simbiose com o cafeeiro.

Ricci et al. (2000), avaliando a conversão de um cafezal convencional para sistema orgânico de produção em São Sebastião do Paraíso (MG), diagnosticaram que a biologia e microbiologia do solo, à semelhança da fertilidade do solo, demonstraram sinais de melhora com o manejo orgânico. Os resultados, preliminares, apresentaram-se evidentes sobre o aumento da densidade das populações de minhocas, de actinomicetos e de bactérias e fungos em geral, de bactérias diazotróficas, sobre a diversidade e densidade de fungos micorrízicos e sobre a biomassa microbiana do solo. Os dados apresentados demonstraram uma evolução do sistema orgânico em relação ao convencional, no que diz respeito a agroecossistemas mais equilibrados.

Em 1978 foi instalado um experimento denominado DOK (biologisch-dynamisch, organisch-biologisch and konventionell) pelo Instituto de Pesquisa em Agricultura Orgânica (FiBL) a fim de realizar comparações entre diferentes formas de cultivo (biodinâmico, orgânico e convencional). Segundo Maeder et al. (2002), aplicaram-se nos solos do sistema convencional adubos químicos e esterco fresco; do sistema orgânico, esterco parcialmente decomposto e do sistema biodinâmico, esterco compostado. A rotação de cultura, o preparo do solo e as variedades foram iguais nos três sistemas. Observou-se que os solos das parcelas orgânica e biodinâmica apresentaram melhor estruturação, o que em parte foi atribuído à maior presença de fungos micorrízicos arbusculares (essas parcelas apresentaram 40% mais micorrizas do que a parcela convencional). Os sistemas orgânico e biodinâmico, naquelas condições climáticas, apresentaram maior biomassa microbiana e atividade enzimática do que nas parcelas com

cultivo convencional. As variáveis químicas e físicas dos solos mostraram poucas diferenças entre os tratamentos.

Saggin Júnior & Siqueira (1996) relatam que na rizosfera do cafeeiro foram identificados 45 espécies de Glomales, sendo 12 de *Acaulospora*, 17 de *Glomus*, 6 de *Scutellospora*, 4 de *Gigaspora*, 4 de *Sclerocystis* e 2 de *Entrophospora*, sendo que a frequência de ocorrência é maior para espécies de *Acaulospora* e *Glomus*, e a menor frequência para espécies de *Gigaspora*. Vale ressaltar que a partir de 2001 os fungos glomaleanos acham-se distribuídos em 5 famílias e 7 gêneros, desaparecendo o gênero *Sclerocystis*, conforme já descrito anteriormente.

Fernandes (1987) pesquisou micorrizas arbusculares em cafeeiro da região Sul do Estado de Minas Gerais e diagnosticou que as espécies *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora morrowae* e *Acaulospora mellea* apresentaram índice de ocorrência superior a 50%.

As MAs são geralmente inibidas em condições de elevada fertilidade e favorecidas pela baixa fertilidade, onde a colonização e esporulação são geralmente máximas. A adição de N e/ou P suficiente para otimizar o crescimento da planta, reduz a colonização, sendo o efeito da adição de P dependente da espécie vegetal. Por exemplo, para mudas de cafeeiro a inibição da colonização inicia em substrato acima de 50 mg de P Kg⁻¹ de solo (Mehlich – 1), sendo este efeito muito acentuado acima de 100 mg de P Kg⁻¹ de solo. Deve-se salientar que o P não torna as plantas imunes à colonização, apenas reduz a intensidade da micorrização (Moreira & Siqueira, 2002).

As MAs também são afetadas pelo pH do solo. Moreira & Siqueira (2002) afirmam que elas ocorrem em solos com pH variando de 3 a 10, sendo pH um fator importante para a ecologia e distribuição desses fungos. Parte desse comportamento resulta da tolerância ou não dessas espécies aos metais em concentrações tóxicas geralmente presentes em solos ácidos, como Al, Mn, onde

a calagem reverte a ação fungistática desses metais sobre os fungos. Verifica-se, por exemplo, que a germinação dos esporos é inversamente proporcional à porcentagem de saturação de Al no solo (Siqueira, 1993, citado por Moreira & Siqueira, 2002), que é inversamente relacionada ao pH do solo. Em levantamentos feitos no Estado de Minas Gerais, *Glomus etunicatum* não foi encontrado em solos com pH abaixo de 5,0, enquanto naqueles com pH acima de 5,0 apenas *E. colombiana* não ocorreu. *Glomus etunicatum* também não foi recuperado de nenhuma amostra do solo com mais de 1,0 cmol_c de Al dm⁻³. Esse comportamento explica por que esta é a espécie de *Glomus* predominante nos solos de cerrado cultivados desse Estado, onde a calagem é prática necessária. Os efeitos indiretos da acidez ou de sua correção nas condições químicas e biológicas atuam sobre outros microorganismos como bactérias e actinomicetos antagonistas que influenciam os fungos. Mas, como ocorre com actinomicetos produtores de substâncias voláteis, que inibem a germinação de esporos de *Glomus mossae*.

Características físicas como textura e condições de umidade do solo, aeração, inundação e compactação influenciam as MAs. Os solos com elevado teor de umidade ou sujeitos à inundação, portanto com aeração deficiente, são geralmente desprovidos de FMAs, porque os fungos e raízes são aeróbios e poucas espécies hospedeiras crescem nessas condições. Embora os propágulos desses fungos possam sobreviver em condições extremamente secas, o máximo desenvolvimento das micorrizas coincide com as condições de umidade que favorecem o crescimento das plantas, isto é, próximas à capacidade de campo (Moreira & Siqueira, 2002).

Como generalização, admite-se que a ocorrência de FMAs tende a ser alta em sistemas de baixo insumo e muito baixa naqueles de alto insumo, onde a simbiose geralmente tem contribuição reduzida no crescimento das plantas, pois estas estão bem supridas em nutrientes. Embora a riqueza seja baixa, a

diversidade é geralmente alta nos ecossistemas em clímax, como no cerrado, e baixa nos agroecossistemas, que favorecem a dominância, principalmente, em monoculturas. As condições edafoclimáticas dominantes nos ecossistemas manejados intensivamente e sem rotação de culturas reduzem a ocorrência e importância das MAs para as plantas. Não obstante, as tendências de modificações para sistemas de produção mais equilibrados biologicamente, como redução no uso de agroquímicos, adoção de cultivo mínimo e de rotação de culturas, deverão contribuir para aumentar a ocorrência e atividade das MAs nos sistemas agrícolas (Moreira & Siqueira, 2002).

A atividade biológica pode ser definida como toda reação bioquímica catalisada pelos organismos do solo que pode resultar também em atividade física, como no caso do efeito da excreção de polissacarídeos na agregação do solo. As atividades microbianas podem ser divididas em dois tipos: as gerais e as específicas. As atividades gerais são aquelas provenientes de todos ou quase todos os microorganismos do solo, como a respiração e a produção de calor, apresentando, portanto, valor significativo como índice de atividade total do solo. As atividades específicas são medidas por grupos específicos como os fixadores de N e os nitrificadores entre outros (Moreira & Siqueira, 2002).

A respiração do solo é uma das mais antigas características utilizadas para quantificar a atividade microbiana. Ela representa a oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbios do solo que, portanto utilizam O₂ como aceptor final de elétrons, até CO₂. Assim, ela pode ser avaliada tanto pelo consumo de O₂ como pela produção de CO₂ (Moreira & Siqueira, 2002).

2.2.4 Adubação verde

Por muito tempo, a adubação verde caracterizou-se pelo uso de leguminosas, visando-se à melhoria da produtividade das culturas pela adição de

nitrogênio, ciclagem mais eficiente de nutrientes e melhoria física e biológica do solo. Na atualidade pode-se conceituar a adubação verde como a utilização de plantas em rotação, sucessão ou consorciação com as culturas, incorporando-as ao solo ou deixando-as na superfície, visando-se à proteção superficial, à manutenção e melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo, além de aração biológica e introdução de microvida em profundidade no solo; uso eventual da fitomassa produzida na alimentação animal ou em outras finalidades (Calegari et al., 1993). A adubação verde também promove o controle de nematóides e de plantas concorrentes, pela cobertura do solo, e pela alelopatia (Mojtahedi et al., 1993; Amabile et al., 1994; Stampford et al., 1994; De-Polli et al., 1996; Nelson & King, 1996; Biederbeck et al., 1998; Alcântara et al., 2000; Amabile et al., 2000; Favaretto et al., 2000; Jacobi & Fleck, 2000 citados por Barradas et al., 2001).

Muitos autores concordam que há aporte de N ao solo, proveniente da fixação biológica por bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, quando se cultivam leguminosas como adubos verdes de culturas econômicas. Já foi observado que o uso de adubos verdes na cultura do milho substituiu a aplicação de 80 a 100 kg ha⁻¹ de N sintético (De-Polli e Chada, 1989; Araújo e Almeida, 1993 citados por Barradas et al., 2001)

Rodrigues Filho et al. (1996), pesquisando tipos de adubos verdes e orgânicos para a cultura do amendoim, observaram a ocorrência de uma grande variação nos teores de alguns elementos no solo, principalmente do fósforo, com as incorporações das biomassas de mucuna preta e com as aplicações de esterco de galinha. Os elementos fósforo e cálcio tiveram seus valores bastante acrescidos e com supostos reflexos nos níveis de produção do amendoim. Em trabalhos realizados por Jansen (1917), Andrioli et al. (1993) citados por Rodrigues Filho et al. (1996), também verificaram que a aplicação ao solo de adubo verde e esterco bovino promoveu um incremento nos teores de fósforo e

cálcio no solo. A adubação verde com mucuna preta produziu, na média de oito anos, 5943 Kg ha⁻¹ de matéria seca que foi incorporada anualmente ao solo, fornecendo, também anualmente, quantidades consideráveis de macronutrientes (123 Kg ha⁻¹ de N, 23 Kg ha⁻¹ de P₂O₅, 72 Kg ha⁻¹ de K₂O, 160 Kg ha⁻¹ de CaO e 33 Kg ha⁻¹ de MgO), enriquecendo o solo em suas camadas superficiais.

Paulo et al. (2001) avaliaram, em um período de 2 anos, a produção do cafeeiro Apatã IAC 2258 (*Coffea canephora* Pierre) submetido ao plantio intercalar dos adubos verdes: crotalária júncea (*Crotalaria juncea* L.), crotalária espectabilis (*Crotalaria spectabilis* Roth.), mucuna-anã (*Stilozobium deeringeanum* Bort.), soja IAC 9 (*Glycine max* L. Merrill) e guandu (*Cajanus cajan* L. Millsp.), incorporados no seu florescimento. Os resultados mostraram que o guandu e a crotalária júncea reduziram a produção de café, e o guandu, a altura e o diâmetro do caule do cafeeiro, o que não ocorreu com as demais leguminosas. O resultado da análise de solo, no segundo ano de condução da pesquisa, mostrou que apenas a matéria orgânica do solo foi significativamente alterada pelo cultivo dos adubos verdes guandu e crotalária júncea nas entrelinhas do cafeeiro. As maiores quantidades de fitomassa seca foram produzidas por guandu e crotalária júncea respectivamente. A produção de café correlacionou-se inversamente com a fitomassa seca das leguminosas e, positivamente, com a altura e o diâmetro do caule do cafeeiro. O uso da adubação verde intercalada ao café arábica (*Coffea arabica* L.) tem sido, ao longo do tempo, uma prática bastante controversa. Relacionada à produtividade do cafeeiro, a adubação verde pode não beneficiar (Franco et al., 1960; Franco & Lazzarini, 1967; Lazzarini & Neme, 1967; Reis & Arruda, 1974 citados por Paulo, 2001) ou ser prejudicial (Lombardi-Neto et al., 1976; Melles et al., 1979; Reis & Arruda, 1980 citados por Paulo, 2001). Já se observaram, também, acréscimos da produção, após prejuízos nos períodos iniciais da aplicação dessa prática (Fraga & Conagin, 1956 citados por Paulo, 2001). A

diminuição da produção de café observada nos tratamentos com guandu e crotalária júncea não foi verificada por Lazzarini & Neme (1967) citados por Paulo et al. (2001), após cultivarem o cafeeiro por quatro anos em consórcio com essas leguminosas. Um dos fatores que pode ter influenciado negativamente a produção, segundo Paulo et al. (2001), foi a incorporação dos adubos verdes por grade ou enxada rotativa, com provável corte de raízes superficiais das plantas de café.

As espécies vegetais espontâneas, nas áreas de cultivo agrícola, têm sido tratadas como “plantas daninhas”, “ervas invasoras”, “inços” e outras denominações, do ponto de vista dos prejuízos que podem acarretar às espécies cultivadas. No entanto, as espontâneas podem promover os mesmo efeitos de proteção de solo e ciclagem de nutrientes que espécies cultivadas ou introduzidas para a adubação verde (Favero et al., 2000). Favero (1998) que pesquisou o desempenho de cinco leguminosas utilizadas na adubação verde (feijão de porco/*Canavalia ensiformes*; feijão do Ceará/*Canavalia brasiliensis*; mucuna-preta/*Mucuna aterrina*; Lab-lab/*Dolichos lablab* e Guandu/*Cajanus cajan*) por agricultores em Minas Gerais. As leguminosas foram cultivadas em sistema solteiro e em consórcio com as espontâneas, deixando-se um tratamento em pousio para servir com sistema somente com espontâneas. Os resultados possibilitam inferir que sistemas consorciados, leguminosas mais espontâneas, foram mais eficientes em proporcionar cobertura do solo do que as leguminosas na ausência de espontâneas, não diferindo significativamente do sistema somente com espontâneas. A produção de biomassa e o acúmulo de nutrientes pelos sistemas consorciados não diferiram significativamente dos sistemas leguminosas solteiras e foram maiores que o sistema espontâneas. As espécies espontâneas produziram menos biomassa e acumularam menos nutriente que as leguminosas introduzidas; no entanto, desempenharam importante papel na

cobertura proporcionada ao solo, e várias delas apresentaram maiores teores de P, K e Mg que as leguminosas.

A adubação verde pode ser realizada através de coquetéis de adubos, que têm como princípio básico “a mistura de espécies de plantas de várias famílias, que tenham hábitos diferentes e ocupem diferentes estratos, ou seja, tenham diferente arquitetura da parte aérea e do sistema radicular, proporcionando assim uma maior diversidade ao sistema”. O coquetel de adubos verdes fornece uma fonte de renda através da colheita de seus frutos ou sementes e é fonte nutricional para a diversidade de organismos do solo (Piamonte, 2002).

Piamonte (2002) relata uma pesquisa, com coquetel de adubos verdes, conduzida em latossolo arenoso, em Botucatu/SP, na qual obteve-se o seguinte desempenho: uma sucessão de desenvolvimento: primeiro o girassol e o milho, depois as leguminosas (labe-labe, mucuna, feijão de porco e catador) e por último as crotalárias. Após análise de solo, foi constatada melhora do pH, constatou-se que subiu de 5,2 para 7,5; no teor de P de 0,7 de P_2O_5 foi para 2,0; e no teor de Mg de 12 para 24 (os teores de P e Mg foram medidos em mg/100 g de solo seco). Quando feita a colheita de frutos (parcelas de 900 m²), foi obtido o seguinte resultado: 300 caixas/ha de milho verde, 250 Kg/ha de sementes de girassol e 90 Kg/ha de trigo sarraceno (2 colheitas), foi atingido de 50-70 ton/ha de massa verde (20 ton/ha é considerado bom). Quando feita a colheita de sementes, foi obtido o seguinte resultado: 1.900 Kg ha⁻¹ de grãos de milho, 250 Kg ha⁻¹ de sementes de girassol, 450 Kg ha⁻¹ de crotalária e 950 Kg ha⁻¹ de feijão de porco.

2.3 Estado nutricional do cafeeiro

Segundo Martinez et al. (1999), as plantas são organismos autotróficos em virtude de sua habilidade de sintetizar carboidratos usando somente água,

dióxido de carbono e energia oriunda do sol. A fotossíntese, o processo pelo qual essa captação de energia acontece, é, portanto, a base da nutrição da planta. Ainda assim, a produção de carboidratos é somente uma parte de seu processo de crescimento e desenvolvimento. É necessário um conjunto de nutrientes essenciais, juntamente com a água, para formar os carboidratos complexos, os aminoácidos e as proteínas que constituem o tecido da planta e servem a funções importantes nos seus processos vitais (Gliessman, 2001).

A análise de solo é insuficiente para garantir um acompanhamento adequado do estado nutricional das plantas. A existência de nutrientes no solo, mesmo que supostamente em quantidades disponíveis suficientes, não garante o suprimento das plantas, visto que muitos fatores podem influir na absorção. Além disso, para diversos nutrientes não há critérios adequados de análise de solo. Assim, a avaliação direta do estado nutricional de plantas é uma necessidade na agricultura. Para tal, a análise de plantas ou diagnose foliar é muito útil (Raij, 1991).

A premissa da diagnose foliar é a existência de relação significativa entre o suprimento de nutrientes e os níveis de elementos nas folhas e que isso, por sua vez, estaria associado com as produções. Na prática, as relações em geral não são tão simples, já que os níveis de nutrientes nas folhas são resultantes de muitos fatores que afetam a absorção e mesmo a translocação dos nutrientes pela planta (Raij, 1991). A composição mineral dos tecidos vegetais pode ser influenciada por uma série de fatores pertinentes à própria planta e ao ambiente: a natureza da espécie, variedade ou porta-enxerto, estágio vegetativo e idade da planta, distribuição, volume e eficiência do sistema radicular, produção pendente, variações climáticas, disponibilidade de água e nutrientes no solo, estado fitossanitário da planta, tipo e manejo do solo e interações entre nutrientes (Martinez et al., 2000).

Existe uma relação bem definida entre o crescimento e a produção das culturas e o teor de nutrientes em seus tecidos. Essa relação caracteriza-se por uma curva em que se distinguem cinco regiões. Na primeira e na segunda chamadas de regiões de deficiência, o aumento do suprimento de determinado nutriente, acompanhado pelo aumento de seu teor nos tecidos da planta, resulta em aumento no crescimento e produção. Na terceira região, chamada de região de adequação, o aumento do suprimento de dado nutriente e de seu teor nos tecidos da planta não é acompanhado por aumentos expressivos no crescimento ou produção. Na quarta região, chamada de região de absorção de luxo, o aumento do suprimento do nutriente e de sua concentração nos tecidos não é acompanhado por aumento no crescimento ou produção. A quinta região, ou região de toxidez, caracteriza-se por decréscimos no crescimento ou produção com o aumento do suprimento de dado nutriente e de seu teor nos tecidos. O conhecimento dos teores de nutrientes nos tecidos relacionados com cada uma dessas regiões permite que, por meio de sua análise se avalie o estado nutricional das culturas (Martinez et al., 1999).

Martinez et al. (2000), pesquisando nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Manhuaçu/MG e Patrocínio/MG, detectaram que os níveis críticos de macronutrientes são mais elevados na região de Manhuaçu, e os de micronutrientes mais elevados na região de Patrocínio. Nível crítico foi definido como o teor de um nutriente, em determinada parte da planta, que se associa a 90% da produtividade ou ao crescimento máximo do cafeeiro. Essa diferença foi atribuída às características do solo, uma vez que a concentração dos nutrientes na solução do solo afeta seu nível ou faixa crítica foliar. Quando a disponibilidade de nutrientes é mais elevada, a absorção é também maior que a exigência metabólica, havendo maior armazenamento do nutriente nos vacúolos. Em tal situação, o nível crítico obtido será maior que em situações nas quais as características do solo determinam uma menor

concentração de nutriente em solução. A maioria das propriedades avaliadas no município de Patrocínio situam-se em solos com textura argilosa, enquanto que em Manhuaçu, 72% das propriedades situam-se nessa categoria de solos. Essa característica justifica os níveis críticos inferiores de P foliar devido a textura mais argilosa apresentar menores concentrações de P na solução do solo. No caso do Ca, diagnosticaram-se menores níveis de concentração em Patrocínio, provavelmente pela menor CTC dos solos dessa região. Para o N e S, o maior nível de concentração em Manhuaçu deve-se à maior riqueza dos solos dessa região em matéria orgânica. Em relação ao S, devido a sua forte interação com a fração argila do solo, houve uma correlação inversa entre o teor de argila e a sua concentração no solo e na planta, à semelhança do P. Com relação aos micronutrientes, correlacionaram-se as menores concentrações destes em Manhuaçu com os altos teores de matéria orgânica observados nos solos dessa região. Provavelmente isto se deve à complexação dos micronutrientes pela matéria orgânica, resultando em menores concentrações destes na solução do solo e nos teores foliares.

Cunha (1995) pesquisando, no município de Viçosa/MG, a cultura do café em uma encosta, diagnosticou que os níveis de Ca, Mg, P e K foliares apresentaram maiores concentrações no sopé da encosta, devido ao maior acúmulo desses nutrientes nesse local da percolação no sentido da declividade. As demais posições na encosta apresentaram níveis de nutrientes que poderiam comprometer o desenvolvimento da cultura e a produção, e somente no sopé da encosta a lavoura ainda conseguia produzir o suficiente para cobrir as despesas com colheita pois, no restante da área, a produção foi praticamente insignificante.

Segundo Raij (1991), a interação entre nutrientes no solo pode afetar as quantidades absorvidas. Como por exemplo o antagonismo entre K e Ca ou Mg, ou seja, um nutriente prejudica a absorção de outros. Para Kabata-Pendias &

Pendias (1985), há uma inibição competitiva na absorção de Cu e Zn devido à maior absorção de Mn, essa interação também foi observada por Malavolta et al. (2002) ao pesquisar a repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. Segundo Malavolta et al. (2002), os resultados da análise de P e Zn nos ramos de 'Catuaí Amarelo' indicam que a maior absorção de P – contido nos ramos ou em fluxo, decorrente da mobilidade – diminuiu a absorção e concentração de Zn. Malavolta et al. (1997), relatam que a maior quantidade de P no tecido é também um indicador de que o Mg pode estar atuando como carregador desse nutriente.

Levantamentos do estado nutricional do cafeeiro realizados por Lott et al. (1961), Gallo et al. (1967), Gallo et al. (1970) e Garcia et al. (1983) citados por Reis & Martinez (2002) constataram que a maioria das lavouras cafeeiras apresentam deficiência de Zn. Souza & Ferreira (1991) afirmam que problemas na nutrição com Zn podem estar correlacionados com as crescentes adubações fosfatadas. Marques (1990) também relata que altas doses de P parecem diminuir a concentração de Zn na parte aérea de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.), podendo ainda as aplicações de Zn afetarem a concentração de P nos tecido foliares.

Ricci et al. (2000), avaliando a conversão de um cafezal em São Sebastião do Paraíso/MG para o sistema de manejo orgânico, em comparação a cafeeiros manejados no sistema convencional, detectaram que a substituição dos fertilizantes químicos pelos orgânicos ocasionou em uma elevação no pH do solo, acarretando aumento nos teores de Ca, Mg, P e K. Do ponto de vista nutricional, a média de três anos para a concentração de N no sistema de manejo orgânico, embora inferior a do convencional, foi compatível com os valores de referência encontrados na literatura. Os teores foliares de P e K, no cafezal em conversão, foram superiores aos encontrados nas folhas dos cafeeiros convencionais, embora o P, em ambos os sistemas, tenha ficado abaixo dos

valores de referência. Também foi observado que os teores foliares de Ca e Mg apresentaram-se menores no sistema orgânico, estando o Mg abaixo do valor de referência.

Chaves (2000) avaliou o efeito de adubação mineral, orgânica e verde sobre a fertilidade do solo, nutrição e produção do cafeeiro. Detectou que em todos os tratamentos que combinaram as adubações mineral, orgânica e verde houve um equilíbrio nutricional, especialmente com relação ao N, K e Zn. Quanto ao Mn, os teores foliares mostraram-se excessivamente elevados provavelmente já próximo dos níveis de toxidez, na presença de doses crescentes de fertilizante mineral. Este fato pode estar correlacionado ao aumento da acidez do solo.

As exigências nutricionais das cultivares de café implantadas em sistemas de manejo convencionais seguem padrões pré-estabelecidos por pesquisas realizadas em campos experimentais com condições edafoclimáticas específicas. A determinação desses padrões (faixas recomendadas) foi realizada a partir da adubação mineral do solo com adubos altamente solúveis em função de alta produtividade da cultura. Provavelmente a quantidade de nutrientes absorvidos pelas variedades, melhoradas geneticamente para obtenção de maior produtividade também em função de altas doses de adubos solúveis, será diferente em sistema de manejo orgânico. A dinâmica dos nutrientes, em solo sob manejo orgânico, é diferente da dinâmica dos nutrientes em solos sob manejo convencional. Podem essas variedades, em manejo convencional, absorver quantidades de nutrientes em excesso com relação as suas necessidades metabólicas, favorecendo a maior circulação de aminoácidos livres. Há aumento da incidência de pragas e doenças (Teoria da Trofobiose) concomitantemente à dependência de agrotóxicos para o controle.

2.4 Pragas e doenças

O aumento da diversidade de espécies vegetais pode resultar na diminuição de algumas pragas, devido ao aumento da diversidade e abundância de artrópodes considerados inimigos naturais de pragas agrícolas (Altieri, 1991, citado por Fadini et al., 2001). Fadini et al. (2001) pesquisaram o efeito da cobertura vegetal do solo sobre a abundância e diversidade de inimigos naturais de pragas em vinhedos. A cobertura vegetal do solo influenciou tanto a abundância quanto a diversidade de inimigos naturais no vinhedo avaliado. Dentre os tratamentos utilizados, a ervilhaca em cultivo solteiro e a ervilhaca consorciada com aveia-preta foram as coberturas vegetais que proporcionaram maior diversidade e abundância de inimigos naturais. Os menores valores, tanto para diversidade quanto para abundância de inimigos naturais, foram encontrados nos tratamentos de capina com herbicida, capina mecânica e cobertura morta. A diversidade e abundância de inimigos naturais correlacionaram-se positivamente com a diversidade vegetal nas entrelinhas dos vinhedos. Os maiores valores médios de diversidade e abundância de inimigos naturais foram encontrados nos tratamentos com duas espécies vegetais cultivadas simultaneamente: ervilhaca e aveia-preta, enquanto os menores valores médios foram encontrados nos tratamentos onde a cobertura vegetal do solo foi totalmente retirada: onde foi feita a capina mecânica total das parcelas ou onde foi aplicado herbicida, demonstrando que o manejo da cobertura vegetal do solo influencia as populações de inimigos naturais de pragas da videira.

Os ecossistemas naturais podem ser tomados como modelo para as estratégias de manejos de pragas nos agroecossistemas. Algumas sociedades rurais simulam as condições de floresta em suas propriedades a fim de obterem os efeitos benéficos das estruturas florestais. Os produtores, na América Central, imitam as estruturas e a diversidade de espécies das florestas tropicais, plantando uma variedade de culturas de diferentes hábitos de crescimento. Mantendo a

diversidade a um nível o mais alto possível, os pequenos produtores diminuem as ameaças das condições instáveis (como pragas), enquanto obtêm uma fonte de renda e de nutrição estável e aumentam os retornos sob níveis baixos de tecnologia. Tirando-se vantagens do conhecimento das associações benéficas de plantas através do cultivo múltiplo, a pesquisa pode levar à criação de sistemas que usem recursos, melhorem a produção em geral, protejam contra epidemias de pragas e ao mesmo tempo conservem o ecossistema (Altieri, 1989).

A maioria dos entomólogos, fitopatólogos e pesquisadores do campo de plantas invasoras concorda que a intensificação que tem acompanhado o crescimento da agricultura promove várias práticas que favorecem as pragas, doenças e invasoras. Algumas delas são: 1) aumento das dimensões dos campos, resultando numa monocultura extensiva ou em modelos de períodos curtos de rotações de culturas com baixa diversidade de espécies; 2) aglomeração de campos de espécies e/ou variedades semelhantes, diminuindo o efeito mosaico de diversidade a nível regional; 3) aumento da densidade de plantas cultivadas hospedeiras com a adoção de espaçamentos, que fomenta a explosão populacional de pragas e doenças; 4) aumento da uniformidade das populações hospedeiras e conseqüente menor diversidade genética. Quando a composição genética de uma cultura é alterada com fins de aumentar sua produção, dando-se pouca atenção aos ataques de pragas, a resistência natural aos insetos e patógenos pode ser bastante reduzida (Zadocks & Schein, 1979, Pimental & Goodman, 1978, citados por Altieri, 1989).

Com insetos, este modelo não ficou claramente definido. Entretanto, as análises de Androw (1938), Altieri & Letourneau (1982) citados por Altieri (1989) indicam que a abundância de pragas, geralmente, aumenta com períodos extensos de monoculturas, destruição de talhões arbóreos e cercas-vivas, aumento desproporcional da área cultivada, substituição de produção diversificada ou de culturas anuais. Outras práticas agrícolas, como adubação,

irrigação e aplicação de agrotóxicos podem tornar as plantas mais ou menos suscetíveis aos ataques de pragas e doenças. Embora a diversificação dos agroecossistemas não reduza automaticamente os problemas de pragas, cerca de 53% dos insetos pragas estudados em cento e cinquenta experimentos mostraram uma clara redução na incidência de pragas nos sistemas mais diversificados quando comparados às monoculturas correspondentes (Risch, 1983; citado por Altieri, 1989). Apenas 18% das pragas estudadas aumentaram nos sistemas diversificados. Apesar das evidências experimentais gritantes, foram feitas apenas algumas poucas tentativas, nos países desenvolvidos, para se aumentar a diversidade com o propósito de se melhorar o manejo de pragas (Altieri, 1989).

2.4.1 Bicho-mineiro do cafeeiro (*Leucoptera coffeella* – Guérin – Mèneville, 1842 – Leucoptera: Lyonetiidae)

O bicho-mineiro das folhas do cafeeiro, *Leucoptera coffeella* (Guérin – Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) é considerado praga-chave da cultura do café apesar de seus danos serem indiretos (Moraes, 1997).

O bicho-mineiro é uma praga exótica, que tem como região de origem o continente africano. Foi constatado no Brasil a partir de 1851, vindo provavelmente em mudas atacadas provenientes das Antilhas e da Ilha de Bourbon. É considerada uma praga monófaga, atacando somente cafeeiros (Reis et al., 2002).

Até 1970, as grandes infestações do bicho-mineiro no Brasil manifestavam-se através de surtos esporádicos. Citam-se, como exemplo, grandes surtos da praga ocorridos no Brasil em 1860/1862, 1870 e 1944, em cafezais do Rio de Janeiro e São Paulo, e explicados, pela maioria dos autores, como um desequilíbrio entre os parasitóides do inseto (Speer, 1944/1950, citado por Souza et al., 1998).

A partir de 1970, o problema tem-se agravado. Os ataques têm sido freqüentes e contínuos, em decorrência do plantio de forma mais arejada, no qual espaçamentos maiores visam à mecanização; da expansão da fronteira da cafeicultura; das lavouras extensivas; das extensas áreas de plantio contínuo e da introdução de novas práticas culturais. Exemplo é o controle da ferrugem, em que as pulverizações de fungicidas, como aqueles à base de cobre, já foram correlacionadas com o aumento da população do bicho-mineiro (Paulini et al., 1976, citados por Souza et al., 1998). O adensamento de cafeeiros é uma prática que reduz a infestação por bicho-mineiro, porém favorece as infestações de broca e a infecção pela ferrugem (Souza et al., 1998).

A ocorrência do bicho-mineiro está correlacionada a diversos fatores: climáticos, condições da lavoura e presença ou ausência de inimigos naturais. As épocas em que são constatadas as maiores populações da praga são os períodos secos do ano, com início em junho a agosto e acme em outubro, sendo menor antes e após esses meses. Há casos em que a população aumenta em março-abril em decorrência de veranico no mês de janeiro e/ou fevereiro, como ocorreu em 1990 em Minas Gerais (Reis et al., 2002). Souza et al. (1998) relatam que o clima está diretamente relacionado à população e à intensidade de infestação do bicho-mineiro. A temperatura tem grande influência na incidência da praga, apresentando com ela uma correlação positiva, enquanto que a precipitação e a umidade relativa do ar apresentam uma correlação negativa, havendo assim necessidade de um período longo de seca para que haja um aumento considerável no número de lesões nas folhas do cafeeiro.

O bicho-mineiro causa desfolha nas plantas afetando a produtividade, o rendimento do café e a longevidade das plantas. Os sintomas são mais visíveis no terço superior da planta. A desfolha acentuada próxima ao período de floração é muito prejudicial à produção, em razão do baixo vingamento de frutos e baixo rendimento (Moraes, 1997).

Reis et al. (2002) relatam duas pesquisas desenvolvidas no Sul do Estado de Minas Gerais em 1976 e 1996, e uma pesquisa realizada em 1978 no Cerrado mineiro. Em 1976, diagnosticou-se uma redução na produção de café da ordem de 52%, devido a uma desfolha de 67% no mês de outubro, em consequência do ataque do bicho-mineiro, ocasião em que ocorreu maior florada daquele ano. Em 1996, constataram grandes prejuízos, tais como, redução na produção entre 34,3% e 41,5%. Em 1978, pesquisa desenvolvida no Cerrado mineiro registrou decréscimos na produção de café de aproximadamente 72%.

Segundo Souza et al. (1998), deve-se considerar, para início do controle químico dessa praga, 20% ou mais de folhas minadas no terço superior (local de coleta de folhas) ou 30% ou mais de folhas minadas nos terços médio e superior dos cafeeiros (locais de coletas de folhas). Deve-se considerar folhas minadas com minas intactas, de qualquer tamanho, descontando-se as folhas minadas com todas as suas minas ou lesões dilaceradas (rasgadas) por vespas, ou aquelas com todas as suas lesões velhas no aspecto (esbranquiçadas), com ou sem epiderme superior. Souza et al. (1980) e Souza (1979), citados por Souza et al. (1998), afirmam que a eficiência dos insetos predadores está em torno de 69% de controle e dos parasitóides em torno de 18%.

Várias são as tentativas de controle ao ataque do bicho-mineiro na cafeicultura orgânica. Tais como controle cultural (quebra-ventos ou arborização), resistência genética, controle por comportamento (feromônio sexual), controle por extratos vegetais (inseticidas botânicos), controle biológico (predadores, parasitóides e entomopatógenos) e controle por biofertilizantes.

Algumas pesquisas com extratos vegetais vêm sendo desenvolvidas em laboratório. Os resultados são promissores, ou seja, há redução da postura e da sobrevivência dos ovos de bicho-mineiro (extrato de *Azadiracta indica*) (Martinez et al., 2001) bem como 100% da mortalidade de lagartas em placa de Petri (extratos hexânicos de *Tropaeolium majus*) (Galvan et al., 2000). Porém,

não se deve direcionar a pesquisa, principalmente em agricultura orgânica, única e exclusivamente para um determinado problema esquecendo-se de diagnosticar qual a origem dele, ou seja, qual é a causa que gera essa determinada consequência. Ao desenvolver pesquisas com extratos vegetais deve-se atentar para a seletividade e toxicidade (ao homem e meio ambiente) desses prováveis inseticidas alternativos (os autores denominam como *inseticidas botânicos*). Outro ponto importante para desenvolver inseticidas alternativos é verificar se as técnicas de extração estão de acordo com as normas de processamento orgânico, pois se determinado reagente ou extrator não tem uso permitido para agricultura orgânica, o futuro inseticida alternativo não poderá ser aplicado em áreas de produção credenciadas por certificadoras. Como é o caso dos extratos hexânicos, o hexano é um solvente de uso proibido em técnicas de processamento. Apesar das normas não serem específicas para a produção de inseticidas alternativos, o atual engenheiro químico da Associação de Certificação Instituto Biodinâmico (certificadora de produtos orgânicos e biodinâmicos com sede em Botucatu/SP) relatou que se a extração vegetal for realizada utilizando como solvente o hexano, o futuro inseticida alternativo terá seu uso proibido dentro de áreas orgânicas certificadas por certificadoras de reconhecimento internacional.

A substituição do solvente hexano na extração vegetal é fácil, porém, não se deve esquecer que para que o inseticida alternativo tenha o uso permitido, deverá ser comprovadamente seletivo (não eliminar os inimigos naturais) e não tóxico ao meio ambiente (incluindo ao homem) além da sua eficiência no controle de determinada praga. Esse mesmo pressuposto deve ser direcionado para pesquisas que pretendem comprovar a eficiência de extratos de determinadas plantas no controle de doenças.

Pedigo (1989) alerta que o uso inadequado de inseticidas pode reduzir as populações dos inimigos naturais. Fato que não é interessante para a cafeicultura orgânica, principalmente em áreas que estão próximas a cultivos convencionais

de café, pois o uso indiscriminado de determinados agrotóxicos diminui ou elimina os inimigos naturais da região, aumentando, assim, a infestação de pragas nas lavouras de café.

Gusmão et al. (2000) citam que entre os agentes do controle biológico natural do bicho-mineiro destacam-se, enquanto predadores, os himenópteros da família Vespidae. Souza (1979), citado por Gusmão (2000) constatou, no Estado de Minas Gerais, a ação predadora das vespas *Protonectarina sylveirae* Saussure, *Polybia scutellaris* White, *Brachygastra lecheguana* Latreille e *Polistes* sp. Além dessas espécies, Gusmão et al. (2000) cita a ação predadora de outras vespidae, como *Apoica pallens* Fab e *Polistes versicolor* Olivier. Souza et al. (1980) citados por Reis et al. (2002), relatam que o predatismo da lagarta do bicho-mineiro em Minas Gerais é também realizado, além das vespas acima citadas, por *Synoeca surinama cyanea* e *Eumenes* sp; sendo que a eficiência de controle pode atingir até 70%.

Para aumentar a eficiência do controle biológico por esses predadores, uma das alternativas pode ser a preservação e/ou revegetação de matas nativas.

O controle biológico do bicho-mineiro por parasitóides apresenta cerca de 18% de eficiência. É realizado pelos microhimenópteros *Colastes letifer*, *Mirax* sp (Hymenoptera: Braconidae), *Closterocerus coffeella*, *Horismenus* sp (Hymenoptera: Eulophidae) e *Proacrias* sp (Hymenoptera: Entedontidae) (Reis et al., 1975; Souza et al., 1980 citados por Reis et al., 2002).

O controle biológico do bicho-mineiro por entomopatógenos é realizado por bactérias e fungos, tais como, *Erwinia herbicola* (Enterobacteriaceae) e *Pseudomonas aeruginosa* (Schroeter) Migula (Pseudomonadaceae) que são os microorganismos mais eficientes e conhecidos em epizootios de lagartas do bicho-mineiro, com ocorrência de 65% e 90%, respectivamente (Robbs et al., 1976; Robbs, 1977 citados por Reis et al., 2002).

O controle do bicho-mineiro por biocaldas, como por exemplo, supermagro e biofertilizantes, tem sido experimentado empiricamente em diversas propriedades produtoras de café orgânico. Há resultados satisfatórios em determinadas localidades, porém há carência de pesquisas nessa área.

A calda viçosa é uma variação da calda bordalesa, ou seja, é uma mistura de cobre, cal e nutrientes (sulfato de zinco, sulfato de magnésio, ácido bórico e sulfato de potássio). Chalfoun & Chalfoun (2000) pesquisaram o efeito de aplicação de viça-café (calda viçosa industrializada) sobre o controle de doenças, bicho-mineiro e vigor dos cafeeiros. A aplicação de viça-café nos períodos de janeiro a março e fevereiro a abril foi altamente eficiente no controle de ferrugem e cercosporiose nos frutos e auxiliar no controle de cercosporiose e bicho-mineiro nas folhas dos cafeeiros.

A utilização de caldas cúpricas na agricultura brevemente será proibida àqueles que são produtores orgânicos legitimados por alguma certificadora de reconhecimento internacional. Na verdade, a IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements/Federação Internacional de Movimentos de Agricultura Orgânica) já havia estabelecido que a partir de 2002 estaria proibido o uso desse tipo de insumo. Porém, as diretrizes para padrão de qualidade Orgânico do Instituto Biodinâmico (11^a edição/2002) relatam que o uso de cobre e os sais de cobre constituem uma exceção até o presente momento, uma vez que não há outra alternativa e que seu uso já é tradicional na agricultura orgânica. Relata ainda que o uso de cobre, sob qualquer forma, em agricultura orgânica, deve ser visto como temporário e deve ser restrito no que se refere a impacto ambiental. O IBD possui credenciamento IFOAM, ISO 65, DAR e USDA, é representante no Brasil do 'Demeter International', tem reconhecimento do Conseil d'Accréditation Du Québec e um acordo com a certificadora OCIA – JAPAN para a certificação com o selo JAS.

O motivo dessa possível proibição deve-se ao fato desse insumo ser oriundo de um processo totalmente antibiótico, não se diferindo, portanto, do controle químico convencional. Há, contudo, menor impacto ambiental, pois procura-se matar ou controlar o agente invasor-parasita via resgate químico da lavoura. Além disso, há também o fato de alguns solos de produtores “orgânicos” já acumularem até 30 ppm de cobre o que, sem dúvida alguma, não é nada natural e muito menos orgânico (Garcia, 2002).

2.4.2 Broca-do-café (*Hypothenemus hampei* – Ferrari, 1867 – Coleoptera: Scolytidae)

A broca-do-café é bastante prejudicial ao cafeeiro, pois ataca os frutos em qualquer estado de maturação, desde frutos verdes até maduros (cerejas) ou secos. Originária da África, foi citada pela primeira vez no Brasil em 1922, sendo que hoje encontra-se alastrada por todas as regiões cafeeiras (Gallo et al., 1988).

O clima pode afetar a ocorrência da broca-do-café. As chuvas influenciam direta ou indiretamente a intensidade de infestação desse inseto-praga. A ocorrência de chuvas em épocas anormais pode prejudicar a colheita, aumentando a quantidade de café caído no solo que servirá de alimento para a sobrevivência da broca na entressafra. Nessa fase, a umidade relativa do ar influi positivamente na intensidade de infestação da broca-do-café, isto é, inverno úmido com muito orvalho, favorece a sua sobrevivência. Dessa forma, culturas adensadas e/ou sombreadas podem favorecer a broca-do-café pela redução da luminosidade e manutenção de maior teor de umidade no cafezal (Moraes, 1997).

Segundo Gallo et al. (1988), quando a infestação de broca-do-café atingir valor igual ou superior a 5%, deve-se realizar o tratamento da cultura.

Para Moraes (1997), os danos provocados pela broca-do-café começam quando a infestação atinge valores de 3 a 5% ou acima de 5%.

O ataque de broca-do-café causa a redução da qualidade do café através da alteração no tipo e, às vezes, na bebida (prejuízo qualitativo). Inicialmente, os prejuízos são ocasionados pela queda de frutos. Para o cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.) foi constatado que a broca-do-café aumenta a porcentagem de queda natural de frutos da ordem de 8 a 13% (Nakano et al., 1976; Yokoyama et al., 1978 citados por Reis et al., 2002).

O controle cultural da broca-do-café constitui-se talvez no mais eficiente método de controle. Os cafeeiros devem ser plantados em espaçamentos que permitam um maior arejamento e penetração da luz, a fim de propiciar baixa umidade do ar em seu interior, condições que são desfavoráveis à praga. A colheita deve ser muito bem realizada, evitando-se que fiquem frutos nas plantas e no chão, nos quais a broca poderá sobreviver na entressafra. Após a colheita, caso tenham ficado muitos grãos nas plantas e no chão, é recomendável fazer o ‘repasse’ ou catação dos frutos remanescentes da colheita (Reis et al., 2002).

Existem armadilhas para controle físico da broca-do-café, preparadas com etanol e feromônios para atrair as fêmeas das brocas. Pode-se adicionar óleo de café à armadilha de etanol a fim de melhorar a atratividade desta (Villacorta et al., 2001). Na prática, principalmente na região do cerrado mineiro, são empregadas armadilhas de etanol improvisadas em garrafas do tipo ‘pet’, utilizando-se como atrativo café solúvel.

Presumivelmente, a explicação para o uso de óleo de café ou café solúvel está relacionada ao fato dos insetos (*Hypothenemus hampei* L.) preferirem odores de frutos maduros em comparação aos odores dos frutos verdes, como relata Medonza Mora (1991) citado por Ferreira (1998).

Segundo relatos de alguns produtores de café orgânico, no sul do Estado de Minas Gerais, o fato de suspender a utilização de agrotóxicos para combater

pragas e doenças parece diminuir significativamente a infestação de broca-do-café nas lavouras. Tal infestação a níveis que não justificam a aplicação de insumos alternativos para o controle, sendo a colheita bem realizada, com repasse, na lavoura, práticas eficientes para a redução da infestação.

Os principais microhimenópteros parasitóides de *Hypothenemus hampei* L são *Prorops nasuta* (Vespa de Uganda), *Cephalonomia stephanoderes* Bretem (Vespa da Costa do Marfim) e *Phymastichus coffea* (Vespa do Togo). *Prorops nasuta* atua como parasitóide e predador de *Hypothenemus hampei*, pois além de parasitar larvas e pupas, o adulto se alimenta de broca-de-café nas suas diferentes fases (Ferreira, 1998).

O emprego de *Prorops nasuta* no controle da broca foi utilizado, com bastante eficiência, no Estado de São Paulo até o surgimento dos organoclorados. *Prorops nasuta* é originário da África, portanto para viabilizar seu uso no Brasil eram necessárias criações massais desse microhimenóptero. Essas criações foram abandonadas com o surgimento dos organoclorados, entretanto, esse parasitóide/predador ainda sobrevive em algumas regiões cafeeiras do Brasil, apesar das condições bioecológicas não lhe serem muito favoráveis (Ferreira, 1998).

O fungo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin ocorre enzooticamente parasitando *Hypothenemus hampei* em todas as zonas cafeeiras do Brasil. O oxiclreto de cobre é altamente fungicida e esporicida para *Beauveria bassiana*. O oxiclreto de cobre pode limitar a ação patogênica deste fungo, sobre a praga, ao ser aplicado nas plantações de café para o controle de *Hemileia vastatrix* (Burneo, 1988).

Outro fungo entomopatogênico promissor no controle da broca-do-café é o *Metarhizium anisopliae* (Metsch) Sorokin (Deuteromycotina: Hyphomycetes, Moniliaceae). Segundo Lecuona et al. (1986) citados por Reis et al. (2002), esse fungo entomopatógeno causou mais de 60% de mortalidade após

três dias de sua aplicação, numa concentração de $1,5 \times 10^8$ conídios mL^{-1} , aplicados diretamente sobre os insetos ou indiretamente nos grãos e folhas.

É importante ressaltar que o uso de controle biológico tanto para pragas quanto para doenças não deve ser a única forma de amenizar a causa desses possíveis danos econômicos. O controle biológico deve fazer parte de um conjunto de medidas, atuando em harmonia com o ambiente, possibilitando, assim, uma redução dos agentes causais da infestação e/ou infecção das plantas.

2.4.3 Cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk e Cook)

A cercosporiose é uma doença causada pelo fungo *Cercospora coffeicola* (Berk e Cook), encontra-se disseminada em todas as regiões cafeeiras do mundo, é conhecida pelos nomes comuns de mancha de olho pardo, olho de pomba, “brown-eye-spot”, mancha de “hierro”, “chasparia” (Chalfoun, 1997).

Os sintomas característicos nas folhas são manchas circulares de coloração castanho-clara a escura, com o centro branco-acinzentado, quase sempre envolvidas por um halo amarelado. Nos frutos, ocorrem lesões deprimidas de coloração escura, as quais se desenvolvem no sentido polar. Podem ocorrer em frutos verdes, causando maturação precoce da casca em torno da mancha (Carvalho et al., 2002).

Na lavoura adulta, afeta a polpa do fruto, que fica aderente ao pergaminho, causando também chochamento de grãos e queda de frutos. Baixas temperaturas, alta umidade, vento frio, como também, baixas condições nutricionais são favoráveis ao desenvolvimento da doença (Thomaziello et al., 1996).

Em lavouras adultas, além das condições climáticas, a nutrição deficiente e/ou desequilibrada em solos muito argilosos, muito arenosos ou solos compactados, assim como sistemas radiculares deficientes ou pião torto, são

fatores que predisõem as plantas à doença. As condições de solo e do sistema radicular influenciam diretamente a nutrição da planta. Inúmeros trabalhos indicam que a nutrição deficiente ou desequilibrada tem efeito direto na intensidade de ataque da cercosporiose (Carvalho et al., 2002).

Doses maiores de nitrogênio diminuem a incidência de *Cercospora*, enquanto que o potássio em excesso interage negativamente com o nitrogênio diminuindo o efeito deste (Fernandez-Borrero et al., 1966; Lopez-Duque, 1972 citados por Carvalho et al., 2002). Os desequilíbrios da relação N/K também favorecem o desenvolvimento da doença. Lavouras com deficiência de nitrogênio ou excesso de potássio sofrerão maior incidência da doença (Carvalho et al., 2002).

Há pesquisadores que relatam ser o potássio um dos elementos que mais aumentam a resistência das plantas às doenças, por aumentar a respiração (Latzko, 1965 citado por Primavesi, 1990) e, com isso, a absorção de outros nutrientes, contribuindo para a viscosidade maior do plasma celular. O potássio não compõe substâncias vegetais, mas catalisa sua formação. Por isso o efeito do potássio depende da riqueza do solo em outros nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio. Mas como a eficiência do nitrogênio é baixa, devido ao seu manejo errado e à sua nitrificação deficiente, e a falta de fósforo e cálcio bem como de micronutrientes é patente, o efeito do potássio é reduzido ou negativo. É a consequência direta do aumento da respiração vegetal sem que haja o suficiente em nutrientes para absorver e metabolizar (Primavesi, 1990).

Uma alternativa para amenizar a infecção por *Cercospora* é o controle cultural, através do sombreamento dos cafeeiros (arborização) ou adensamento da lavoura (Carvalho et al., 2002 e Chalfoun, 1997). Outra alternativa é o controle dirigido, que, até o presente momento, pode ser executado através de

pulverizações com ‘supermagro’³, calda viçosa ou com outras fontes de caldas cúpricas (Carvalho et al., 2002). Alguns ensaios realizados, em nível de laboratório e viveiros de mudas da UFLA, têm demonstrado que a aplicação de extrato etanólico de própolis diluído em água pode controlar a cercosporiose, mas ainda não há resultados precisos quanto a diluição a ser utilizada (Pereira et al., 2003 e Pereira et al., 2001). Deve-se atentar para o efeito desse novo método de controle sobre a população de inimigos naturais. Sendo a própolis um antibiótico natural esta poderá, de certa forma, ocasionar um desequilíbrio no agroecossistema.

2.4.4 Ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk e Br)

Hemileia vastatrix Berk e Br é a espécie do gênero *Hemileia* que enquadra a ferrugem assinalada sobre *Coffea arabica* L. Atualmente tem mais de 40 raças fisiológicas identificadas. Este parasita obrigatório ataca principalmente espécies de café, das quais *Coffea arabica* é a mais suscetível (Carvalho et al., 2002; Chalfoun, 1997).

O manejo inadequado dos cultivos e condições de ambiente favoráveis de alta umidade e temperatura entre 21 a 25 °C propiciam a ocorrência de ferrugem, que em ataques severos promovem grande desfolha com perdas de até 50% de produtividade e na qualidade, em anos com déficit hídrico acentuado (Zambolim et al., 1985; Zambolim & Vale, 2000 citados por Oliveira et al., 2002).

Um dos pontos importantes para a ocorrência de uma epidemia de ferrugem nos cafezais é a alta densidade por área de plantas suscetíveis. Grandes áreas ou mesmo regiões inteiras com cafeeiros de cultivares suscetíveis, como a

³ Desenvolvido pela equipe CAE-IPÊ a partir dos conhecimentos de um técnico com sobrenome *Magro*. Trata-se de um adubo líquido produzido a partir da mistura de micronutrientes fermentados aeróbicamente em meio orgânico.

‘Catuaí’ e a ‘Mundo Novo’, favorecem o desenvolvimento da doença, proporcionando um maior potencial de inóculo e uma maior facilidade de disseminação destes entre as lavouras (Carvalho et al., 2002).

Várias pesquisas, como descreve Moraes (1983), presumem que o desequilíbrio nutricional e o estresse das plantas, em anos de alta carga pendente, tornam os cafeeiros mais suscetíveis à infecção por *Hemileia vastatrix* Berk e Br.

Para Carvalho et al. (2002), uma alta carga pendente pode promover a carência de alguns nutrientes nas folhas, devido à translocação desses para o fruto, tornando os cafeeiros mais suscetíveis à ferrugem. Lavouras com uma alta carga pendente podem ter até 60% mais folhas com ferrugem em relação a outras com menor carga pendente.

Segundo Chalfoun (1997), a partir de 10% de infecção há necessidade de realizar o controle químico da lavoura para evitar perdas na produtividade.

Carvalho et al. (1996) relatam que a lavoura em situação de desequilíbrio nutricional fica geralmente mais vulnerável a doenças. Esses pesquisadores constataram que baixos teores foliares de potássio propiciam maior incidência da doença.

De modo geral, teores elevados de nitrogênio tendem a aumentar a susceptibilidade, enquanto altas quantidades de potássio reduzem a susceptibilidade a muitas doenças (Krüger; 1978; Pretty, 1987 citados por Carvalho et al., 1996). A explicação para esse fato está na Teoria da Trofobiose criada por Chaboussou em 1964.

Chaboussou (1999) desenvolveu a Teoria da Trofobiose a partir de resultados de pesquisas científicas desenvolvidas sobre a resistência e susceptibilidade das plantas ao ataque de pragas e doenças e sua relação com a nutrição vegetal. Segundo essa teoria, a imunidade da planta não necessariamente tem origem no tecido vegetal, a partir de uma substância

antagônica, repulsiva ou tóxica aos parasitas (fitoalexinas) e, sim, está relacionada à ausência de elementos nutritivos primordiais ao crescimento e desenvolvimento do parasita.

Basicamente há dois processos durante o desenvolvimento da planta: proteossíntese e proteólise. A proteossíntese é responsável pela síntese de proteínas a partir de aminoácidos livres e açúcares. Esse processo diminui as substâncias solúveis circulando na seiva da planta. A proteólise é o processo inverso, ou seja, a dissolução das proteínas em aminoácidos livres, portanto esse processo aumenta a quantidade de substâncias solúveis circulando na planta. Os parasitas necessitam da proteólise que ocorre nas plantas, pois não têm condições de decompor proteínas estranhas, ou seja, somente é capaz de realizar proteossíntese. Durante o desenvolvimento da planta, pode-se relatar que a proteossíntese ocorre, por exemplo, em folhas jovens e a proteólise na floração. Em resumo, o ataque da planta por pragas e/ou doenças será realizado na medida em que seu estado bioquímico, ou seja, sua natureza genética e estado nutricional, corresponda às exigências tróficas do parasita em questão (Chaboussou, 1999).

Baseando-se na Teoria da Trofobiose (Chaboussou, 1999), o ataque de pragas e doenças em cafeeiros pode acontecer quando há maior quantidade de elementos nutritivos para o crescimento e desenvolvimento desses parasitas. Ou seja, os parasitas necessitam encontrar alimento solúvel, em forma de aminoácidos, açúcares e minerais ainda solúveis, isto é, ainda não incorporados em macromoléculas insolúveis. Isso acontece quando há inibição na proteossíntese e/ou quando há excesso de produção de aminoácidos. A inibição da proteossíntese pode ser consequência do uso de agrotóxicos e/ou de desequilíbrio nutricional da planta. Um solo com baixo teor de matéria orgânica, sem húmus, baixa atividade microbiana, com aplicações maciças de sais solúveis, não mais promove a nutrição equilibrada da planta. É comum observar

carências em micronutrientes que conseqüentemente inibem a proteossíntese. O uso exagerado de adubos nitrogenados solúveis, por sua vez, leva a uma produção exagerada de aminoácidos

Na cafeicultura, um dos principais problemas atuais é a nutrição insuficiente ou inadequada dos cafeeiros, aliada à implantação de cafezais em terras de baixa fertilidade, muitas vezes erodidas ou já cultivadas por longos anos. Várias são as pesquisas que indicam as principais deficiências e problemas nutricionais dos cafeeiros, mas há pouco ou nenhum estudo e observação relacionando o estado nutricional à maior ou menor incidência de doenças e pragas (Soraggi, 2002).

Como a partir de determinados nutrientes (C, H, O, N, Cu, Fe, Zn, Mn entre outros) as plantas realizam a proteossíntese, fica evidente que a adubação na quantidade, natureza e relação entre os diferentes elementos, tem papel fundamental no equilíbrio nutricional da planta. Como estabelecer essa ordem de relações é extremamente difícil, os elementos colocados na forma salina diretamente na planta podem provocar o desequilíbrio nutricional. Na agricultura orgânica a adubação com oligoelementos (Cu, Fe, Zn, Mn, Li, B, Co, Se, entre outros) só é possível desde que os mesmos estejam disponíveis à planta em uma forma orgânica. Sendo assim, foram desenvolvidas várias formulações que visam um adubo orgânico enriquecido com micronutrientes fornecendo à planta os nutrientes requeridos, tais como o supermagro (Peña, 2002).

A aplicação de biocaldas, como é o caso do supermagro, e de caldas cúpricas pode ser uma alternativa de controle para a ferrugem. Porém, não se deve ultrapassar 3 Kg Cu/ha/ano, segundo as normas de produção da IFOAM.

Outra alternativa para o controle da ferrugem é a implantação de lavouras com cultivares resistentes ao ataque de *Hemileia vastatrix*. De acordo com Mendes & Guimarães (1997), as cultivares oriundas do cruzamento entre as espécies de *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, como o híbrido de Timor, o

Icatu e outros, apresentam resistência ao patógeno da ferrugem. Segundo Carvalho et al. (2002), entre as cultivares resistentes, já em cultivo no país, destacam-se: Icatu, Oeiras MG 6851, Obatã, Tupi, Iapar 59, IBC Palmas e Catucaí.

Como controle cultural para a ferrugem pode-se realizar podas nos cafeeiros, evitar espaçamentos adensados e dar preferência ao cultivo a pleno sol, ou seja, evitar sombreamento da lavoura (Carvalho et al., 2002). Ao se adotar as recomendações para controle cultural da ferrugem, como consequência favorece-se a infestação da lavoura por cercosporiose.

Fungos das espécies *Verticillium hemileiae*, *Cladosporium hemileiae* e *Glomerella cingulata* são normalmente encontrados parasitando pústulas de ferrugem. Quando as condições ambientais são favoráveis, podem, em maior ou menor grau, diminuir o potencial de inóculo (Carvalho et al., 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 O município de Poço Fundo/MG

O município de Poço Fundo foi escolhido para esta pesquisa, principalmente, pelo pioneirismo dessa região em trabalhar com agricultura orgânica. Vários pesquisadores já desenvolveram trabalhos em Poço Fundo, sendo o mais recente realizado por Gonçalves (2003).

Poço Fundo está localizado na bacia do Rio Grande (médio Rio Grande) na região Sul do Estado de Minas Gerais (Figura 1). Segundo censo agropecuário do IBGE (1995), prevalecem, nessa localidade, micro e pequenas propriedades agrícolas, sendo que 49,4% dos estabelecimentos rurais possuem área total de até 10 ha. Dos 15.148 habitantes desse município, mais de 44% residem no meio rural (censo demográfico do IBGE, 2000), sendo, em sua maioria, agricultores familiares. Baseado no levantamento realizado por Homem de Melo (2001), a agricultura familiar no Brasil⁴ corresponde a 85,2% (4.139 mil estabelecimentos) do total de estabelecimentos; a 30,5% (107,8 milhões de ha) da área total; a 37,9% (R\$ 18,1 bilhões) do valor bruto da produção; e a 25,3% (R\$ 938 milhões) do financiamento total. A agricultura familiar emprega 13,8 milhões de trabalhadores, sendo 1,3 milhão na forma de assalariados (permanentes e temporários). Esses números são extremamente expressivos, evidenciando a importância dessa categoria de produtores.

⁴ Nesse levantamento, limita-se até a 100 ha de área total a propriedade familiar.



FIGURA 1: Localização Geográfica do município de Poço Fundo. Fonte: www.cidades.mg.gov.br consulta em 20/06/02.

Poço Fundo está situada no Bioma Mata Atlântica. A altitude máxima dessa localidade é de 1.435 metros e mínima de 885 metros, sendo a pluviosidade média de 1592,7 mm. O relevo da região é denominado como “mar de morros”, e no município é predominantemente ondulado (60%) (Aguilar, 1992), com áreas montanhosas (20%) e planas (20%) (IBGE, 1995). Prevalcem os solos classificados como latossolos, argissolos, gleissolos e organossolos. As características de solo e relevo variam no município, o que possibilita uma certa diferenciação nas atividades econômicas (Carrieri, 1992). O cultivo de café representa 48,4% do total da área cultivada no município (IBGE, 1995).

A fim de selecionar os agroecossistemas para iniciar as coletas das amostras em janeiro de 2001, visitou-se o município em outubro de 2000. E por intermédio da Associação de Pequenos Produtores de Poço Fundo, foi possível conhecer algumas propriedades.

Além do tempo de manejo orgânico dos agroecossistemas, também foram observadas diferenças visuais nos tipos de solo, relevo, altitude e cultivares.

A área rural do município é dividida em aproximadamente 40 bairros. A Associação dos Pequenos Produtores de Poço Fundo/MG divide o município em quatro núcleos, Jacutinga, Cardoso, Barreiro e Bocaina; e em cinco bairros isolados, Dourado dos Lopes, Pinhalzinho, Barro Amarelo, Piedade, Serra dos Coutinho. Essa é a divisão utilizada para a gestão interna da Associação (Gonçalves, 2003). Esta pesquisa foi desenvolvida em duas propriedades do Bairro Cardoso e em uma propriedade do núcleo Dourado dos Lopes.

A comercialização do café orgânico é realizada principalmente através da Associação; processo que comporta uma série de acordos, regras e normas que facilitam as vendas. Essa comercialização demanda uma série de ações, como seleção e envio de amostras de café para os compradores, as burocracias necessárias, a realização dos contatos e outros procedimentos operacionais. A rede de comercialização do café articula pontos localizados em diferentes regiões do mundo. As relações são articuladas no nível local, regional, nacional e mundial. Neste nível, há a intermediação de compradores - exportadores nacionais e estrangeiros, ou de outros produtores de café que exportam diretamente seus próprios produtos. O café orgânico de Poço Fundo já foi comercializado em países como EUA e Japão (Gonçalves, 2003).

Outra estratégia de comercialização passa pela utilização da estrutura da Cooperativa Coorgânica Jequitibá, na qual são cooperados e, da unidade de processamento gerida pela Escola Agrotécnica de Machado (inaugurada em 2002). Essa unidade possui equipamentos para beneficiar, torrar, moer e empacotar o café (Gonçalves, 2003).

3.2 Agroecossistemas amostrados

A pesquisa foi desenvolvida por um período de dois anos consecutivos, em três agroecossistemas de produtores familiares. O sistema de manejo adotado

é semelhante nos três agroecossistemas. O trabalho é basicamente realizado por mão-de-obra familiar, porém em determinadas épocas do ano, como por exemplo na colheita do café, há contratação de trabalhadores.

A agricultura orgânica entre os produtores de Poço Fundo exprime um conjunto de relações com a natureza e com a sociedade, conectadas a um sistema de saber e de significados locais, tais como, instituições políticas, econômicas (produção, comercialização, distribuição e consumo), ideológicas e ainda apresenta elementos religiosos. Todo esse conjunto está entranhado em uma estrutura de saber técnico-produtivo e em uma estrutura que organiza essas ações. Comporta os diferentes espaços da produção: produção, consumo, distribuição e comercialização, articulada a espaços sócio-técnicos onde os produtores estruturam o saber técnico, o saber das *experiências*. Está em constante reação ao *sistema da técnica* no sentido de fortalecer a identidade política e econômica do grupo (Gonçalves, 2003).

A agricultura orgânica para os produtores familiares de Poço Fundo, segundo Gonçalves (2003), está inserida entre duas modalidades de manejo de produção. De um lado a agricultura orgânica e do outro o pacote tecnológico. Nesta segunda modalidade, o produtor apenas “troca de pacote”. Deixa de utilizar os produtos químicos (adubos e agrotóxicos) e utiliza uma “parafernália” de produtos permitidos pelas normas de produção orgânica.

Nas lavouras estudadas, os agricultores buscam diminuir a dependência de insumos externos à propriedade. Concordando com Gonçalves (2003), quando relata que a maioria dos agricultores, de Poço Fundo, enfatiza a necessidade de criar um manejo para cada área, respeitando as particularidades locais, podendo encontrar, entre as unidades familiares, processos e produtos comuns.

Atualmente, os agroecossistemas caracterizados nesta pesquisa estão ligados a uma certificadora de produtos orgânicos e a uma de mercado justo (FLO).

A Tabela 1 mostra a área de ocupação, a cultivar implantada, a época de plantio, o espaçamento, o número de plantas, a produção e produtividade de cada agroecossistema caracterizado.

TABELA 1: Área, cultivar, plantio, números de plantas, produção e produtividade das áreas amostradas durante os anos de 2001 e 2002. UFLA, Lavras-MG, 2003.

AGR	Área ha	Cultivar	Plantio	Espaçamento (m)	Nº de Plantas	PRODUÇÃO		PRODUTIVIDADE	
						total em sc beneficiadas		total em sc beneficiadas/ha	
						2001	2002	2001	2002
I	0,72	Catuaí vermelho	Jan/95	2,5 x 1,3	2.200	6,5	28,0	8,5	39,0
II	0,56	Catuaí vermelho	Jan/95	2,8 x 1,0	2.000	4,0	12,0	7,0	21,5
III	0,30	Icatu	Jan/98	3,0 x 0,9	1.100	0 *	10,0	0 *	33,5

* considerou-se como zero, na verdade colheu-se 10 Kg de café beneficiado/ha, ou seja, na área em pesquisa colheu-se 3 kg café beneficiado.

3.2.1 Agroecossistema I – Bairro Cardoso

A lavoura caracterizada do agroecossistema I ocupa 0,72 ha. Foi implantada em janeiro de 1995 com 2.200 pés da cultivar ‘Catuaí Vermelho’ (*Coffea arabica* L.) em espaçamento 2,5 x 1,3 m. Está sob manejo orgânico desde 1997.

Quanto ao manejo aplicado nesta área, em descrição cronológica, pode-se citar: **1994** – utilização de herbicida (glifosate); **1995** – aplicação de inseticida (fosforoditioato), calcário dolomítico (aproximadamente 1 ton), superfosfato simples, fosfato de Araxá; **1996** – aplicação de calcário dolomítico (aproximadamente 1 ton), fosfato de Araxá, nitrocálcio; **1997** – aplicação de calcário dolomítico (aproximadamente 1 ton), fosfato de Araxá, nitrocálcio

(produção de 3 sacas de café beneficiado na área); **1998** – lavoura considerada orgânica pela certificadora AAO – utilização de ajifer (600 L/ha, subproduto da empresa Ajinomoto, rico em uréia – atualmente esse produto é proibido para áreas certificadas como orgânicas, calcário dolomítico (aproximadamente 1 ton), fosfato de Araxá e casca de café (produção de 32 sacas de café beneficiado na área); **1999** – aplicação de ajifer (600 L/ha), calcário dolomítico, fosfato de Araxá, esterco de galinha, casca de café (produção de 6 sacas de café beneficiado na área); **2000** – ajifer (600 L/ha), calda viçosa, farelo de mamona (600 Kg em duas aplicações) (31 sacas de café beneficiado na área); **2001** – aplicação de Viça-Café Plus (calda viçosa comercial)⁵, farelo de mamona (600 Kg em duas aplicações), casca de café (produção de 6,5 sacas de café beneficiado); **2002** – aplicação de farelo de mamona (300 Kg em uma aplicação), casca de café (produção de 28 sacas de café beneficiado na área).

Ainda como forma de melhorar as características químicas, físicas e biológicas do solo, o produtor realiza o manejo das plantas espontâneas (comumente denominadas na agricultura convencional, como plantas daninhas) e mamona, arborização parcial da área com bananeiras, pau-pereira e cinamomo.

3.2.2 Agroecossistema II – Bairro Cardoso

A lavoura caracterizada do agroecossistema II ocupa 0,56 ha. Foi implantada em janeiro de 1995 com 2.000 pés da cultivar ‘Catuaí Vermelho’ (*Coffea arabica* L.) em espaçamento 2,8 x 1,0 m. Está sob manejo orgânico desde 1997.

⁵ É uma suspensão coloidal, basicamente composta por: cal hidratada, sulfatos (Cu, Zn, Mg, K, Mn) e ácido bórico. A aplicação de calda viçosa, bem como correções com micronutrientes não fermentados ou compostados, somente são permitidos após a comprovação da necessidade de uso (análise de solo e/ou foliar) perante a certificadora.

Quanto ao manejo aplicado nesta área, em descrição cronológica, pode-se citar: **1997** – lavoura considerada orgânica pela certificadora AAO – utilização de ajifer (600 L/ha), fosfato de Araxá, calcário dolomítico (aproximadamente 0,5 ton na área) e calda viçosa (três aplicações durante o período chuvoso); **1998** – ajifer (600 L/ha) e calda viçosa (três aplicações durante o período chuvoso); **1999** - ajifer (600 L/ha), esterco de galinha, adubação verde com guandu, calda viçosa (três aplicações durante o período chuvoso); **2000** – farelo de mamona (600 Kg em duas aplicações), casca de café e calda viçosa (1 aplicação durante o período chuvoso); **2001** – farelo de mamona (600 Kg em duas aplicações), adubação com coquetel de adubo verde (*Cajanus cajan*/guandu, *Crotalaria juncea*, milho variedade) (produção de 4 sacas de café beneficiado na área); **2002** – farelo de mamona (600 Kg em duas aplicações), adubação com coquetel de adubo verde (*Cajanus cajan*/guandu, *Crotalaria juncea*, milho variedade) (produção de 12 sacas de café beneficiado na área).

Ainda como forma de melhorar as características químicas, físicas e biológicas do solo, o produtor além de implantar coquetel de adubo verde, realiza o manejo das plantas espontâneas.

3.2.3 Agroecossistema III – Bairro Dourado dos Lopes

A lavoura caracterizada do agroecossistema III ocupa 0,36 ha. Foi implantada em janeiro de 1998 com 1.100 pés da cultivar ‘Icatu Amarelo’ (*Coffea arabica* L.), em espaçamento 3,0 x 0,9 m. Nesse agroecossistema, assim como em todo organismo agrícola ao qual está inserido, nunca foram utilizados agrotóxico e adubos químicos altamente solúveis, à exceção do ajifer. Na verdade, esse insumo era permitido, até 1999, por determinadas certificadoras, porém para a comercialização dos produtos orgânicos no mercado nacional.

Quanto ao manejo aplicado nesta área, em descrição cronológica, pode-se citar: **1997** – aplicação de calcário dolomítico (aproximadamente 0,5 ton), plantio, ajifer (600 L/ha em 2 aplicações); **1998** – aplicação de fosfato de Araxá, ajifer (600 L/ha em 2 aplicações); **1999** – farelo de mamona (300 kg); **2000** – somente manejo das plantas espontâneas (produção de 4 sacas de café beneficiado); **2001** - somente manejo das plantas espontâneas (sem produção significativa); **2002** – aplicação de farelo de mamona (300 Kg) (produção de 10 sacas de café beneficiado).

Ainda como forma de melhorar as condições de solo, o produtor aplica casca de café seca (acha que é melhor que a fermentada, através de sua própria experimentação), casca de arroz, bagaço de cana. Essas fontes de matéria orgânica são aplicadas em determinados locais da lavoura que apresentam, visualmente, maior necessidade. Ou seja, o produtor observa em qual parte da lavoura há maior necessidade de melhorar a forma de adubação. Utiliza dessa técnica como forma de diminuir a dependência de insumos externos ao organismo agrícola, pois assim consegue otimizar a adubação em todos os seus cultivos (não somente no café).

3.3 Descrição dos métodos de amostragem e análises laboratoriais

Em cada agroecossistema escolhido adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, sendo cada um desses considerado como uma parcela experimental.

O estudo constou do levantamento de dados por um período de 2 anos, perfazendo um total de quatro épocas de amostragem (análise de solo e foliar), ou seja, duas épocas durante o período chuvoso (janeiro de 2001 e de 2002) e duas épocas durante o período seco (julho de 2001 e de 2002), sendo denominados cronologicamente: **época 1** (jan/01), **época 2** (jul/01), **época 3**

(jan/02) e **época 4** (jul/02). Foi realizado um acompanhamento mensal, por dois anos, para determinação da incidência de pragas e doenças.

3.3.1 Propriedades químicas do solo

Para a determinação dos teores de nutrientes (macro e micro), pH, matéria orgânica (m.o), Al^{+3} e H^{+} , as amostragens foram feitas com trado holandês na projeção da copa do cafeeiro, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, sendo três repetições para cada profundidade nos três agroecossistemas caracterizados. Nos agroecossistemas foram estabelecidos três pontos de amostragens (repetições) com 15 pontos de coletas (amostras simples – aleatórias), formando três amostras compostas para cada profundidade, ou seja, cada amostra composta por profundidade foi formada a partir da homogeneização de 5 amostras simples coletadas em caminhamento em zig-zag pelo agroecossistema amostrado.

Coletou-se aproximadamente 1 Kg de material de solo para cada amostra composta, que foi acondicionado em saco plástico devidamente identificado. O processamento das amostras foi realizado por profissionais do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, onde o material foi seco à sombra, homogeneizado em gral de porcelana e passado por peneira com malha de 2 mm de abertura.

As análises químicas do material de solo, realizadas pelo Laboratório de Fertilidade do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, foram: P disponível; K disponível; bases trocáveis (Ca^{+2} e Mg^{+2}); pH (acidez ativa); alumínio trocável (Al^{+3}), acidez potencial (H+Al); saturação por alumínio (m), CTC efetiva (t); CTC a pH 7,0 (T), soma de bases trocáveis (SB), saturação por bases (V); matéria orgânica (m.o), enxofre (S) e micronutrientes (B, Zn, Cu, Mn e Fe).

No laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da UFLA seguiram-se as seguintes metodologias: o P e K disponíveis foram obtidos com a solução extratora Mehlich I (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N) analisados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente segundo metodologia proposta por EMBRAPA (1979); as bases trocáveis foram extraídas com KCl 1 N e determinadas por titulometria com EDTA 0,025 N, segundo metodologia proposta por Lanyon & Heald (1982); o pH em H₂O na relação 1:2,5 (solo:água) segundo metodologia de McLean (1982); o alumínio trocável foi extraído com KCl 1 N e analisado por titulometria com NaOH 0,025 N, segundo Barnhisel & Bertsch (1982); a matéria orgânica total foi determinada segundo a metodologia relatada por Kiehl (1985); o enxofre foi determinado por turbidimetria, conforme Blanchar et al. (1965).

O teor de B disponível foi determinado por extração com água quente e quantificado por fotocolorimetria, segundo Reisenauer et al. (1973). Os demais micronutrientes foram extraídos através da solução Mehlich I (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N) e quantificados em espectrofotômetro de absorção iônica conforme descrevem Rajj et al. (1987).

Os valores de CTC efetiva, CTC a pH 7,0, soma de bases e saturação de alumínio foram obtidos de maneira indireta através dos valores de acidez potencial, bases trocáveis e alumínio trocável, assim como descrito pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999).

3.2.2 Propriedades físicas do solo

Para a determinação das propriedades físicas do solo realizaram-se amostragens na projeção da copa dos cafeeiros, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, sendo três repetições para cada profundidade amostrada em cada um dos três agroecossistemas caracterizados. As amostras coletadas foram do

tipo indeformadas (anel volumétrico) com estrutura natural e que sofreram um mínimo de perturbação, sendo determinadas a porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e de partícula.

Determinou-se a umidade atual do solo através do método que utiliza estufa a 105-110 °C, segundo descrição de Uhland (1951). Coletaram-se amostras dos solos com estrutura deformada nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, que foram acondicionadas em latas de alumínio numeradas e de peso conhecido. Após determinação do peso do conjunto com solo úmido, colocou-se em estufa a 105-110 °C, até obtenção de peso constante. A porcentagem de umidade foi calculada segundo a expressão:

$$\text{Umidade (\%)} = \frac{100 (\text{peso da amostra úmida} - \text{peso da amostra seca})}{\text{peso da amostra úmida}}$$

A densidade de partículas, expressa em g cm⁻³, foi determinada pelo método do balão volumétrico com álcool etílico, segundo metodologia descrita pela EMBRAPA (1979), e calculada a partir da expressão:

$$\text{Densidade de partícula} = \frac{\text{peso da amostra seca a } 105 - 110^{\circ} \text{ C}}{(50 - \text{volume de álcool gasto})}$$

Na determinação de densidade do solo, utilizaram-se amostras indeformadas retiradas do cilindro de Uhland (anel volumétrico), e secas em estufa a 105-110 °C por 24 horas, para determinação do peso seco. A densidade foi então obtida pela razão entre o peso da amostra seca e o volume do cilindro, conforme metodologia descrita pela EMBRAPA (1979).

O volume total de poros foi calculado a partir dos volumes de densidade do solo e densidade de partículas, através da equação proposta por Vomocel (1965):

$$\text{Volume total de poros (\%)} = \left[1 - \frac{\text{densidade do solo}}{\text{densidade de partícula}} \right] \times 100$$

Para determinação da macro e microporosidade, utilizou-se o método descrito por Oliveira (1968), ou seja, através de unidades de sucção, sendo as amostras com estrutura indeformada submetidas à tensão de 0,006 Mpa, para medir a porosidade capilar (microporosidade) e não capilar (macroporosidade). A porcentagem de água (expressa em volume) retida nas amostras, após equilíbrio, corresponde à microporosidade do solo, e a macroporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a capilar.

A textura do solo foi determinada a partir da análise por tamanho de partículas, conforme descrito por Brady (1989).

3.3.3 Propriedades microbiológicas do solo

Para determinação das variáveis microbiológicas do solo (biomassa carbono, taxa de colonização micorrízica, respiração e identificação de micorrizas arbusculares) coletou-se na projeção da copa dos cafeeiros, nos três agroecossistemas caracterizados, amostra de solo de volume igual a 20 x 20 x 10 cm de profundidade (4 dm³). Em cada uma das quatro épocas de amostragem realizaram-se três repetições por agroecossistema analisado. As amostras de solo coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos e, para que não interrompesse o processo de respiração do solo, os sacos plásticos foram amarrados com um pedaço de papel enrolado no centro, permitindo, assim, trocas de gases com o ambiente externo. Essas amostras foram colocadas em caixa de isopor, onde permaneceram até a chegada ao Laboratório de Microbiologia do Solo do Departamento Ciência do Solo da UFLA, onde foram armazenadas em câmara fria (4 - 5 °C) até serem processadas.

De cada amostra, após destorroamento manual e peneiragem, foram separadas todas as raízes dos cafeeiros. Essas foram lavadas em água corrente e preservadas em frascos com F.A.A. (formalina 6%, ácido acético 27% e álcool 4,6%) para avaliação da colonização micorrízica. Após a retirada das raízes separou-se uma porção de cerca de 300 cc de solo de cada amostra que foi conservada na câmara fria, até o processamento de laboratório, para extração de esporos/50 g de solo e identificação das espécies de fungos micorrízicos em cada agroecossistema.

A colonização micorrízica foi estimada em amostras de 1 g de raízes pelo método da placa quadriculada (Giovanetti & Mossi, 1980), empregando-se raízes clarificadas com KOH 10% e coradas com azul de trifano (Kormanik & Mc Graw, 1982; Phillips & Hayman, 1970).

A extração dos esporos do solo foi através do método de peneiragem por via úmida (Gerdemann & Nicolson, 1963), em uma amostra de 50 mL de solo e separados de fragmentos por centrifugação em água a 3.000 rpm durante 3 minutos e, em sacarose 45%, a 2.000 rpm por 2 minutos. Após a extração, os esporos foram transferidos para placas e contados com o auxílio de microscópio estereoscópio (40 vezes). Para a caracterização e identificação em nível de espécies, os esporos foram transferidos para lâminas microscópicas montadas em lactofenol, e cada lâmina foi observada em microscópio composto com aumento entre 400 e 1.000 vezes, sendo a classificação taxonômica feita segundo Mortons & Redecker (2001) citados por Moreira & Siqueira (2002).

O número de esporos no solo, com sua respectiva identificação, foi utilizado para cálculos de índices de riqueza, de diversidade e de coeficiente de similaridade dos agroecossistemas (Brower & Zar, 1984), sendo calculado a partir das expressões:

$$Da = \frac{(s-1)}{\ln(N)}$$

Da: índice de riqueza de Margalef;

s: n° de espécies;

N: total de indivíduos

$$H' = - \sum p_i \ln p_i; \text{ onde : } p_i = \frac{n_i}{N}$$

H': índice de diversidade de Shannon-Winer;

n_i: espécies encontradas;

N: n° de indivíduos

$$Cs = \frac{2c}{s_1 + s_2}$$

Cs: coeficiente de similaridade

C: n° de espécies comuns em ambas comunidades

s₁ e s₂: n° de espécies nas agroecossistemas 1 e 2

A respiração do solo foi avaliada através do método de titulação com captura de CO₂ por NaOH (0,05 M). A determinação do CO₂ foi mensurada por titulação com HCl (0,05 M). O cálculo da respiração, como descreve Moreira e Siqueira (2002), pode ser obtido através da seguinte expressão:

$$\text{CO}_2 \text{ (mg)/Ss/t} = \frac{(\text{V}_0 - \text{V}) \times 1,1}{\text{Ps}}$$

Ss: quantidade de solo seco da amostra

T: tempo de incubação (horas)

Vo: volume de HCl usado para titulação da testemunha sem amostra (mL)

V: volume de HCl usado para titulação da amostra do solo

Ps: peso seco de 1 grama de solo úmido

1,1: fator de conversão (1mL 0,05 M NaOH = 1,1 mg CO₂)

As amostras de solo para a determinação da biomassa de carbono, após o peneiramento para a retirada de fauna e de raízes (biomassa não microbiana), tiveram a umidade ajustada para aproximadamente 60% da capacidade de campo. O método utilizado para a determinação da biomassa carbono foi o de fumigação-extração proposto por Vance et al. (1987). Nesse método, as amostras não são incubadas, o carbono liberado pela morte dos microorganismos pelo clorofórmio é determinado por extração (K₂SO₄), oxidação e digestão química, seguidas de titulação, conforme relatado por Moreira & Siqueira (2002). A biomassa carbono é calculada pela fórmula:

$$\text{BM} = \frac{\text{C}_F - \text{C}_{\text{NF}}}{\text{K}_{\text{EC}}}$$

C_F: carbono extraído do solo fumigado; C_{NF}: carbono extraído do solo não fumigado; K_{ec}: proporção total de carbono microbiano extraído após fumigação, que para solos ácidos tropicais é de 0,30.

3.3.4 Análises foliares

Para determinação dos teores de nutrientes foliares (macro e micronutrientes) dos agroecossistemas coletaram-se amostras de folhas no terço mediano da planta, localizadas no 3º ou 4º par de folhas dos cafeeiros, nos quatro lados da planta (pontos cardeais). As amostras foram retiradas de plantas de cada agroecossistema, sendo que as plantas foram escolhidas aleatoriamente a partir de caminhamento em zig-zag pela lavoura. Em cada uma das quatro épocas estudadas, realizaram-se três repetições (50 folhas/repetição) para diagnose foliar nos agroecossistemas caracterizados.

As amostras de folhas foram acondicionadas em sacos de papel e, após coleta, encaminhadas ao Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. No laboratório, as folhas foram lavadas em água corrente e enxaguadas em água destilada, e em seguida colocadas para pré-secagem em papel toalha, sendo posteriormente acondicionadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C até atingirem peso constante. O material seco foi triturado em moinho inoxidável passando por peneira de 1 mm de malha, segundo metodologia descrita por Martinez et al. (1999).

Para a determinação do N, foi realizada a digestão sulfúrica e para Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, S, P e K realizou-se a digestão nitro-perclórica. Para a determinação do B realizou-se a digestão por via seca (incineração).

Após a realização da digestão, o teor de N foi determinado por titulação, sendo o volume gasto de HCl (0,07143 N) igual à porcentagem de N encontrada na amostra.

As quantificações dos teores de P, Ca, Mg, Zn, Mn e Cu foram realizadas através de leitura em espectrofotômetro de absorção atômica. O teor

de K foi quantificado por espectrofotômetro de chama e o teor de B e S a partir do espectrofotômetro colorimétrico.

Todos esses procedimentos para diagnose dos teores foliares são rotina do Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. Para maiores informações quanto aos métodos laboratoriais para análise foliar consultar Malavolta et al. (1989).

3.3.5 Pragas e doenças

A determinação de infestação por pragas e incidência de doenças em folhas foi realizada a partir de coletas mensais durante o período de janeiro de 2001 a dezembro de 2002.

A amostragem de folhas para determinação da flutuação populacional do bicho-mineiro e incidência de cercospora foi realizada nos três terços (superior, mediano e inferior) de cada planta tomada aleatoriamente através de caminhamento em zig-zag em cada agroecossistema caracterizado. Coletaram-se em cada terço do cafeeiro, cinco folhas do 3º ou 4º par em cada lado da planta (pontos cardeais), num total de 10 plantas por agroecossistema, sendo 200 folhas/terço. As folhas foram acondicionadas em sacos de papel para posterior contagem. A porcentagem de infestação por bicho-mineiro e infecção por cercospora foi determinada segundo a expressão:

$$\text{Infestação ou Infecção (\%)} = \frac{\text{nº de folhas com lesão}}{2}$$

No caso da determinação flutuacional de bicho-mineiro consideraram-se apenas as minas intactas.

Para a determinação da ferrugem, utilizaram-se as mesmas amostras de folhas coletadas para determinação da incidência de bicho-mineiro e cercospora,

porém, a ferrugem foi quantificada somente no terço mediano dos cafeeiros. A porcentagem de infecção por ferrugem foi determinada segundo a expressão citada anteriormente.

A determinação da incidência de cercospora em frutos foi realizada nos meses de abril, maio e junho de 2001 e 2002. Devido às áreas dos agroecossistemas serem pequenas e considerando que qualquer perda na produção, por menor que fosse, implicaria em menor retorno financeiro aos agricultores envolvidos nesta pesquisa, realizou-se amostragem não destrutiva. Foram observadas 10 plantas tomadas ao acaso (caminhamento em zig-zag) em seis pontos/planta (dois pontos por terço, na face exposta na entrelinha). Considerou-se em cada ponto uma unidade de amostra composta por 10 frutos agrupados por ramo. A porcentagem de infecção por cercóspera nos frutos foi determinada segundo a expressão:

$$\text{Cercóspera (\%)} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de frutos lesados} \times 100}{\text{n}^\circ \text{ total de frutos avaliados}}$$

A infestação por broca nos frutos também foi determinada a partir de amostragens não destrutivas. Foram realizadas observações mensais a partir de janeiro de cada ano desta pesquisa até a colheita do café em cada agroecossistema. A infestação por broca foi quantificada a partir da observação de 32 plantas tomadas aleatoriamente (caminhamento em zig-zag) por agroecossistema, sendo 6 pontos/planta (2 pontos por terço, na face exposta na entrelinha). A porcentagem de infestação por broca nos frutos foi determinada segundo a expressão:

$$\text{Broca (\%)} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de frutos broqueados} \times 100}{\text{n}^\circ \text{ total de frutos avaliados}}$$

As metodologias descritas neste tópico foram orientadas por pesquisadores da EPAMIG – Centro Tecnológico do Sul de Minas Gerais. Algumas alterações foram realizadas para adaptação à realidade do local, como, por exemplo, a observação da incidência de broca e cercóspera nos frutos. A metodologia original recomenda que os frutos sejam coletados para posterior quantificação.

3.3.6 Delineamento experimental e análises estatísticas

Para todas as variáveis analisadas utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado.

Para as variáveis relacionadas às características físicas e químicas do solo adotou-se esquema fatorial com três agroecossistemas, quatro épocas de avaliação, três profundidades e três repetições, correspondendo a um total de 108 amostras para cada característica de solo avaliada (física e química). Com relação às características microbiológicas do solo, o esquema fatorial foi semelhante ao descrito anteriormente, porém apenas em uma profundidade (0-10 cm), correspondendo a um total de 36 amostras. Para as variáveis relacionadas aos teores químicos foliares, utilizou-se o esquema fatorial com três agroecossistemas, quatro épocas de avaliação e três repetições, correspondendo a um total de 36 amostras.

Aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparar os efeitos dos agroecossistemas com os efeitos das épocas (jan/01, jul/01, jan/02 e jul/02), e quando pertinente incluiu-se o efeito da profundidade (0-10, 10-20 e 20-40 cm).

Para atingir a normalidade realizou-se a transformação $(\sqrt{x+1})$ dos dados referentes a algumas variáveis químicas (P, K, Mg, Al, m, S, Zn, Mn e Ca/Mg) e microbiológicas (biomassa microbiana, respiração e taxa de colonização

micorrízica) do solo, conforme Banzatto & Kronka (1995). Para facilitar a visualização dos resultados mantiveram-se, nas tabelas das respectivas variáveis, os valores dos dados não transformados.

Os dados referentes às variáveis físicas, químicas e biológicas nas diferentes épocas de amostragem e na profundidade 0-10 cm foram submetidos à análise de componentes principais (PCA), utilizando-se o programa PC-ORD (Mc Cune & Mefford, 1997). Também utilizou-se a análise de componentes principais para variáveis químicas do solo na profundidade 0-10 cm e variáveis químicas foliares nas diferentes épocas de amostragem.

As análises ordenando as variáveis relacionadas às características físicas, químicas e biológicas do solo, bem como a ordenação das variáveis químicas do solo e folha, objetivam sintetizar a variação multidimensional dos dados analisados em um diagrama, ordenando-os nos eixos, de acordo com suas similaridades em termos das variáveis utilizadas (Kent & Coker, 1992 citados por Alvarenga, 1996).

Na PCA envolvendo as características físicas, químicas e biológicas do solo foram selecionadas as variáveis, químicas: Ca, Mg, P, Zn, Mn, K, Fe, B e Cu; físicas: macro e microporosidade, densidade do solo e umidade atual; biológicas: respiração.

Na PCA envolvendo as características químicas do solo e das folhas, foram selecionadas com relação ao solo: V, Ca, Mg, P, Cu, m.o, Mn, T, B, Zn e K; com relação às folhas: P, Ca, Fe, S e Mg.

Essa abordagem multivariada consistiu de um procedimento de ordenação, através da análise de componentes principais e de agrupamento. Em ambos os casos as variáveis foram padronizadas a fim de reduzir efeitos de escala. As amostras (agroecossistemas) e as variáveis (solo e folha) foram transformadas em coordenadas (escores), que correspondem à sua projeção nos eixos de ordenação ou autovetores, representando o peso de cada parcela ou

variável sobre o eixo, as quais podem ser vistas como equivalentes ao grau de correlação destas com o eixo em questão (Souza, 1996). O auto-valor, que é a soma ao quadrado dos escores de cada eixo, representa o maior grau de correlação possível de todas as parcelas ou variáveis com o eixo e dá uma indicação direta da contribuição relativa de cada eixo para a explicação da variância total dos dados (Ter Braak, 1987 citados por Alvarenga, 1996).

Um ponto qualquer plotado no diagrama (representando uma parcela de amostragem de um certo agroecossistema) pode ser relacionado a cada seta (representando um parâmetro do solo e/ou folha), através de uma perpendicular partindo da linha da seta até o referido ponto. A ordem na qual os pontos projetam-se na seta, da sua extremidade até a sua origem dá uma indicação dessa relação. Agroecossistemas com sua projeção perpendicular próxima ou além da ponta da seta são mais positivamente correlacionados e influenciados pelo parâmetro em questão. Aquelas na extremidade oposta são influenciadas em menor grau. O ângulo de inclinação de cada seta com relação a cada eixo, indica quão estreitamente correlacionado está o parâmetro com esse eixo, conforme relata Alvarenga (1996).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características físicas do solo nos agroecossistemas de cafeeiros sob manejo orgânico

4.1.1 Densidade do solo (DS); Porosidade total (PT), Macroporosidade (Macro) e Microporosidade do solo (Micro)

A densidade é a relação entre a quantidade de massa do solo e o volume ocupado pela mesma; portanto está diretamente relacionada com a porosidade do solo, imprescindível para as trocas gasosas e hídricas com as plantas.

Os solos agrícolas funcionam como um sistema complexo que retém e transmite água, ar, nutrientes e calor às plantas e demais fatores vitais diretamente correlacionados a ele. Portanto, torna-se fundamental um ambiente físico favorável ao crescimento radicular e produtividade das culturas (Letey, 1985; Hamblin, 1985).

A análise de variância (Tabela 2) mostra diferença significativa nos valores de DS entre agroecossistemas, épocas, profundidades e para a interação profundidade x época. Os valores médios encontrados para essa variável estão apresentados na Tabela 3. Observa-se que a DS foi maior no agroecossistema I, nas três profundidades analisadas (0-10, 10-20 e 20-40 cm), principalmente no período chuvoso (jan/02 para profundidade 0-10 e 10-20 e jan/01 para profundidade 20-40). Apesar de estatisticamente significativa, a diferença apresentada não é relevante, pois os valores médios encontrados em todos os agroecossistemas e profundidades amostrados nas diferentes épocas de coleta oscilaram de 1,13 a 1,27 g cm⁻³, não atingindo os níveis intransponíveis para o

TABELA 2: Resumo da análise de variância (nível de significância) das características físicas do solo, em função dos agroecossistemas, profundidades e épocas de amostragem. UFLA, Lavras-MG, 2003.

Causas da Variação	G.L.	DS	VTP	Microposidade	Macroposidade	U
AGROECOSSISTEMAS	2	**	**	**	**	**
ÉPOCA	3	*	*	**	**	**
PROFUNDIDADE	2	*	ns	ns	ns	ns
AGRO X ÉPOCA	6	*	*	*	**	**
AGRO X PROF	4	Ns	ns	ns	ns	ns
ÉPOCA X PROF	6	Ns	ns	ns	*	*
AGRO X ÉPOCA X PROF	12	Ns	ns	ns	ns	ns
Resíduo	72					
CV %		5,62	5,10	12,16	23,08	14,07
Média geral		1,19 g cm⁻³	52,13 %	36,46 %	16,03 %	25,06 %

n.s. – não significativo ($p \geq 0,05$); * significativo ($p < 0,05$); ** significativo ($p < 0,01$)

TABELA 3: Médias dos valores de DENSIDADE DO SOLO nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média g cm ⁻³	10 – 20 cm			Média g cm ⁻³	20 – 40 cm			Média g cm ⁻³
	I	II	III		I	II	III		I	II	III	
E 1	1,20 A	1,07 B	1,10 AB	1,12 b	1,27 A	1,10 B	1,17 AB	1,18 b	1,30 A	1,10 B	1,23 A	1,21 a
E 2	1,23 A	1,06 B	1,13 AB	1,14 ab	1,22 A	1,17 A	1,20 A	1,20 ab	1,25 A	1,14 A	1,19 A	1,19 a
E 3	1,29 A	1,22 AB	1,14 B	1,22 a	1,32 A	1,26 A	1,22 A	1,26 a	1,26 A	1,18 AB	1,13 A	1,19 a
E 4	1,27 A	1,16 A	1,14 A	1,19 ab	1,21 A	1,18 A	1,19 A	1,20 ab	1,27 A	1,21 AB	1,12 B	1,20 a
Média	1,25 A	1,13 B	1,13 B		1,26 A	1,18 B	1,19 AB		1,27 A	1,16 B	1,17 B	

CV = 5,62. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

crescimento e desenvolvimento das raízes do cafeeiro, a qual, segundo Kopper (1977) citado por Primavesi (1990), não deve ultrapassar $1,4 \text{ g cm}^{-3}$.

O fato da DS dos agroecossistemas estar abaixo do nível considerado limitante às raízes do café deve-se à não utilização de máquinas nas áreas caracterizadas. Os agroecossistemas estudados, além da topografia acidentada, são de agricultores familiares que utilizam a capina manual e/ou roçada como forma de controle das plantas espontâneas – que na agricultura convencional são denominadas como plantas daninhas, deixando os restos vegetais dessas plantas como cobertura morta no solo, concordando com Tormena et al. (2002); Lal, (2000) e Klute (1982), quando afirmam que em regiões tropicais, se a cultura e seu manejo provocam menor perturbação ao solo e propiciam a manutenção de resíduos na superfície, esta favorece a qualidade física do solo, sem restrições ao crescimento radicular e controla a erosão, reduzindo a degradação do solo e do meio ambiente.

Quando a DS teve um ligeiro aumento em seu valor pode-se observar que a porosidade total e macroporosidade diminuíram. A porosidade total decresceu em profundidade nos três agroecossistemas analisados independentemente da época de amostragem. Quanto à microporosidade, ocorreu uma compensação, pois a diminuição da porosidade total ocorre, inicialmente, transformando poros grandes em pequenos, com tendência a aumentar a água retida pelo solo, como foi observado no agroecossistema III. Apesar de não diferir significativamente do agroecossistema II, o agroecossistema III apresentou valores menores de macroporosidade. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Muller et al. (2001) ao estudar solos submetidos a pastagens.

Os resultados obtidos sugerem que a capacidade de aeração do solo segue em ordem crescente nos agroecossistemas III<I<II. A macroporosidade é uma medida diretamente relacionada com a difusão de oxigênio no solo para as

raízes, portanto determina a capacidade de aeração do solo (Erickson, 1982). Valores de macroporos abaixo de 10-15%, são geralmente adotados como restritivos para o crescimento e produtividade da maioria das culturas. A capacidade de aeração do solo depende das condições climáticas, sendo que os valores críticos de macroporosidade devem ser ampliados sob condições mais úmidas (Thomasson, 1978, citado por Tormena et al., 2002). Nos agroecossistemas estudados foi detectada porosidade total acima de 48,86%, porém valores de 10,34% a 23,41% de macroporosidade foram os valores médios encontrados. Constatou-se, no agroecossistema III, valores inferiores de macroporosidade em relação aos demais agroecossistemas – principalmente no período chuvoso – esse resultado pode estar correlacionado ao maior teor de argila das camadas de solo desse agroecossistema, conforme discutido a seguir.

O resumo da análise de variância (Tabela 2) mostra diferença significativa para os valores de porosidade total (PT), micro e macroporosidade entre os agroecossistemas, épocas e para a interação agroecossistema x época. Os valores médios para essas variáveis são apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6.

Pode-se observar na Tabela 6 que o agroecossistema III apresentou maiores valores de microporosidade que os demais agroecossistemas, o que era esperado pois nesse agroecossistema foi diagnosticado maior teor de argila, nas camadas de solo analisadas, que nos demais agroecossistemas – Tabela 7 (valor médio de 55,56%). Além de apresentar maior porcentagem de microporos, o agroecossistema III não diferiu significativamente quanto à porosidade total, ao ser comparado com o agroecossistema II (Tabela 4). O agroecossistema II apresentou maior valor de macroporosidade, e também elevada porcentagem de areia (Tabelas 4, 5 e 8).

TABELA 4: Médias dos valores de VOLUME TOTAL DE POROS nos solos dos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e a 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média %	10 – 20 cm			Média %	20 – 40 cm			Média %
	I	II	III		I	II	III		I	II	III	
E 1	51,83 A	55,33 A	51,83 A	53,00 a	51,47 A	54,00 A	51,83 A	52,43 a	46,17 B	55,63 A	48,07 B	49,96 a
E 2	50,70 B	57,25 A	55,34 AB	54,43 a	51,00 A	53,33 A	52,31 A	52,21 a	49,98 A	54,30 A	52,85 A	52,38 a
E 3	48,54 B	51,11 AB	54,36 A	51,34 a	47,35 A	49,59 A	51,36 A	49,43 a	49,42 B	52,73 AB	54,70 A	52,28 a
E 4	49,61 B	54,06 AB	54,93 A	52,87 a	52,15 A	53,20 A	52,79 A	52,71 a	49,86 B	52,03 AB	55,76 A	52,55 a
Média	50,17 B	54,44 A	54,11 A		50,49 A	52,53 A	52,07 A		48,86 B	53,67 A	52,85 A	

CV = 5,10. Valores de mesma letra na horizontal (maiúscula) e vertical (minúscula) não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade (teste de Tukey)

TABELA 5: Médias dos valores de MACROPOROS DO SOLO nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média %	10 – 20 cm			Média %	20 – 40 cm			Média %
	I	II	III		I	II	III		I	II	III	
E 1	16,93 A	23,67 A	7,87 B	16,16 a	15,43 B	22,73 A	6,40 C	14,86 a	10,97 B	24,97 A	4,03 B	13,32 b
E 2	18,05 B	26,34 A	16,57 B	20,32 a	19,45 A	21,03 A	13,86 A	18,11 a	17,01 AB	21,76 A	14,42 B	17,73 ab
E 3	5,45 B	17,42 A	10,13 B	11,00 b	6,26 B	15,52 A	8,88 AB	10,22 b	9,59 B	21,83 A	15,44 AB	15,62 ab
E 4	15,60 B	26,22 A	14,86 B	18,90 a	19,52 A	22,36 A	12,21 B	18,03 a	16,31 A	21,01 A	17,07 A	18,13 a
Média	14,01 B	23,41 A	12,36 B		15,16 B	20,41 A	10,34 C		13,47 B	22,39 A	12,74 B	

CV=23,08. Valores de mesma letra na horizontal (maiúscula) e vertical (minúscula) não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade (teste de Tukey)

TABELA 6: Médias dos valores de MICROPOROS DO SOLO nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média %	10 – 20 cm			Média %	20 – 40 cm			Média %
	I	II	III		I	II	III		I	II	III	
E 1	34,90 B	31,67 B	43,97 A	36,84 ab	36,03 B	31,27 B	45,43 A	37,57 a	35,20 B	30,67 B	44,03 A	36,63 a
E 2	32,65 B	30,91 B	51,69 A	38,42 ab	31,56 A	32,30 A	38,45 A	34,10 a	32,98 A	32,54 A	38,43 A	34,65 a
E 3	43,09 A	33,69 B	44,23 A	40,34 a	41,09 A	34,07 A	42,48 A	39,21 a	39,83 A	30,90 B	39,27 B	36,67 a
E 4	34,01 AB	27,84 B	40,06 A	33,97 b	32,64 AB	30,84 B	40,58 A	34,69 a	33,55 A	31,01 A	38,68 A	34,42 a
Média	36,16 B	31,03 C	44,99 A		35,33 B	32,12 B	41,74 A		35,39 B	31,28 B	40,10 A	

CV=12,16. Valores de mesma letra na horizontal (maiúscula) e vertical (minúscula) não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade (teste de Tukey)

TABELA 7: Médias dos teores de ARGILA nos agroecossistemas I, II e III e nas profundidades 0-10 / 10-20 / 20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

AGROECOSSISTEMAS	PROFUNDIDADES			Média
	0-10	10-20	20-40	%
I	41,67 b	43,33 b	45,00 b	43,33 b
II	41,00 b	39,33 b	41,00 b	40,44 c
III	53,00 a	56,33 a	57,33 a	55,56 a
Média	45,22 A	46,33 A	47,77 A	

CV = 4,80. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 8: Médias dos teores de AREIA nos agroecossistemas I, II e III e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

AGRO	PROFUNDIDADES			Média
	0-10	10-20	20-40	%
I	46,00 a	43,33 b	41,00 b	43,44 b
II	48,67 b	49,00 a	47,00 a	48,22 a
III	30,00 b	29,33 c	25,00 c	28,11 c
Média	41,56 A	40,56 AB	37,67 B	

CV = 6,02. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Quando se considera a porcentagem de macroporos em função da época (Tabela 5), pode-se observar uma tendência de maior porcentagem de macroporos no período seco, nos três agroecossistemas estudados, principalmente no agroecossistema II. Essa maior porcentagem de macroporos no agroecossistema II resultou numa tendência de menor disponibilidade de água para as plantas, conforme pode ser observado na Tabela 9. O agroecossistema III apresentou comportamento oposto ao do agroecossistema II, ou seja, maior porcentagem de microporos (Tabela 6) nas épocas de amostragens e maior porcentagem de umidade de solo (Tabela 9).

Nem sempre a maior microporosidade corresponde à melhor disponibilidade de água para as plantas, pois neste caso, o solo do agroecossistema III não apresentou boa drenagem – sendo observado, visualmente, encharcamento no período chuvoso. Dessa forma, ao se comparar os agroecossistemas, observa-se que o I e II, que apresentaram macroporosidade superior ao agroecossistema III, têm provavelmente melhor drenagem e menor risco de erosão, maior facilidade de penetração do sistema radicular, maior condutividade hidráulica e maior disponibilidade de água para as plantas, concordando com os resultados apresentados por Alvarenga & Davide (1999) e Alvarenga (1996).

TABELA 9: Médias dos valores de UMIDADE DO SOLO nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10 / 10-20 / 20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média %	10 – 20 cm			Média %
	I	II	III		I	II	III	
E 1	26,17 B	25,97 B	36,07 A	29,40 b	27,83 B	25,67 B	37,30 A	30,27 a
E 2	15,21 AB	13,89 B	21,29 A	16,80 c	16,96 A	18,05 A	21,10 A	18,70 b
E 3	34,65 B	28,10 B	42,79 A	35,18 a	31,60 AB	27,23 B	36,67 A	31,83 a
E 4	17,68 AB	13,40 A	24,57 A	18,55 c	15,32 A	18,62 AB	24,53 A	19,49 b
Média	23,43 B	20,34 B	31,18 A		22,93 B	22,39 B	29,89 A	

Continuação da Tabela 9

ÉPOCA	20 – 40 cm			Média %
	I	II	III	
E 1	25,77 B	25,73 B	34,23 A	28,58 a
E 2	17,95 A	20,59 A	22,68 A	20,40 b
E 3	32,11 A	23,23 B	36,22 A	30,52 a
E 4	18,27 A	20,80 A	23,79 A	20,95 b
Média	23,52 B	22,59 B	29,23 A	

CV = 14,07. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.1.2 Umidade atual e textura do solo

Camadas superficiais que impedem a circulação de ar, compactação, textura e baixa umidade do solo prejudicam o desenvolvimento radicular da planta, sendo considerados como fatores que influem negativamente sobre a produtividade dos solos (Primavesi, 1990) e sobre a proliferação de microorganismos, como por exemplo, de micorrizas arbusculares (Moreira & Siqueira, 2002).

O resumo da análise de variância dos dados da umidade atual do solo está apresentado na Tabela 2 e a comparação das médias pode ser observada na Tabela 9. A partir da Tabela 2 verifica-se que houve diferença significativa para agroecossistemas, épocas e para as interações agroecossistema x época e épocas x profundidades.

Em linhas gerais, os maiores teores de umidade do solo foram observados no agroecossistema III, durante o período chuvoso, nas três camadas de solo avaliadas. O teor de umidade do solo tendeu a diminuir com a profundidade no período chuvoso e no período seco, sugerindo que a retenção de água no solo foi influenciada pela matéria orgânica, em virtude de sua grande capacidade de retenção de umidade.

O comportamento da umidade do solo nos agroecossistemas I e II foi semelhante nas diferentes profundidades e épocas de amostragem. Ou seja, o solo apresentou uma tendência de maior retenção de água durante o período chuvoso, sendo que o teor de umidade reduz com a profundidade. No período seco o comportamento foi o inverso, houve tendência de aumentar o teor de umidade conforme o aumento da profundidade do solo. Apesar de esses agroecossistemas apresentarem maior teor de matéria orgânica no solo em comparação ao agroecossistema III (Tabela 10), a textura desses solos provavelmente influenciou na capacidade de retenção de água nas profundidades

(efeito significativo para teor de areia nos agroecossistemas e profundidades – Tabela 8) . Esses agroecossistemas (I e II) apresentaram tendência de maior teor de areia na camada superficial (0-10 cm) diminuindo com a profundidade; à medida que o teor de areia decresce com a profundidade, há uma elevação no teor de argila (Tabelas 8 e 7).

TABELA 10: Médias dos teores de MATÉRIA ORGÂNICA (Oxidação: $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 4N + H_2SO_4 10 N) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média dag/Kg	10 – 20 cm			Média dag/Kg
	I	II	III		I	II	III	
E 1	2,07 A	2,03 A	2,03 A	2,04 b	2,00 A	2,00 A	1,87 A	1,96 b
E 2	1,83 A	1,60 A	1,27 A	1,57 c	1,33 A	1,30 A	1,80 A	1,48 c
E 3	2,73 B	3,43 A	2,90 AB	3,02 a	2,47 A	2,47 A	1,43 B	2,12 ab
E 4	3,07 A	3,30 A	3,00 A	3,12 a	2,23 A	2,63 A	2,57 A	2,48 a
Média	2,43 AB	2,59 A	2,30 B		2,01 A	2,10 A	1,92 A	

Continuação da Tabela 10

ÉPOCA	20 – 40 cm			Média dag/Kg
	I	II	III	
E 1	1,67 A	1,87 A	1,40 A	1,64 b
E 2	1,07 B	1,03 B	1,93 A	1,34 b
E 3	1,90 B	1,47 B	3,00 A	2,12 a
E 4	1,80 A	2,33 A	2,10 A	2,08 a
Média	1,61 B	1,68 B	2,11 A	

CV = 14,34. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.2 Propriedades químicas do solo nos diferentes agroecossistemas

4.2.1 Fósforo no solo (P)

O resumo da análise de variância para P no solo (Tabela 11) apresentou efeito significativo para agroecossistemas, épocas, profundidades e para as interações agroecossistemas x épocas, épocas x profundidades e

agroecossistemas x épocas x profundidades. Os valores médios encontrados para essa variável, bem como os níveis de significância para o teste de Tukey estão apresentados na Tabela 12.

Comparando-se as médias dos teores de P nos diferentes agroecossistemas, observa-se que o teor desse macronutriente apresentou maior concentração na camada superficial do solo (0-10 cm). Isto pode ser explicado devido a movimentação do P no perfil ser bastante reduzida, provavelmente pela sua baixa concentração na solução do solo (Cunha, 1995).

No agroecossistema I, na profundidade 0-10 cm, foi diagnosticada maior concentração de P que nos demais agroecossistemas. Provavelmente devido à lenta liberação do P das últimas adubações com fosfato de Araxá realizadas nas lavouras em 1999/00 (nos agroecossistemas II e III realizou-se adubação com fosfato de Araxá em 1997/98).

O nível adequado de P no solo para o cafeeiro em produção estabelecido pela CFSEMG (1999) para solos com 35- 60% de argila é de 9,1 a 13,5 mg dm⁻³. A partir dessa referência, nota-se que na profundidade 0-10 cm, o nível de P estava adequado para os três agroecossistemas (Tabela 12). Ainda pode-se observar na Tabela 12, que há uma tendência de aumento no teor de P no decorrer das épocas de amostragem, provavelmente devido à lenta liberação desse nutriente através da adubação com fosfato natural de baixa reatividade (Araxá). Como as últimas adubações com fosfato de Araxá foram efetuadas em 97/98 (agroecossistemas II e III) e 99/00 (agroecossistema I) esse aumento crescente no teor de P nas épocas amostradas deve-se ao fato da lenta liberação desse nutriente, como explicado por Lopes (1999).

O nível de P no solo estava adequado para os três agroecossistemas na camada 0-10 cm, enquanto nas outras profundidades analisadas o teor de fósforo estava abaixo do recomendado para a cultura, porém o teor foliar desse

TABELA 11: Resumo da análise de variância (nível de significância) das características químicas do solo, em função dos agroecossistemas, profundidades e épocas de amostragem. UFLA, Lavras-MG, 2003.

Causas da Variação	G.L	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	CTC
AGROECOSSISTEMAS	2	**	*	*	**	**	**	**	**	**	**
ÉPOCA	3	**	**	*	**	**	ns	**	**	**	*
PROFUNDIDADE	2	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
AGRO X ÉPOCA	6	**	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns
AGRO X PROF	4	**	**	ns	**	ns	**	ns	**	**	*
ÉPOCA X PROF	6	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**
AGRO X ÉPOCAXPROF	12	**	*	**	**	**	ns	ns	**	**	**
Resíduo	72	**									
CV %		4,20	30,25	19,13	34,43	8,91	7,89	17,60	32,72	20,98	7,96
Média geral		5,28	9,43	49,57	1,64	0,75	0,57	5,27	2,53	3,09	7,80
			mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³

Continuação da Tabela 11

m	V	MO	S	B	Zn	Cu	Mn	Fe	Ca/Mg	Ca/T	Mg/T	K/T	Ca/K	Mg/K
**	**	Ns	**	*	*	**	ns	**	**	**	**	**	**	*
**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
**	**	**	**	ns	**	**	**	**	Ns	**	**	**	**	ns
ns	Ns	*	**	**	ns	**	ns	**	**	ns	*	ns	**	ns
*	*	**	**	ns	ns	*	ns	ns	Ns	**	ns	ns	ns	ns
**	**	**	**	ns	ns	**	**	**	Ns	**	**	*	ns	ns
**	**	**	ns	ns	**	ns	**	*	*	**	**	**	ns	ns
27,75	31,17	14,34	15,97	35,91	15,54	14,79	16,39	22,65	19,10	31,76	19,79	12,39	31,76	18,73
24,49	31,50%	2,08	17,11	0,37	2,18	1,29	15,89	84,10	2,88	20,45	9,50	1,75	12,29	5,42
	%	dag/Kg	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³						

n.s. – não significativo (p≥0,05); * significativo (p<0,05); ** significativo (p<0,01)

macronutriente apresentou-se acima do nível de adequação para o café, conforme será discutido a seguir. Esse fato pode ser explicado (Martinez et al., 2000) devido à capacidade tampão dos fosfatos nos solos, característica essa relacionada à textura do solo. As lavouras estudadas estão situadas em solos com mais de 35% de argila e quanto maior a capacidade tampão de fosfatos, menores serão os teores de P disponível, dosados por extrator sensível ao fator capacidade, como o Mehlich-1.

Outra hipótese, para o fato do teor de P no solo estar abaixo do recomendado para a cultura e o teor foliar do mesmo apresentar-se acima do nível de adequação para o café, pode ser atribuída aos microorganismos do solo solubilizadores de fosfatos inorgânicos. Esses microorganismos desempenham importante papel no suprimento de P para as plantas, conforme relata Silva Filho & Vidor (2001).

No solo, 25 a 65% de fósforo encontram-se organicamente fixado, estando 35 a 75% fixado em minerais. A análise de rotina para determinação de nutrientes facilmente solúveis só abrange parte do fósforo fixado nos minerais e o fósforo fixado organicamente não é detectado. Mas tanto plantas como microorganismos podem segregar enzimas que disponibilizam o fósforo organicamente fixado (Scheller, 2001).

O Ca como nutriente é necessário à atividade enzimática e à estrutura da membrana de alguns microorganismos do solo, e sua deficiência favorece a solubilização de fosfatos do solo. O K participa da atividade enzimática do metabolismo de carboidratos e do balanço iônico, e sua deficiência provoca maior liberação de ácidos orgânicos. Esses ácidos, ao serem liberados favorecem a solubilização de fosfatos (Griffin, 1994; Mackay et al., 1986; Robinson & Syers, 1990; Paris et al., 1996 citados por Silva Filho & Vidor, 2001). Ou seja, o baixo teor de P no solo e alto teor nas folhas encontrados nos agroecossistemas

estudados podem estar correlacionados à baixa quantidade de K dos solos e assim como à tendência de baixo teor de Ca também encontrada nesses solos, conforme será discutido a seguir. A deficiência de Ca e K nos solos pode ter favorecido a liberação de ácidos orgânicos solubilizadores, possibilitando maior eficiência na absorção de fósforo pelas plantas e menor teor desse elemento (quantificável pelo extrator Mehlich I) no solo.

Os fungos micorrízicos arbusculares também podem ter influenciado na absorção de fósforo pelas plantas. Lopes et al. (1983b) revelaram ser o cafeeiro altamente dependente de fungos micorrízicos para a absorção de P_2O_5 , a partir da observação do efeito benéfico da inoculação de mudas de cafeeiro com *Gigaspora margarita*.

TABELA 12: Médias dos teores de FÓSFORO (extrator Mehlich I) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10 / 10-20 / 20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média mg dm ⁻³	10 – 20 cm			Média mg dm ⁻³
	I	II	III		I	II	III	
E 1	4.67 A	8.00 A	1.67 A	4,78 c	4.33 A	3.67 A	3.33 A	3,78 ab
E 2	16.77 A	23.33 A	2.90 B	14,33 b	4.77 A	3.10 A	5.00 A	4,29 b
E 3	49.83 A	12.03 B	18.07 B	26,64 a	10.40 A	3.80 A	2.83 A	5,68 a
E 4	31.83 A	17.87 A	14.23 A	21,31 ab	12.53 A	11.87 A	4.70 A	9,70 a
Média	25,78 A	15,31 A	9,22 B		8,01 A	5,61 A	3,97 A	

Continuação da Tabela 12

ÉPOCA	20 – 40 cm			Média mg dm ⁻³
	I	II	III	
E 1	4.33 A	4.67 A	4.00 A	4,33 a
E 2	3.33 B	3.27 B	30.00 A	12,20 a
E 3	5.77 A	2.07 A	1.20 A	3,01 a
E 4	3.63 A	3.63 A	1.90 A	3,06 a
Média	4,27 A	3,41 A	9,28 A	

CV = 30,25. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.2.2 Potássio no solo (K)

Na Tabela 11 (resumo da análise de variância), pode-se verificar que o K no solo apresentou efeito significativo para agroecossistema, época, profundidade e para as interações época x profundidade e agroecossistema x época x profundidade. Os valores médios encontrados para essa variável, bem como os níveis de significância para o teste de Tukey estão apresentados na Tabela 13.

Há uma tendência de maior concentração de K na profundidade 0-10 cm em comparação às outras profundidades nos três agroecossistemas avaliados, apesar do K, segundo Kiehl (1985), ter boa mobilidade no solo. Porém os resultados deste estudo quanto ao teor de K no solo concordam com Cunha (1995), que comparou o nível desse macronutriente de um cafezal com uma mata nativa.

Os três agroecossistemas analisados estão sob manejo orgânico, o qual dispensa a utilização de adubos altamente solúveis, portanto o fornecimento de K ao solo desses cafezais se faz principalmente pela adição de casca de café, reciclagem por plantas espontâneas e adubação verde. Uma vez que o K não participa de combinações orgânicas na planta, como acontece com o N, P e S, ele é um elemento ativo na planta, porém em forma livre, sendo por isso prontamente liberado para o solo quando restos vegetais são a ele incorporados (Kiehl, 1985).

O nível adequado de K no solo para o cafeeiro em produção é de 120 a 200 mg dm⁻³ (CFSEMG, 1999). A partir desses dados nota-se que o nível de K, nos três agroecossistemas e três profundidades analisadas nas quatro épocas de amostragem, estava abaixo do limite inferior considerado ideal para a cultura do café (Tabela 13). Embora nos três agroecossistemas, os produtores tenham a preocupação em aumentar o fornecimento de matéria orgânica ao solo, a

quantidade disponibilizada ainda é insuficiente para a cultura, uma vez que os resultados da análise foliar para K (Tabela 14) apresentaram uma tendência de deficiência desse nutriente em todos os agroecossistemas e épocas de amostragem, à exceção do agroecossistema III em jan/01 e jan/02, que apresentou teores foliares de K dentro do nível de adequação para a cultura, mesmo com o solo apresentando deficiência nessas referidas épocas.

TABELA 13: Médias dos teores de POTÁSSIO (extrator Mehlich I) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10 / 10-20 / 20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média mg dm ⁻³	10 – 20 cm			Média mg dm ⁻³
	I	II	III		I	II	III	
E 1	71,67 A	38,67 A	44,33 A	51,56 b	51,33 A	27,00 A	31,67 A	36,67 a
E 2	81,33 A	65,67 AB	35,00 B	60,67 b	50,00 A	26,33 A	52,00 A	42,78 a
E 3	100,00 A	66,67 A	108,00 A	91,56 a	63,00 A	58,67 A	39,67 A	53,78 a
E 4	63,33 A	61,00 A	67,33 A	63,89 ab	47,67 A	51,00 A	49,67 A	49,44 a
Média	79,08 A	58,00 A	63,67 A		53,00 A	40,75 A	43,25 A	

Continuação da Tabela 13

ÉPOCA	20 – 40 cm			Média mg dm ⁻³
	I	II	III	
E 1	44,00 A	24,33 A	19,00 A	29,11 a
E 2	33,33 B	18,67 B	119,00 A	57,00 a
E 3	31,67 A	29,00 A	25,33 A	28,67 a
E 4	31,00 A	30,67 A	27,67 A	29,78 a
Média	35,00 AB	25,67 B	47,75 A	

CV = 19,13. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 14: Médias dos teores foliares de POTÁSSIO (dag Kg⁻¹) nos agroecossistemas I, II e III nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	AGROECOSSISTEMAS			Média
	I	II	III	
E 1	1,90 AB	1,73 B	2,09 A	1,91 b
E 2	2,01 A	1,80 A	1,92 A	1,91 b
E 3	2,01 B	2,01 B	2,38 A	2,13 a
E 4	1,91 A	1,83 A	1,99 A	1,91 b
Média	1,96 B	1,84 B	2,10 A	

CV = 6,34. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O fato do agroecossistema III ter apresentado deficiência no teor de K no solo e teores foliares dentro do nível de adequação à cultura pode ser atribuído à metodologia de análise utilizada. Ou seja, quantificou-se o K trocável do solo (extrator Mehlich I) que, segundo Meurer & Anghinoni (1993), pode não ser um bom índice para prever a absorção de K pelas plantas. Nesse agroecossistema, o K não trocável presente no solo pode ter suprido a exigência nutricional do cafeeiro. Embora, segundo Vale et al. (1997), a reserva de K não trocável não seja prontamente disponível, esta pode vir a exercer importante papel no suprimento de K às plantas a médio/longo prazo, após o esgotamento do K trocável. Com o abaixamento da concentração de K na solução do solo e aumento da concentração de íons H^+ - exsudado pela raiz com a absorção de K^+ - aumenta a liberação de K^+ fixado, em troca com os íons H^+ . Embora a contribuição do K não trocável para a nutrição das plantas só ocorrer após sensível redução da reserva de K trocável e ser mais significativa em solos menos intemperizados e em horizontes sub-superficiais, no Brasil – mesmo em solos mais intemperizados – tem-se observado significativa contribuição de K não trocável para a nutrição de plantas.

No agroecossistema III em jan/01 e jan/02, épocas em que o teor de K foliar apresentou-se dentro do nível de adequação e o teor de K no solo estava deficiente, observa-se que a concentração de íons H^+ no solo foi superior (5,43 e 4,08, valores médios das três profundidades em jan/01 e jan/02, respectivamente) ao se comparar com jul/01 e jul/02 (3,77 e 3,04, respectivamente). De onde se infere que o K^+ fixado nesse solo em jan/01 e jan/02 possa ter contribuído para a nutrição dos cafeeiros, a partir de sua liberação pela troca com íons H^+ . Os valores de íons H^+ do solo foram obtidos a partir das tabelas apresentadas no item 4.2.4 a seguir.

4.2.3 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) no solo

A análise estatística para o Ca apresentou efeito significativo para agroecossistemas, épocas, profundidades e para as interações agroecossistema x profundidade, época x profundidade e agroecossistema x época x profundidade (Tabela 11). Para o Mg, o efeito significativo, foi semelhante ao do Ca (Tabela 11).

Comparando-se as médias dos teores de Ca e Mg diagnosticados nos agroecossistemas observa-se que houve maior concentração de Ca e Mg na profundidade 0-10 cm, sendo que o agroecossistema I apresentou maior teor desses nutrientes no solo que os outros agroecossistemas (Tabelas 15 e 16). Possivelmente devido ao efeito residual da calagem, com calcário dolomítico, realizada em época anterior ao início desta pesquisa (1998/99). Nos outros agroecossistemas a última calagem foi realizada em 1997/98.

Analisando-se o efeito das profundidades dentro de épocas e de agroecossistemas, observa-se que houve uma diferença significativa entre profundidades, sendo os maiores teores de Ca observados na camada superficial do solo (0-10 cm), o que pode ser atribuído ao Ca advindo da matéria orgânica, bem como ao Ca aplicado através da calagem. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Alvarenga (1996), apesar do Ca, bem como K e Mg, serem provenientes dos minerais do solo, sendo pequena a contribuição da matéria orgânica como fornecedora de Ca e Mg. Todavia, Kiehl (1985) relata que a matéria orgânica oferece valiosa contribuição no fornecimento de Ca e Mg, pois elevados teores em húmus no solo garantem o suprimento desses elementos às raízes; os colóides inorgânicos e orgânicos adsorvem eletrostaticamente o Ca e Mg, retendo-os em uma forma trocável, disponível às plantas, exercendo o importante papel de evitar perdas por lavagens. O Ca e o Mg são adsorvidos pelos colóides ou encontram-se na solução do solo como catiônicos (Ca^{+2} e

Mg⁺²), formas nas quais são absorvidos pelas raízes. Considerando-se que a capacidade do húmus de adsorver esses nutrientes é cerca de 30 vezes maior do que a capacidade de troca catiônica da caulinita, mineral de argila que predomina nos solos brasileiros, compreende-se a importância da matéria orgânica como fonte de Ca e Mg.

O nível adequado de Ca para a maioria dos solos brasileiros é de 2,41 a 4 cmolc dm⁻³ e de Mg é de 0,91 a 1,50 cmolc dm⁻³ (CFSEMG, 1999). A partir dessa referência, nota-se que na profundidade 0-10 cm, o nível de Ca e Mg estava adequado, principalmente, para os agroecossistemas I e II (Tabelas 15 e 16). Nessas tabelas, pode-se observar nos agroecossistemas, que há uma tendência de elevação no teor de Ca e Mg no decorrer das épocas de amostragens.

Observa-se ainda que os teores de Ca e Mg, no agroecossistema I, foi superior aos valores encontrados nas demais áreas desta caracterização. Esses resultados possibilitam inferir que o aumento do teor desses nutrientes também pode estar correlacionado ao efeito residual da calagem (calcário dolomítico) aplicada no agroecossistema I em 1999/00, uma vez que a calagem nos demais agroecossistemas foi realizada em 1997/98. Assim como os maiores valores de pH e V, e menor teor de Al (0-10 cm), que foram observados no solo desse agroecossistema, podem ter sido influenciados pelo efeito residual da calagem com calcário dolomítico. Segundo Furlani Jr et al. (2001), a aplicação de calcário dolomítico tem por finalidade o aumento do pH, V e Mg do solo, devido à constituição química desse tipo de calcário.

TABELA 15: Médias dos teores de CÁLCIO (extrator KCl 1N) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média cmol _c dm ⁻³	10 – 20 cm			Média cmol _c dm ⁻³	20 – 40 cm			Média cmol _c dm ⁻³
	I	II	III		I	II	III		I	II	III	
E 1	1,90 A	1,50 A	0,87 A	1,42 c	1,13 A	1,23 A	0,73 A	1,03 b	1,07 A	0,97 A	0,37 A	0,80 a
E 2	3,53 A	2,77 A	0,57 B	2,29 b	1,57 A	0,83 A	1,00 A	1,13 b	1,07 AB	0,80 B	2,13 A	1,33 a
E 3	4,73 A	2,63 B	2,43 B	3,27 a	2,17 A	1,23 AB	0,83 B	1,41 ab	1,13 A	0,73 A	0,57 A	0,81 a
E 4	4,30 A	2,80 B	2,77 B	3,29 a	2,67 A	1,77 AB	1,43 B	1,96 a	1,27 A	0,90 A	0,80 A	0,99 a
Média	3,62 A	2,43 B	1,66 C		1,88 A	1,27 B	1,00 B		1,13 A	0,85 A	0,97 A	

CV = 34,43. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 16: Médias dos teores de MAGNÉSIO (extrator KCl 1N) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média cmol _c dm ⁻³	10 – 20 cm			Média cmol _c dm ⁻³	20 – 40 cm			Média cmol _c dm ⁻³
	I	II	III		I	II	III		I	II	III	
E 1	0,77 A	0,23 A	0,47 A	0,49 b	0,70 A	0,13 A	0,30 A	0,38 b	0,43 A	0,30 A	0,17 A	0,30 b
E 2	1,17 A	0,80 AB	0,20 B	0,72 b	0,67 A	0,33 A	0,63 A	0,54 b	0,67 B	0,27 B	1,83 A	0,92 a
E 3	1,77 A	1,17 A	1,67 A	1,53 a	0,80 A	0,63 A	0,50 A	0,64 b	0,67 A	0,20 A	0,20 A	0,36 b
E 4	1,37 A	1,20 A	1,77 A	1,44 a	1,07 A	1,07 A	1,10 A	1,08 a	0,63 A	0,50 A	0,60 A	0,58 ab
Média	1,27 A	0,85 B	1,03 AB		0,81 A	0,54 A	0,63 A		0,60 AB	0,32 B	0,70 A	

CV = 8,91. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.2.4 Acidez ativa (pH), Alumínio trocável (Al^{+3}), Acidez potencial (H+Al) e Saturação por alumínio (m)

Para o pH, conforme sintetizado na Tabela 11, observa-se efeito significativo para agroecossistemas e todas as interações. Os valores médios determinados para essa variável são apresentados na Tabela 17.

Em relação ao Al^{+3} , houve efeito significativo para agroecossistemas, profundidades e para as interações agroecossistemas x profundidades e épocas x profundidades (Tabela 11). Na Tabela 18, pode-se verificar os valores médios determinados para essa variável.

Para H+Al, ocorreu efeito significativo para agroecossistemas, épocas e profundidades e para as interações épocas x profundidades (Tabela 11). Os valores médios determinados para essa variável podem ser observados na Tabela 19.

Na Tabela 11, pode-se observar o efeito significativo para agroecossistemas, épocas e profundidades e para as interações agroecossistemas x profundidades, épocas x profundidades e agroecossistemas x épocas x profundidades com relação à variável saturação por Al (m). Os valores médios de m podem ser observados na Tabela 20.

Comparando-se as médias dos valores dos agroecossistemas para pH, Al^{+3} e H+Al (Tabelas 17, 18 e 19) pode-se observar que para essas variáveis a tendência foi praticamente a mesma, ou seja, conforme aumentou-se a profundidade de coleta de amostras houve também um aumento no teor de Al, pH e H+Al, nos três agroecossistemas analisados. Resultado semelhante ao obtido por Alvarenga & Davide (1999) e Alvarenga (1996) ao pesquisarem ecossistemas com cultura anual, pois nesse ecossistema a calagem na superfície precipitou o Al, de forma que as variáveis a ele correlacionadas apresentaram-se menores na superfície.

TABELA 17: Médias dos valores de pH (em água, KCl e CaCl₂ – 1:2,5) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média	10 – 20 cm			Média	20 – 40 cm			Média
	I	II	III		I	II	III		I	II	III	
E 1	5,17 A	5,23 A	5,13 A	5,18 c	5,00 A	5,00 A	5,03 A	5,01 b	5,10 A	4,97 A	4,97 A	5,01a
E 2	5,57 A	5,43 A	4,90 B	5,30 c	5,00 A	4,87 A	5,03 A	4,97 b	4,93 B	4,97 B	5,77 A	5,22 a
E 3	6,80 A	5,63 B	5,77 B	6,07 a	5,53 A	5,10 A	5,27 A	5,30 a	5,03 A	5,07 A	5,03 A	5,04 a
E 4	6,00 A	5,40 B	5,77 AB	5,72 b	5,60 A	5,20 A	5,57 A	5,46 a	5,17 A	5,00 A	5,17 A	5,11 a
Média	5,88 A	5,43 B	5,39 B		5,28 A	5,04 B	5,23 AB		5,06 AB	5,00 B	5,23 A	

CV = 4,20. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 18: Médias dos teores de ALUMÍNIO (extrator KCl 1N) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas: E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média Cmol _c dm ⁻³	10 – 20 cm			Média cmol _c dm ⁻³	20 – 40 cm			Média cmol _c dm ⁻³
	I	II	III		I	II	III		I	II	III	
E 1	0,60 A	0,60 A	0,30 A	0,50 a	0,73 A	0,87 A	0,47 A	0,69 ab	0,60 A	0,77 A	0,40 A	0,59 a
E 2	0,23 A	0,27 A	0,57 A	0,36 ab	0,83 AB	1,20 A	0,57 B	0,87 a	0,93 A	1,13 A	0,13 B	0,73 a
E 3	0,03 A	0,27 A	0,10 A	0,13 b	0,37 B	0,90 A	0,50 AB	0,59 ab	0,73 AB	1,20 A	0,43 B	0,79 a
E 4	0,07 A	0,30 A	0,10 A	0,16 b	0,40 AB	0,80 A	0,23 B	0,48 b	0,93 AB	1,37 A	0,47 B	0,92 a
Média	0,23 A	0,36 A	0,27 A		0,58 B	0,94 A	0,44 B		0,80 B	1,12 A	0,36 C	

CV = 7,89. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 19: Médias dos teores de H + Al (extrator SMP) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média cmol _c dm ⁻³	10 – 20 cm			Média cmol _c dm ⁻³	20 – 40 cm			Média cmol _c dm ⁻³
	I	II	III		I	II	III		I	II	III	
E 1	6,63 A	6,83 A	5,63 A	6,37 a	7,37 A	7,60 A	5,83 A	6,93 a	6,10 A	7,07 A	6,00 A	6,39 a
E 2	4,03 A	5,03 A	4,50 A	4,52 b	5,70 AB	7,07 A	4,87 B	5,88 ab	5,87 A	6,30 A	3,23 B	5,13 b
E 3	2,53 B	4,80 A	3,57 AB	3,63 bc	4,73 B	7,13 A	5,20 B	5,69 bc	5,23 AB	6,60 A	4,50 B	5,44 ab
E 4	2,83 B	4,70 A	2,57 B	3,37 c	4,33 AB	6,00 A	3,63 B	4,66 c	5,10 AB	6,83 A	3,73 B	5,22 b
Média	4,01 B	5,34 A	4,07 B		5,53 B	6,95 A	4,88 B		5,58 B	6,70 A	4,37 C	

CV = 17,60. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 20: Médias dos teores de ÍNDICE DE SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO (m) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10 / 10-20 / 20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média %	10 – 20 cm			Média %	20 – 40 cm			Média %
	I	II	III		I	II	III		I	II	III	
E 1	24,10 A	27,37 A	17,93 A	23,13 a	30,90 A	38,13 A	29,70 A	32,91 a	29,33 A	40,63 A	40,87 A	36,94 a
E 2	5,33 B	6,67 B	40,33 A	17,44 a	26,33 A	49,67 A	27,33 A	34,44 a	34,00 A	50,67 A	4,00 B	29,56 a
E 3	0,67 A	7,33 A	2,33 A	3,44 b	11,67 A	32,00 A	28,33 A	24,00 ab	28,00 A	54,33 A	33,67 A	38,67 a
E 4	1,67 A	7,00 A	2,33 A	3,67 b	10,67 A	21,67 A	8,67 A	13,67 b	34,00 A	48,00 A	26,00 A	36,00 a
Média	7,94 A	12,09 A	15,73 A		19,89 B	35,37 A	23,51		31,33 B	48,41 A	26,13 B	

CV = 27,75. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 17, verifica-se que há uma tendência da acidez ativa (pH) aumentar com a profundidade, ou seja, verificou-se que à medida que se aumenta a profundidade de coleta de amostras há um aumento na acidez do solo. Porém, em todos os agroecossistemas, profundidades e épocas de amostragens, pode-se notar que o solo apresentou acidez considerada média de acordo com a CFSEMG (1999). Na camada superficial (0-10 cm), a acidez ativa (pH) foi menor no agroecossistema I, bem como o teor de Al^{+3} e a H+Al, fato que pode ser atribuído ao efeito residual da calagem – no agroecossistema I, a última calagem foi em 99/00, enquanto nos outros agroecossistemas, em 97/98. Segundo Raij (1991), o alumínio é a causa da acidez excessiva de solos, sendo um dos responsáveis pelos efeitos desfavoráveis da acidez dos solos sobre os vegetais, por ser um elemento fitotóxico. A partir da explicação dada por Raij (1991), pode-se supor que a tendência da acidez ativa ser mais acentuada em camadas mais profundas pode estar atrelada ao aumento no teor de Al^{+3} do solo nessas profundidades.

No agroecossistema III, a acidez ativa apresentou uma tendência em manter o mesmo valor nas três profundidades analisadas; sendo o nível de alumínio trocável considerado baixo nas três profundidades e épocas e o nível de acidez potencial foi mais baixo no agroecossistema III, quando comparado ao agroecossistema I.

Em relação à saturação de alumínio (**m**), observa-se que esse índice apresentou-se dentro do tolerado para a cultura do cafeeiro (25% segundo a CFSEMG, 1999) na camada superficial (0-10 cm) para os três agroecossistemas. Há ainda uma tendência de aumentar esse índice na medida em que a amostragem distancia-se da camada superficial do solo, alcançando níveis acima do tolerado pela cultura do café, na profundidade 20-40 cm (Tabela 20).

O fato da acidez ativa, acidez potencial, alumínio trocável e o índice de saturação por Al apresentarem-se mais baixos na profundidade 0-10, nos três

agroecossistemas, pode ser explicado pelo manejo do solo executado nos três agroecossistemas, onde se observa preocupação em elevar o teor de matéria orgânica do solo e, apesar de não freqüente, o emprego da calagem com calcário dolomítico pode ter contribuído para tal resultado.

Quanto à matéria orgânica, Kiehl (1985) relata que, ao ser decomposta em condições aeróbicas, tem reação alcalina, pelos humatos alcalinos que forma, concorrendo para elevar o pH do solo, e que a acidez do solo ocorre devido à remoção das suas bases pelas plantas ou pelas águas da chuva, cujos hidrogênios tomam os lugares, por troca, do Ca, Mg, K, amônio e sódio e outras bases retidas nas argilas e na matéria orgânica. Quando o acúmulo de hidrogênio chega a certa concentração, dá-se a alteração da argila existente no solo, liberando Al, daí a acidez do solo estar correlacionada com o hidrogênio e principalmente ao Al. Os resultados deste trabalho estão de acordo com Kiehl (1979), ao estudar o conteúdo de matéria orgânica e a H+Al em solos B latossólicos do estado de SP, onde observou que o aumento no teor de matéria orgânica no solo é proporcional ao aumento de H+Al do solo.

4.2.5 CTC efetiva (t) e CTC a pH 7,0 (T)

Partindo-se de um solo ácido, a elevação do pH para 7,0 promove a neutralização de cátions H⁺ que se encontram em ligações covalentes com o oxigênio de colóides orgânicos e de óxidos de Fe e de Al. Com isto, são desenvolvidas cargas negativas que existiam apenas em potencial (Vale et al., 1997). A CTC a pH 7,0 não reflete a situação real do solo em condições naturais, sendo o valor da CTC efetiva um parâmetro mais realístico da situação do solo (Alvarenga, 1996).

Observa-se, na Tabela 11, que tanto a CTC efetiva quanto a CTC a pH 7,0 apresentaram efeito significativo para agroecossistemas, épocas,

profundidade e para as interações dos efeitos agroecossistemas x profundidades, épocas x profundidades e agroecossistemas x épocas x profundidades.

Ao se comparar as médias observa-se que os agroecossistemas I, II e III apresentaram uma tendência semelhante de comportamento para a CTC efetiva e potencial do solo, apresentando maior nível na profundidade 0-10 cm (Tabelas 21 e 22).

O agroecossistema I apresentou maior valor na CTC efetiva e potencial, na profundidade 0-10 cm, que os outros agroecossistemas, provavelmente devido a efeitos residuais da calagem realizada em 1999/00 (a última calagem realizada nos outros agroecossistemas foi em 1997/98), que precipitou o Al deixando pontos de troca disponíveis para os cátions aplicados via calagem ou adubação (orgânica).

Como discutido no item anterior, a maior parte da CTC efetiva, na profundidade 0-10 cm dos três agroecossistemas não está ocupada por alumínio ($m = 7,94$ a $15,73\%$). De acordo com a CFSEMG (1999) a produção do cafeeiro é reduzida em solos com mais de 25% ($= 250 \text{ gKg}^{-1}$) de saturação por alumínio.

Já a diminuição da CTC efetiva nas profundidades 10-20 e 20-40 cm corresponde a um aumento na saturação por alumínio, chegando a níveis prejudiciais ao cafeeiro no agroecossistema II na profundidade 10-20 ($m = 35,37\%$) e na profundidade 20-40 cm em todas os agroecossistemas ($m = 26,13$ a $48,41\%$). Esses valores inferem uma diminuição de nutrientes na profundidade 20-40 cm em todas os agroecossistemas e na profundidade 10-20 cm no agroecossistema II, o que pode ter afetado a produtividade obtida no agroecossistema II. Enquanto nos agroecossistemas I e III, as produtividades obtidas em 2002 (ano de produção significativa) foram de 39 e 33,5 sc de café

TABELA 21: Médias dos teores de CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA EFETIVA (t) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média cmol _c dm ⁻³	10 – 20 cm			Média cmol _c dm ⁻³	20 – 40 cm			Média cmol _c dm ⁻³
	I	II	III		I	II	III		I	II	III	
E 1	3,43 A	2,43 AB	1,73 B	2,53 c	2,70 A	2,33 A	1,60 A	2,21 b	2,20 A	2,13 A	0,97 A	1,77 c
E 2	5,13 A	4,00 A	1,43 B	3,52 b	3,20 A	2,47 A	2,33 A	2,67 b	2,77 B	2,23 B	4,40 A	3,13 a
E 3	6,77 A	4,20 B	4,47 B	5,14 a	3,50 A	2,93 AB	1,97 B	2,80 b	2,63 A	2,23 AB	1,30 B	2,06 bc
E 4	5,87 A	4,50 AB	4,80 B	5,06 a	4,27 A	3,77 AB	2,90 B	3,64 a	2,93 A	2,87 A	1,93 A	2,58 ab
Média	5,30 A	3,78 B	3,11 C		3,42 A	2,88 A	2,20 B		2,63 A	2,37 A	2,15 A	

CV = 20,98. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 22: Médias dos teores de CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA a pH 7,0 (T) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média cmol _c dm ⁻³	10 – 20 cm			Média cmol _c dm ⁻³	20 – 40 cm			Média cmol _c dm ⁻³
	I	II	III		I	II	III		I	II	III	
E 1	9,47 A	8,67 A	7,07 B	8,40 ab	9,33 A	9,07 A	6,97 B	8,46 a	7,70 AB	8,43 A	6,57 B	7,57 a
E 2	8,93 A	8,77 A	5,37 B	7,69 b	8,07 A	8,33 A	6,63 B	7,68 a	7,70 A	7,43 A	7,50 A	7,54 a
E 3	9,27 A	8,77 AB	7,93 B	8,66 a	7,87 B	9,17 A	6,67 B	7,90 ab	7,13 A	7,63 A	5,37 B	6,71 b
E 4	8,67 A	8,90 A	7,27 B	8,28 ab	8,17 A	8,97 A	6,30 B	7,81 ab	7,10 B	8,33 A	5,20 C	6,88 ab
Média	9,08 A	8,78 A	6,91 B		8,36 A	8,88 A	6,64 B		7,41 A	7,96 A	6,16 B	

CV = 7,96. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

beneficiado/ha, respectivamente, no agroecossistema II a produtividade foi de 21,5 sc de café beneficiado/ha.

A maior CTC na profundidade 0-10 cm provavelmente ocorreu devido à maior concentração de matéria orgânica nessa camada e, conseqüentemente, aumentando a CTC, conforme relatam Primavesi (1990) e Kiehl (1985). Pois, em solos de regiões tropicais, onde predominam minerais de baixa CTC (argila do tipo 1:1 e sesquióxidos de Fe, Al e Mn), o manejo de materiais orgânicos (resíduos vegetais, esterco, composto, etc) é de fundamental importância por contribuir com até mais de 90% da CTC do solo (Kiehl, 1985 e Melo et al., 1997). Sendo que as cargas negativas, responsáveis pelo incremento da CTC, são conseqüências dos grupos funcionais carboxílicos (-COOH), fenólicos (ar-(OH)_n), álcoois (-OH) e metoxílicos (-OCH₃) que se encontram presentes no húmus e dependem do pH do solo (Benites & Mendonça, 1998 e Rodela et al., 1995).

Geralmente, o efeito tóxico do alumínio é notado em raízes de plantas antes que qualquer sintoma possa ser evidente na parte aérea. Aos sintomas de toxidez do alumínio são também associados a deficiência de P e a reduzida absorção e translocação de cálcio (Foy, 1974 citado por Veloso et al., 2000).

Apesar dos agroecossistemas I e II apresentarem concentrações de alumínio trocável acima de 0,5 cmol_c dm⁻³ na profundidade de 10-40 cm do solo, não se observou deficiências de P e Ca nas folhas dos cafeeiros, conforme será discutido no item 4.4 a seguir.

4.2.6 Soma de bases (SB), saturação por bases (SV) e matéria orgânica (MO)

O resumo da análise de variância (Tabela 11) mostra efeitos significativos para agroecossistemas, épocas e profundidades e em todas as interações para as variáveis SB e MO. Os efeitos significativos para saturação de

bases (V) diferem da SB e MO para a interação agroecossistemas x épocas. Nas Tabelas 23, 24 e 9 estão apresentados os valores médios e os níveis de significância para essas variáveis.

Comparando-se as médias do teor de MO no solo (Tabela 9) observa-se que os três agroecossistemas apresentaram uma tendência de níveis médios dessa variável nas profundidades 0-10 e 10-20 cm e de teores baixos na profundidade 20-40 cm. Esses teores aumentaram no decorrer da pesquisa, ou seja, em 2002 os teores de MO no solo nos três agroecossistemas e profundidades foram superiores aos do ano de 2001.

Apesar dos resultados não significativos, o agroecossistema II apresentou maior nível de MO nas profundidades 0-10 e 10-20 cm em comparação aos outros agroecossistemas. E o agroecossistema III apresentou maior teor de MO na profundidade 20-40 cm (significativo pelo teste de Tukey) em relação aos outros agroecossistemas. O fato de esse agroecossistema apresentar maior teor de m.o nas camadas subsuperficiais pode estar relacionado ao maior teor de argila e de umidade desse solo (Tabela 7 e 8).

Como já relatado em outros itens, a tendência do agroecossistema II apresentar maior teor de matéria orgânica nas camadas 0-10 e 10-20 cm deve-se, provavelmente, ao manejo adotado (adubação verde com coquetel de leguminosa e gramínea e ao manejo das plantas espontâneas).

Os teores médios da matéria orgânica nas profundidades 0-10 e 10-20 cm encontrados em todos os agroecossistemas favorece a não ocorrência de perda de fertilidade por erosão de solo, pois nas áreas estudadas mantém-se o solo com cobertura morta através de roçada e capinas manuais, conforme relatado por Hernani et al. (1987) e Tognon et al. (1998). Isto está ainda de acordo com Kalpagé (1976), que afirma haver erosão acentuada em solos onde não há cobertura vegetal, pois o declínio na fertilidade, no conteúdo de matéria

TABELA 23: Médias dos teores de SOMA DE BASES TROCÁVEIS (SB) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média cmol _c dm ⁻³	10 – 20 cm			Média cmol _c dm ⁻³	20 – 40 cm			Média cmol _c dm ⁻³
	I	II	III		I	II	III		I	II	III	
E 1	2,83 A	1,83 A	1,43 A	2,03 c	1,97 A	1,47 A	1,13 A	1,52 a	1,60 A	1,37 A	0,57 A	1,18 b
E 2	4,90 A	3,73 A	0,87 B	3,17 b	2,37 A	1,27 A	1,77 A	1,80 b	1,83 B	1,10 B	4,27 A	2,40 a
E 3	6,73 A	3,97 B	4,37 B	5,02 a	3,13 A	2,03 AB	1,47 B	2,21 ab	1,90 A	1,03 A	0,87 A	1,27 a
E 4	5,80 A	4,20 A	4,70 A	4,90 a	3,87 A	2,97 A	2,67 A	3,17 a	2,00 A	1,50 A	1,47 A	1,66 ab
Média	5,07 A	3,43 B	2,84 B		2,83 A	1,93 B	1,76 B		1,83 A	1,25 A	1,79 A	

CV = 32,72. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 24: Médias dos teores de ÍNDICE DE SATURAÇÃO POR BASES (SV) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média %	10 – 20 cm			Média %	20 – 40 cm			Média %
	I	II	III		I	II	III		I	II	III	
E 1	29,47 A	21,27 A	20,53 A	23,76 c	20,87 A	15,87 A	16,10 A	17,61 b	21,07 A	15,70 A	8,83 A	15,20 b
E 2	54,93 A	42,67 A	15,93 B	37,84 b	29,73 A	14,80 A	26,57 A	23,70 b	23,77 B	15,07 B	56,47 A	31,77 a
E 3	72,53 A	45,30 B	55,37 AB	57,73 a	39,77 A	22,43 A	21,23 A	27,81 ab	26,60 A	13,43 A	15,70 A	18,58 b
E 4	66,60 A	46,93 B	64,63 AB	59,39 a	43,27 A	33,97 A	42,43 A	39,89 a	28,37 A	18,00 A	27,80 A	24,72 ab
Média	55,89 A	39,04 B	39,12 B		33,41 A	21,77 B	26,58 AB		24,95 AB	15,55 B	27,20 A	

CV = 31,17. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

orgânica e da estrutura afetam a capacidade de retenção de água. Portanto, uma boa cobertura vegetal protege inclusive os solos pobres, enquanto que, mesmo os férteis sem vegetação podem ser facilmente erodidos. Deffune (2002) relata que a capacidade da matéria orgânica em proteger o solo contra a erosão está relacionada com a sua inigualável capacidade de retenção de água e a alta capacidade de armazenar nutrientes (CTC) de forma disponível às plantas. Além de melhorar as características físicas, químicas e biológicas dos solos, serve para estabilizar decisivamente as correções tanto de solos ácidos como salinos, melhorar condições tanto de seca como de encharcamento. Inclusive, os ácidos húmicos diminuem a tensão superficial da água do solo, facilitando os mecanismos de absorção pelas raízes.

Em relação a SB e SV observa-se que o agroecossistema I apresentou valores maiores (Tabelas 23 e 24) para a profundidade 0-10 cm sendo consideradas praticamente dentro do nível exigido para a cultura do cafeeiro, considerando como nível adequado de SB de 3,61 a 6,00 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e de SV de 60,1 a 80,0 % segundo a CFESMG (1999). Esses valores estão coerentes com aqueles relativos à saturação por alumínio, ou seja, onde foi menor a saturação por alumínio, a saturação por bases foi maior. Nos outros agroecossistemas onde a saturação por Al foi maior, a saturação por bases foi menor.

No agroecossistema I, a SB e SV foram maiores, provavelmente devido ao efeito residual da calagem, realizada em 1999/00, que precipitando o Al, favoreceu a retenção de Ca e Mg nos pontos de troca. Nessa área utilizou-se o calcário dolomítico para realizar a calagem, a constituição química desse tipo de calcário, segundo Furlani Jr et al. (2001), favorece o aumento do pH, V e Mg no solo. Pode-se observar nas tabelas 16, 17 e 24 que os valores de pH, V e Mg foram superiores no agroecossistema I (0-10 cm). Em relação aos outros agroecossistemas, os menores valores, tanto para SB quanto para V, indicam que a maior parte dos pontos de troca estão ocupados por alumínio e/ou hidrogênio.

Comparando-se as médias de épocas de amostragens (Tabelas 23 e 24) observa-se uma tendência de maiores valores de SB e V para as profundidades 0-10 e 10-20 cm no ano de 2002, provavelmente devido ao efeito residual da calagem e em função da decomposição da matéria orgânica adicionada aos sistemas através de adubações como casca de café, adubos verdes e/ou manejo de plantas espontâneas.

Em relação às profundidades (Tabelas 23 e 24) observam-se maiores valores de SB e V na camada superficial; da mesma forma que discutido anteriormente, esses valores podem ser atribuídos ao efeito residual da calagem e/ou decomposição da matéria orgânica.

4.2.7 Enxofre no solo (S)

O resumo da análise de variância na Tabela 11, mostra efeito significativo para agroecossistemas, épocas e profundidades e para as interações agroecossistemas x épocas, agroecossistemas x profundidades e épocas x profundidades. Os valores médios de enxofre e os níveis de significância para o teste de Tukey estão apresentados na Tabela 25.

Comparando-se os valores médios do teor de S no solo nos três agroecossistemas e profundidades observa-se que na camada superficial (0-10 cm) o teor de S estava abaixo do recomendado para a cultura do cafeeiro (segundo Malavolta (1993) os teores adequados de S no solo para o cafeeiro situam-se entre 15 a 20 mg dm⁻³). Na profundidade 10-20 cm, o agroecossistema I apresentou teor elevado enquanto o agroecossistema II, abaixo do recomendado e o agroecossistema III, dentro do ideal (os agroecossistemas II e III não diferiram significativamente na profundidade 10-20 cm).

Na profundidade 20-40 cm, os agroecossistemas I e II apresentaram teores elevados desse macronutriente no solo, enquanto que o agroecossistema III apresentou teor abaixo do recomendado.

TABELA 25: Médias dos teores de ENXOFRE (extrator Fosfato monocálcico em ácido acético) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média mg dm ⁻³	10 – 20 cm			Média mg dm ⁻³
	I	II	III		I	II	III	
E 1	17,90 A	17,97 A	13,97 A	16,61 a	25,43 A	18,27 A	16,03 A	19,91 ab
E 2	26,47 A	6,40 B	11,53 B	14,80 ab	48,97 A	12,53 B	22,37 B	27,96 a
E 3	9,13 A	10,00 A	10,00 A	9,71 bc	17,50 A	11,63 A	8,93 A	12,69 c
E 4	4,97 A	9,70 A	8,30 A	7,66 c	11,80 A	14,67 A	13,50 A	13,32 bc
Média	14,62 A	11,02 A	10,95 A		25,93 A	14,28 B	15,21 B	

Continuação da Tabela 25

ÉPOCA	20 – 40 cm			Média mg dm ⁻³
	I	II	III	
E 1	20,93 A	22,07 A	8,73 B	17,24 a
E 2	39,97 A	16,93 B	5,67 C	20,86 a
E 3	40,30 A	17,23 B	9,63 B	22,39 a
E 4	25,10 A	29,70 A	11,63 B	22,14 a
Média	31,58 A	21,48 B	8,92 C	

CV = 15,97. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Em relação às épocas, observa-se uma tendência de maiores teores de S no ano de 2001 nas profundidades 0-10 e 10-20 cm. Enquanto que para profundidade 20-40 o comportamento do S no solo foi o inverso do apresentado nas outras profundidades, ou seja, em 2002 apresentou maiores teores.

Na Tabela 25, pode-se verificar que no agroecossistema I o teor de S nas profundidades 10-20 e 20-40 cm estava acima do recomendado para a cultura do café, diferentemente do teor de P, K, Ca e Mg nessa profundidade. Assim pode-se deduzir que a calagem realizada em 1999/00 e a presença de MO na camada 0-10 cm contribuíram para a formação de cargas negativas promovendo a lixiviação do S para as camadas subsuperficiais. Resultado que concorda com Rajj (1991), quando este sugere que em regiões tropicais há acúmulo de sulfatos no subsolo, em razão da maior quantidade de cargas negativas nos horizontes superficiais, originados tanto pela presença de MO quanto pela aplicação de calcário.

Apesar dessas oscilações no teor de S no solo, a nutrição dos cafeeiros, com relação a esse nutriente, apresentou-se dentro do nível de adequação nos três agroecossistemas caracterizados, conforme será discutido a seguir.

4.2.8 Ca/Mg

A análise de variância (resumo apresentado na Tabela 11) apresentou efeito significativo para relação Ca/Mg para agroecossistemas, épocas e interações agroecossistemas x épocas e agroecossistemas x épocas x profundidades.

Os teores médios de Ca/Mg nos agroecossistemas I e II nas três profundidades analisadas estavam acima do limite recomendado para a cultura do cafeeiro (segundo Malavolta (1993), o valor ideal para essa relação é de 2,2). O agroecossistema III, segundo a referência citada, apresentou valores próximos do ideal nas profundidades analisadas (Tabela 26). Os teores de Ca e Mg estão correlacionados com a baixa saturação de bases (V) e com a toxidez por alumínio.

Porém, a relação de Ca/Mg mais próxima do recomendado para a maioria dos cultivos orgânicos apresenta-se no agroecossistema II nas profundidades 0-10 e 10-20 cm (3,89 e 4,39, respectivamente). Deffune (2002) relata que a relação Ca/Mg do solo, ideal para a maioria dos cultivos orgânicos, está em torno de 4 a 5:1. Essa relação Ca/Mg acima do recomendado por Malavolta (1993) talvez possa ser justificada pelo fato do Ca (calagem) ativar a microvida do solo e conseqüentemente a decomposição dos restos orgânicos, conforme Primavesi (1990). A idéia de que o Ca, em forma de calagem, é um agente clássico para decomposição e perda de matéria orgânica está correta quando se tratar de calagem e aumento de pH ácido para um pH menos ácido ou neutro. Sabe-se que 1% de MO no solo pode formar 0,1% de húmus. Isso, em parte, contribui à conclusão de que o Ca diminui a MO (Primavesi, 1990). Em

solos com pH entre 4,2 e 6,6 a quantidade de húmus aumenta com a de Ca. O efeito do Ca na quantidade de húmus no solo está atrelado à umidade existente, quanto mais seco o solo, maiores as quantidades e quanto mais úmido o solo, menor a quantidade. O teor de húmus decresce com o aumento da umidade devido à decomposição total. Portanto Ca e umidade juntos fornecem condições favoráveis a uma melhor decomposição dos restos orgânicos (Primavesi, 1973 citado por Primavesi, 1990). Justifica-se, assim, a importância de uma relação Ca/Mg acima do usualmente recomendado para cultivos convencionais em relação à cultivos sob manejo orgânico.

TABELA 26: Médias dos teores de Ca/Mg nos agroecossistemas I, II e III, nas diferentes épocas e profundidades. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média	10 – 20 cm			Média
	I	II	III		I	II	III	
E 1	2,80 AB	6,17 A	2,32 B	3,76 a	1,70 B	10,50 A	2,97 B	5,06 a
E 2	3,15 A	4,56 A	2,83 A	3,52 a	6,43 A	3,17 AB	2,09 B	3,90 ab
E 3	2,68 A	2,47 A	1,47 A	2,21 a	2,67 A	2,20 A	1,97 A	2,28 b
E 4	3,15 A	2,36 A	1,61 A	2,37 a	2,86 A	1,68 A	1,33 A	1,95 b
Média	2,95 AB	3,89 A	2,06 B		3,41 AB	4,39 A	2,09 B	

Continuação da Tabela 26

ÉPOCA	20 – 40 cm			Média
	I	II	III	
E 1	2,70 A	3,03 A	2,33 A	2,69 a
E 2	1,63 A	3,25 A	1,13 A	2,01 a
E 3	1,83 A	3,67 A	2,83 A	2,78 a
E 4	2,53 A	1,85 A	1,75 A	2,04 a
Média	2,17 A	2,95 A	2,01 A	

CV = 19,10. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Pode-se observar que no agroecossistema II, por apresentar maior porcentagem de areia (Tabela 10) no solo, nas três camadas estudadas, conseqüentemente apresentou menor teor de umidade (Tabela 8). Como esse agroecossistema apresentou a relação Ca/Mg (Tabela 26) próxima do ideal para cultivo orgânico e tendência de maior teor de MO nas camadas 0-10 e 10-20 cm, pode-se supor que a presença de Ca em ambiente mais seco induziu um atraso na

decomposição total dos restos vegetais ao se comparar aos outros agroecossistemas.

Ainda considerando a relação ideal de Ca/Mg para o solo (4 a 5:1) pode-se observar que os agroecossistemas I e II necessitam de calagem para aumentar essa relação ou a utilização de cinzas de madeira diretamente no solo ou incorporada a compostos. Deffune (2002) relata que cinzas de madeira podem conter de 8 a 15% de potássio (K_2O), 15 a 20% de ácido fosfórico (H_3PO_4), 30% de CaO e 3 a 6% de MgO, sendo portanto fonte adequada e de baixo custo de nutrientes. As cinzas de madeira podem ser utilizadas (solo ou compostagem) na dosagem de 500 a 1000 Kg/ha/ano.

4.2.9 Micronutrientes no solo: B, Cu, Fe, Mn e Zn

Na Tabela 11 pode-se verificar que há efeitos significativos para as variáveis B, Cu, Fe, Mn e Zn para épocas de amostragens. À exceção do Mn todas as variáveis citadas apresentaram efeito significativo para agroecossistemas. Sendo que para profundidades somente o B não apresentou efeito significativo.

Na Tabela 27 observa-se que os agroecossistemas II e III apresentaram tendência de maior teor de B na camada 0-10 cm do solo. De acordo com a CFSEMG (1999), os teores encontrados estão dentro do limite considerado ideal para a cultura do cafeeiro, apesar de não diferirem significativamente do agroecossistema I pelo teste de Tukey. Nas outras camadas do solo (10-20 e 20-40 cm) o teor de B está abaixo da faixa recomendada. É provável que o teor de B, no agroecossistema I, abaixo do recomendado, seja decorrente do efeito residual da calagem, bem como do pH do solo na camada 0-10 cm (5,88 - Tabela 17); deve-se salientar que nesse agroecossistema a última calagem foi realizada em 1999/00 enquanto que nos outros foi em 1997/98. Esse resultado

concorda com Furlani Jr et al. (2001) e Kiehl (1985), quando afirmam que a calagem pode reduzir a disponibilidade de B no solo.

TABELA 27: Médias dos teores de BORO (extrator água quente) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média mg dm ⁻³	10 – 20 cm			Média mg dm ⁻³
	I	II	III		I	II	III	
E 1	0,43 B	0,73 A	0,93 A	0,70 a	0,57 A	0,67 A	0,73 A	0,66 a
E 2	0,33 A	0,27 A	0,10 A	0,23 b	0,23 A	0,20 A	0,23 A	0,22 b
E 3	0,20 A	0,33 A	0,33 A	0,29 b	0,30 A	0,30 A	0,27 A	0,29 b
E 4	0,40 A	0,33 A	0,33 A	0,36 b	0,30 A	0,37 A	0,30 A	0,32 b
Média	0,34 A	0,42 A	0,43 A		0,35 A	0,38 A	0,38 A	

Continuação da Tabela 27

ÉPOCA	20 – 40 cm			Média mg dm ⁻³
	I	II	III	
E 1	0,43 B	0,67 AB	0,73 A	0,61 a
E 2	0,20 A	0,17 A	0,30 A	0,22 b
E 3	0,30 A	0,27 A	0,23 A	0,27 b
E 4	0,20 A	0,30 A	0,33 A	0,28 b
Média	0,28 A	0,35 A	0,40 A	

CV = 35,91. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Furlani Jr et al. (2001) avaliaram o efeito da aplicação de calcário e boro em cafeeiros e os efeitos sobre as características químicas do solo. Observaram que, no caso do B, os maiores valores foram obtidos na saturação de bases de 40%. Disso infere-se que pode existir um efeito negativo da calagem sobre a disponibilidade de boro para as plantas. Resultado que pode ser comparado com o agroecossistema I, uma vez que a saturação por bases nessa área (0-10 cm) foi de 55,89% (Tabela 24). Porém em todos os agroecossistemas caracterizados o teor de B foliar apresentou-se dentro do nível de adequação à cultura, conforme será discutido a seguir. Fato que pode ser explicado devido à forma de quantificação do B do solo. Ou seja, a determinação do teor de B no solo, nesta pesquisa, foi realizada por extração em água quente, segundo Ferreyra H. & Silva (1999), a extração em água quente, HCl 0,05 mol L⁻¹ e manitol

quantificam o B das frações solúveis em água e não especificamente adsorvido ou trocável (fator intensidades), e em menor proporção, o B das frações especificamente adsorvido ou complexado na matéria orgânica e o ligado a óxidos de Mn (fator quantidade). O B solúvel em água é influenciado principalmente pelo conteúdo de matéria orgânica do solo, enquanto as frações do B não especificamente adsorvido e do B especificamente adsorvido são influenciadas, além da matéria orgânica, pelos conteúdos de argila e dos óxidos de ferro e alumínio do solo.

Para a variável Zn, observa-se na Tabela 28 que o teor desse nutriente na profundidade 0-10 cm foi superior ao se comparar com as outras profundidades, concordando com Raij (1991) que o cátion Zn^{+2} é adsorvido ao solo pelos minerais e pela MO. Como o maior teor de MO encontra-se na camada superficial do solo, era esperado que o Zn apresentasse maior teor na profundidade 0-10 cm, resultante principalmente do processo de ciclagem desse nutriente pelas raízes das plantas. Segundo a CFSEMG (1999), o teor de Zn em todos os agroecossistemas e profundidades apresentou-se abaixo do nível recomendado para a cultura. Porém, independentemente da época de amostragem, o teor foliar de Zn nos agroecossistemas caracterizados apresentou-se dentro do nível de adequação à cultura. Como a adsorção do Zn pelo solo tem sido considerada o principal fator responsável pela redução de sua disponibilidade para as plantas, tal adsorção é dependente de fatores como pH, CTC, teor de matéria orgânica e de óxidos de Fe, Al, Mn e a textura do solo, sabendo que a solubilidade de Zn no solo é fortemente dependente do pH, decrescendo cem vezes para cada aumento de uma unidade no pH (Kuo & Baker, 1980; Bar-Yosef, 1979; Kalbasi et al., 1978; Shuman, 1976; Lindsay, 1972 citados por Couto et al., 1992). Possivelmente a liberação de ácidos orgânicos pela rizosfera vegetal tenha favorecido a disponibilização desse nutriente na forma de Zn^{+2} . Segundo Primavesi (1990), a flora fúngica,

beneficiada pelo decréscimo do pH, pode mobilizar minerais às plantas. A correlação inversa entre o Zn absorvido pela planta e o pH do solo (Bar-Yosef, 1979 citado por Couto et al., 1992) pode ser atribuída à hidrólise parcial do Zn, formando $ZnOH^+$, que é adsorvido com maior energia que o Zn^{+2} , por possuir menor raio hidratado, não sendo, portanto, deslocado por soluções salinas não tamponadas.

TABELA 28: Médias dos teores de ZINCO (extrator Mehlich I) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10 / 10-20 / 20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ÉPOCA	0 – 10 cm			Média mg dm ⁻³	10 – 20 cm			Média mg dm ⁻³
	I	II	III		I	II	III	
E 1	1,20 A	0,70 A	0,47 A	0,79 c	0,83 A	0,47 A	0,27 A	0,52 b
E 2	3,60 A	2,73 A	0,50 B	2,28 b	0,87 A	0,63 A	0,97 A	0,82 b
E 3	4,30 A	1,33 B	1,63 B	2,42 b	1,07 A	0,20 A	1,00 A	0,76 b
E 4	2,97 B	4,73 B	8,17 A	5,29 a	8,10 A	6,53 A	2,97 B	5,87 a
Média	3,02 A	2,38 A	2,69 A		2,72 A	1,96 AB	1,30 B	

Continuação da Tabela 28

ÉPOCA	20 – 40 cm			Média mg dm ⁻³
	I	II	III	
E 1	0,63 A	0,43 A	0,20 A	0,42 b
E 2	0,70 A	0,60 A	1,80 A	1,03 b
E 3	0,33 A	0,10 A	1,00 A	0,48 b
E 4	7,13 A	4,50 A	4,87 A	5,50 a
Média	2,20 A	1,41 A	1,97 A	

CV = 15,54. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na TABELA 29, os valores médios de Cu apresentaram efeito significativo para o agroecossistema III, sendo que esse agroecossistema apresentou teores elevados desse nutriente nas três profundidades analisadas. O agroecossistema I apresentou teores abaixo do recomendado para o café nas três profundidades analisadas e o agroecossistema II teores dentro do recomendável nas três profundidades. A diferença no teor de Cu encontrada nos agroecossistemas pode ser atribuída às rochas de origem do solo. Segundo Rajj (1991), o cobre ocorre em rochas, principalmente, como sulfetos complexos.

Esses minerais são facilmente intemperizados e podem liberar íons de cobre, especialmente em meios ácidos.

TABELA 29: Médias dos teores de COBRE (extrator Mehlich I) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10 / 10-20 / 20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

EPOCA	0 – 10 cm			Média mg dm ⁻³	10 – 20 cm			Média mg dm ⁻³
	I	II	III		I	II	III	
E 1	1,20 C	1,63 B	2,23 A	1,69 a	0,93 C	1,47 B	2,07 A	1,49 a
E 2	0,90 C	1,37 B	2,10 A	1,46 ab	0,47 C	1,20 B	2,27 A	1,31 ab
E 3	0,67 C	1,13 B	1,90 A	1,23 bc	0,60 C	1,17 B	2,27 A	1,34 ab
E 4	0,73 B	1,00 AB	1,33 A	1,02 c	0,63 C	1,10 B	1,60 A	1,11 b
Média	0,88 C	1,28 B	1,89 A		0,66 C	1,23 B	2,05 A	

Continuação da Tabela 29

EPOCA	20 – 40 cm			Média mg dm ⁻³
	I	II	III	
E 1	0,90 B	1,50 A	1,50 A	1,30 a
E 2	0,47 C	0,97 B	1,97 A	1,13 a
E 3	0,53 C	1,33 B	2,03 A	1,30 a
E 4	0,70 B	1,00 B	1,63 A	1,11 a
Média	0,65 C	1,20 B	1,78 A	

CV = 14,79. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Embora a origem da rocha e a presença de H⁺ no solo possam ter influenciado no teor de Cu no solo dos agroecossistemas, revelando teores considerados baixos até acima do tolerado pela cultura, o teor foliar desse nutriente apresentou-se dentro do nível de adequação para o cafeeiro, conforme será discutido a seguir. Possivelmente, segundo Raij (1991), por esse elemento reagir facilmente com componentes minerais e orgânicos. O cobre, na forma Cu⁺², é adsorvido à fração mineral de solos e complexado pela matéria orgânica. A complexação de Cu pela matéria orgânica é a reação mais importante a determinar o comportamento do elemento na maioria dos solos. Raij (1991) relata que a habilidade da matéria orgânica do solo em reter cobre é um dos assuntos mais estudados pelas consequências que tem na disponibilidade do elemento para as plantas.

Para o Mn (Tabela 30), houve uma tendência, generalizada nos três agroecossistemas, de apresentar elevados teores na camada 0-10 cm, teores dentro do recomendado para a profundidade 10-20 cm e uma tendência de teores inferiores ao ideal na camada 20-40 cm do solo. O Mn é fortemente adsorvido pela MO, formando complexos insolúveis e estáveis. A maior disponibilidade desse nutriente, assim com de Cu, Fe e Zn, ocorre em solos ácidos (Lambais & Cardoso, 1988 citados por Cardoso et al., 2002; Kiehl, 1985). O Mn está relacionado com o Fe, sendo que teores elevados de Fe no solo podem ocasionar deficiência de Mn. Nesta pesquisa não foi observado esse comportamento, pois o teor de Mn apresentou-se alto na camada de 0-10 cm e o teor de Fe também. O alto teor de Mn na camada 0-10 cm pode estar relacionado à acidez dos solos caracterizados, uma vez que apresentaram acidez média nessa camada, segundo a classificação da CFSEMG (1999).

TABELA 30: Médias dos teores de MANGANÊS (extrator Mehlich I) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10 / 10-20 / 20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

EPOCA	0 – 10 cm			Média mg dm ⁻³	10 – 20 cm			Média mg dm ⁻³
	I	II	III		I	II	III	
E 1	4,67 A	4,70 A	5,30 A	4,89 c	3,23 A	3,47 A	3,77 A	3,49 c
E 2	39,00 A	29,00 A	8,33 B	25,44 b	12,33 A	14,00 A	13,67 A	13,33 b
E 3	45,67 A	47,67 A	48,67 A	47,33 a	21,67 A	20,33 A	18,00 A	20,00 a
E 4	23,17 A	24,70 A	19,80 A	22,56 b	12,77 A	19,97 A	13,10 A	15,28 ab
Média	28,13 A	26,52 A	20,53 B		12,50 A	14,44 A	12,13 A	

Continuação da Tabela 30

EPOCA	20 – 40 cm			Média mg dm ⁻³
	I	II	III	
E 1	3,00 A	4,10 A	1,50 A	2,87 b
E 2	7,33 B	9,33 B	27,33 A	14,67 a
E 3	10,00 A	11,33 A	10,00 A	10,44 ab
E 4	8,77 A	14,13 A	8,20 A	10,37 ab
Média	7,28 A	9,73 A	11,76 A	

CV = 16,39. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O teor de Fe (Tabela 31) apresentou-se acima do recomendado para os três agroecossistemas e profundidades, possivelmente devido às rochas de origem dos solos estudados. Houve uma tendência do agroecossistema I apresentar maior teor de Fe que os outros agroecossistemas, nas três profundidades.

TABELA 31: Médias dos teores de FERRO (extrator Mehlich I) nos agroecossistemas I, II e III, nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02 e nas profundidades 0-10 / 10-20 / 20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

EPOCA	0 – 10 cm			Média mg dm ⁻³	10 – 20 cm			Média mg dm ⁻³
	I	II	III		I	II	III	
E 1	128,33 A	88,33 B	76,67 B	97,78 a	95,00 A	80,00 A	58,33 A	77,78 bc
E 2	109,00 A	82,00 A	73,67 A	88,22 a	108,33 A	96,00 A	93,33 A	99,22 c
E 3	99,67 B	88,67 B	139,67 A	109,33 a	161,67 A	98,00 B	134,67 AB	131,44 a
E 4	46,27 A	47,57 A	61,17 A	51,67 b	60,60 A	56,97 A	64,80 A	60,79 c
Média	95,82 A	76,64 B	87,79 AB		106,40 A	82,74 A	87,78 B	

Continuação da Tabela 31

EPOCA	20 – 40 cm			Média mg dm ⁻³
	I	II	III	
E 1	66,67 A	58,33 A	35,67 A	53,56 b
E 2	98,33 A	88,33 A	103,67 A	96,78 a
E 3	108,07 A	88,67 A	80,33 A	92,36 a
E 4	63,90 A	46,67 A	40,20 A	50,26 b
Média	84,24 A	70,50 AB	64,97 B	

CV = 22,65. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.3 Propriedades biológicas do solo

4.3.1 Biomassa de carbono (biomassa microbiana)

O resultado da análise de variância (Tabela 32) mostra que não houve efeito significativo entre os agroecossistemas e épocas de coleta, bem como em suas interações.

TABELA 32: Resumo da análise de variância (nível de significância) das características biológicas do solo em função dos agroecossistemas e épocas de amostragem na profundidade 0 – 10 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

Causas da Variação	G.L.	Biomassa C	Respiração	Taxa de Colonização
AGROECOSSISTEMAS	2	ns	*	ns
ÉPOCA	3	ns	*	ns
AGRO X ÉPOCA	6	ns	ns	ns
Resíduo	24			
CV %		25,61	20,78	19,42
Média geral		308,38	3,33	7,64
		ì gC g¹ solo⁻¹	ì gC g¹ solo⁻¹	%

n.s. não significativo ($p \geq 0,05$); *significativo ($p < 0,05$); **significativo ($p < 0,01$)

Houve uma tendência do agroecossistema III apresentar maior valor de biomassa de carbono (biomassa microbiana) que os outros agroecossistemas, independentemente da época de amostragem (Tabela 33). Resultado que concorda com Moreira & Siqueira (2002) quando afirmam que a biomassa microbiana é favorecida em solos com vegetação e teores mais elevados de argila ou sob cultivo mínimo e é geralmente baixa nos solos cultivados, nos arenosos ou degradados pela erosão ou por contaminação com substâncias orgânicas tóxicas ou metais pesados.

TABELA 33: Médias dos valores de BIOMASSA DE CARBONO nos agroecossistemas I, II e III nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02. UFLA, Lavras-MG, 2003.

EPOCA	AGROECOSSISTEMAS			Média ì gC
	I	II	III	
E 1	315,54 A	285,02 A	306,73 A	302,43 a
E 2	252,38 A	365,04 A	303,30 A	306,91 a
E 3	246,85 A	255,30 A	323,21 A	275,12 a
E 4	341,78 A	326,45 A	378,89 A	349,04 a
Média	289,14 A	307,95 A	328,03 A	

CV = 25,61. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O agroecossistema III, nas três profundidades caracterizadas, apresentou maior teor de argila (Tabela 7) e de umidade (Tabela 8) que os outros agroecossistemas. Os agroecossistemas I e II apresentaram maior teor de areia (Tabela 10) e menor teor de umidade (Tabela 8). Essa caracterização pode esclarecer essa tendência do agroecossistema III apresentar maiores valores de biomassa microbiana. Porém, vale ressaltar que os valores de biomassa microbiana variam muito com o tipo de solo, vegetação e clima indo de 90 a 2300 mgC.Kg⁻¹ de solo (Van de Werf e Verstraete, 1987 citados por Moreira & Siqueira, 2002).

A época de amostragem (período seco e chuvoso) não afetou o valor da biomassa microbiana como era esperado, provavelmente devido à coleta ter sido realizada sob a copa dos cafeeiros, local onde há maior teor de umidade no solo.

Considerando que determinados microorganismos podem solubilizar Ca-P, Al-P e Fe-P, em diferentes intensidades (Doyle et al., 1990 e Banik & Dey, 1982 citados por Silva Filho & Vidor, 2000). Silva Filho & Vidor (2000) pesquisaram 57 tipos de microorganismos do solo (15 bactérias e 42 fungos) com o objetivo de avaliar a capacidade e o potencial desses na solubilização de fosfatos de diferentes tipos de fosfatos e fontes de carbono, em laboratório. Concluíram que o crescimento, a capacidade e o potencial de solubilização dos microorganismos variaram tanto entre quanto dentro das fontes de fosfatos. Dos 57 isolados testados, nenhum solubilizou fosfato de Fe, 5 solubilizaram fosfato de Al e 56 o fosfato de Ca. Nesta presente pesquisa, apesar de não ter sido realizada a identificação da microbiota do solo, pode-se supor que a microbiota presente estaria disponibilizando fósforo de formas inorgânicas de fosfatos (Ca-P, Al-P e Fe-P) aos cafeeiros, justificando assim o fato do solo apresentar tendência de baixo teor desse nutriente e a cultura, dentro do nível de adequação.

O teor de fósforo no solo praticamente abaixo do nível recomendado à cultura (10 a 40 cm de profundidade) nos três agroecossistemas, elevado (0-10

cm de profundidade) nos agroecossistemas I e II e dentro do recomendado (0-10 cm de profundidade) no agroecossistema III (TABELA 12) e, mesmo assim, a absorção desse nutriente pela planta superou o nível de adequação, supondo-se ser devido à eficiência da microbiota do solo e das raízes em disponibilizar o fósforo de formas inorgânicas de fosfatos. Segundo Guggenberger et al. (1996) citados por Conte et al. (2002), os sistemas naturais, como florestas e campos nativos, conseguem auto-sustentar-se sem adição de fertilizantes fosfatados, mesmo em solos com baixa disponibilidade de fósforo (P). Nesses sistemas, o P disponível é controlado pela ciclagem de P orgânico (Po), tendo como componente essencial a biomassa microbiana. Conte et al. (2002) relatam que os microorganismos e as raízes de plantas transformam Po em fósforo inorgânico (Pi) disponível no solo através da exclusão de enzimas, globalmente denominadas de fosfatases. Quando os solos são cultivados (Magid et al., 1996 citados por Conte et al., 2002), diminuem os teores de matéria orgânica e de Po pela alteração na vegetação, mobilização e arejamento do solo, com conseqüente aumento da atividade microbiana e retirada de nutrientes.

Possivelmente, nos agroecossistemas caracterizados, os microorganismos do solo desempenham importante função tanto na biociclagem como no armazenamento de P em suas células, protegendo-o da adsorção pelos colóides do solo e disponibilizando-o aos cafeeiros, conforme resultados obtidos por Conte et al. (2002) ao estudarem solo cultivado sob sistema de plantio direto.

4.3.2 Respiração do solo

A respiração do solo apresentou efeito significativo para agroecossistemas e determinadas épocas, não apresentando efeito significativo para a interação entre essas fontes de variação (Tabela 32).

Verificou-se que o agroecossistema III apresentou maior respiração do solo que os outros agroecossistemas, não diferindo significativamente para época de coleta (Tabela 34). O que era esperado, pois o agroecossistema III apresentou maior biomassa microbiana indicando que nesse solo havia maior quantidade de microorganismos e conseqüentemente maior respiração do solo.

TABELA 34: Médias dos valores de RESPIRAÇÃO nos agroecossistemas I, II e III nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02. UFLA, Lavras-MG, 2003.

EPOCA	AGROECOSSISTEMAS			Média CO ₂ g ⁻¹ solo h ⁻¹
	I	II	III	
E 1	3,63 A	0,94 A	1,85 A	2,14 ab
E 2	4,13 A	3,30 A	5,56 A	4,33 a
E 3	4,94 A	2,51 A	6,11 A	4,52 a
E 4	0,46 B	2,04 AB	4,49 A	2,33 b
Média	3,29 AB	2,20 B	4,50 A	

CV = 20,78. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A respiração do solo é uma característica usada para quantificar a atividade microbiana. Ela representa a oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbios do solo, que, portanto utilizam O₂ como acceptor final de elétrons, até CO₂ (Moreira & Siqueira, 2002). Portanto, pode-se inferir que o agroecossistema III apresentou uma tendência de maior número de organismos aeróbios no solo que os agroecossistemas I e II, o que pode explicar o fato de esse agroecossistema ter apresentado menor teor de matéria orgânica na camada 0-10 cm do solo.

Vargas & Scholles (2000) pesquisaram a influência de diferentes preparos do solo nas suas propriedades biológicas (biomassa e atividade microbiana). Observaram que as diferenças na biomassa e atividade microbiana, entre os sistemas de manejo (convencional reduzido e plantio direto) e sistemas de sucessão de culturas (aveia preta+ervilhaca/milho+caupi e aveia/milho)

foram mais pronunciadas na camada de 0-5 cm. Nessa camada de solo, observaram maiores valores de biomassa e de atividade nos preparos conservacionistas e no sistema aveia+ ervilhaca/milho+caupi. Alvarez et al. (1995) também verificaram que a respiração microbiana e a disponibilidade de C para a microbiota decresceram com a intensidade de revolvimento do solo.

A cobertura do solo com resíduos vegetais, ao longo dos anos, leva a um acúmulo de matéria orgânica na superfície. Essa matéria orgânica é mais rica em frações lábeis, como carboidratos, compostos nitrogenados e a própria biomassa microbiana e seus metabólitos do que a matéria orgânica do preparo convencional (Carter & Rennie, 1982; Angers et al.; 1993 citados por Vargas & Scholles, 2000), possibilitando maior atividade microbiana (Vargas & Scholles, 2000).

Dessa forma, pode-se inferir que, principalmente nos agroecossistemas I e III (maiores valores de respiração do solo), o manejo de solo favoreceu a atividade microbiana. Vale ressaltar que durante a execução desta pesquisa (2001 e 2002), no agroecossistema I, aplicaram-se farelo de mamona, casca de café e manejo das espontâneas; no agroecossistema III, em 2001, somente manejo das espontâneas e em 2002 manejo das espontâneas e farelo de mamona; diferente do agroecossistema II, em que além do farelo de mamona realizou adubação com coquetel de adubos verdes. Talvez a menor atividade microbiana, observada no agroecossistema II, seja decorrente do revolvimento superficial do solo (capinas) como também, a adubação verde pode ter fornecido maior quantidade de C orgânico e disponibilidade de N ao solo. Através desse raciocínio pode-se supor que, no agroecossistema II, a atividade microbiana estaria maior. Fato que não foi comprovado, provavelmente devido a algum estresse ambiental ou perturbação mecânica (capina, por exemplo). Ou ainda, pode ser que os microorganismos nesse solo tenham um metabolismo mais eficiente e conseqüentemente um menor gasto de energia (carbono) na

respiração e maior retenção no solo, ocasionando um teor mais elevado de húmus no solo (Scheller, 2001). Foi observado (Tabela 10) que o agroecossistema II apresentou maior teor de matéria orgânica no solo em relação aos demais agroecossistemas.

A biomassa microbiana, além de ser responsável pela ciclagem de nutrientes, é fonte importante de N potencialmente mineralizável, sendo a mineralização do N imobilizado na biomassa microbiana dependente da mortalidade dos microorganismos, conforme Mengel (1996). Ao observar a Tabela 34, nota-se que o agroecossistema II em jan/01 apresentou baixo valor de respiração do solo, e nessa mesma época, valor de N foliar acima da região de adequação para a cultura do café. Não se pode afirmar que essa hipótese é verdadeira, deve-se também considerar as condições edafoclimáticas locais, pois em jul/02 o agroecossistema I também apresentou valor baixo de repiração do solo e teor de N foliar dentro do recomendado. Em todas as épocas, o teor de N foliar apresentou-se dentro do recomendado em todas as áreas, à exceção de jan/01 no agroecossistema II, conforme será discutido a seguir.

Devido à grande importância e à ausência de estudos conclusivos, os processos de imobilização e mineralização de N em diferentes sistemas de manejo, como por exemplo os utilizados em agricultura orgânica, bem como seus reflexos na produtividade vegetal, devem ser estudados mais detalhadamente.

4.3.3 Taxa de colonização e fungos micorrízicos arbusculares

A colonização micorrízica arbuscular não apresentou efeito significativo para agroecossistemas, épocas e para suas interações (Tabela 32). Ou seja, não houve diferença entre os valores encontrados nos agroecossistemas independente da época de amostragem. Mesmo assim pode-se observar (Tabela 35) que o agroecossistema II apresentou maiores valores que os outros agroecossistemas. Os valores médios, de taxa de colonização, encontrados (Tabela 35) nos

agroecossistemas analisadas variaram de 6,08 a 9,42%, estando dentro dos limites encontrados na literatura para lavouras cafeeiras adultas, ou seja, de 4% (Lopes et al., 1983a) até 80% (Oliveira et al., 1990).

TABELA 35: Médias dos valores de TAXA DE COLONIZAÇÃO nos agroecossistemas I, II e III nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02. UFLA, Lavras-MG, 2003.

EPOCA	AGROECOSSISTEMAS			Média
	I	II	III	
E 1	6,33 A	4,33 A	6,00 A	5,56 a
E 2	4,33 A	9,00 A	8,67 A	7,33 a
E 3	6,00 A	13,00 A	7,67 A	8,89 a
E 4	7,67 A	11,33 A	7,33 A	8,78 a
Média	6,08 A	9,42 A	7,42 A	

CV = 19,42. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A taxa de colonização micorrízica arbuscular, nos agroecossistemas caracterizados, pode ter sido influenciada pela alta disponibilidade de íons metálicos no solo. Segundo Cardoso et al. (2002), a alta disponibilidade de Mn^{+2} no solo pode inibir os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), retardando a germinação de esporos e, conseqüentemente, a formação de micorriza, o que reduz a eficiência simbiótica. Os FMA são encontrados nos mais variados ambientes, em solos com pH variando de 2,7 a 9,2 (Daft & ElGiahmi, 1975; Brown, 1980 citados por Cardoso et al., 2002). Entretanto, o efeito de baixos valores de pH do solo sobre os FMA é difícil de ser avaliado isoladamente, uma vez que este fator aumenta a disponibilidade de vários elementos, como os íons metálicos Al, Cu, Fe, Mn e Zn. Esses íons influenciam tanto os FMA quanto seus hospedeiros (Cardoso et al., 2002).

A germinação dos esporos e o desenvolvimento inicial das hifas fúngicas podem ser diminuídos ou inibidos pela presença excessiva de metais, o

que pode atrasar ou suprimir a formação de micorriza. Os efeitos tóxicos de Mn ocorrem normalmente em combinações com os de Al em solos com pH inferior a 5,5, cujos materiais de origem são ricos em Mn. Entretanto, em solos com pH superior a 5,5, o alumínio é precipitado quase que completamente, ao passo que o Mn ainda está disponível, podendo causar efeitos adversos, se em excesso (Koomen et al., 1990; Foy, 1984 citados por Cardoso et al., 2002).

Considerando que o Al foi precipitado na profundidade 0-10 cm chegando a um teor considerado baixo nos solos, a taxa de colonização micorrízica arbuscular nos três agroecossistemas caracterizados pode ter sido afetada pelo alto teor de Mn e Fe no solo (Tabelas 18, 30 e 31). Estudos mais detalhados, a nível de campo, devem ser direcionados para essa área.

Nos três agroecossistemas estudados detectaram-se as seguintes espécies de fungos micorrízicos arbusculares: *Archaeospora leptoticha*, *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora longula*, *Acaulospora morrowae*, *Gigaspora* sp, *Glomus* sp, *Glomus etunicatum*, *Paraglomus occultum*, *Scutellospora heterogama* e *Scutellospora* sp, conforme apresentado na Tabela 36.

TABELA 36: Número e diversidade de espécies de micorrizas arbusculares identificadas em cada agroecossistema em função da época de coleta. UFLA, Lavras-MG, 2003.

ESPÉCIES	AGROECOSSISTEMA I				Ø	AGROECOSSISTEMA II				Ø
	jan/01	jan/02	jul/01	jul/02		jan/01	jan/02	jul/01	jul/02	
<i>Archaeospora leptoticha</i>	-	-	2	-	2	2	2	2	-	6
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	-	-	-	-	-	-	14	37	14	65
<i>Acaulospora longula</i>	-	-	-	-	-	14	-	-	-	14
<i>Acaulospora monowiae</i>	-	-	7	-	7	-	-	-	-	-
<i>Gigaspora</i> sp	2	-	10	-	12	2	-	-	10	12
<i>Glomus</i> sp	8	5	7	8	28	-	5	7	6	18
<i>Glomus etunicatum</i>	-	8	-	-	8	-	-	-	-	-
<i>Paraglomus occultum</i>	3	7	4	5	19	3	7	5	3	18
<i>Scutellospora heterogama</i>	4	-	-	-	4	3	-	-	-	3
<i>Scutellospora</i> sp	2	-	3	-	6	-	-	-	-	-
N ° de espécies	5	3	6	2	8	5	4	4	4	7
Total	19	20	33	13	85	24	28	51	33	136

Continuação da Tabela 36

ESPÉCIES	AGROECOSSISTEMA III				Ó	Ógerd
	jan/01	jan/02	jul/01	jul/02		
<i>Archaeospora leptoticha</i>	2	-	-	-	2	10
<i>Acaulospora escrobiculata</i>	-	-	-	-	-	65
<i>Acaulospora longula</i>	-	-	-	-	-	14
<i>Acaulospora monowiae</i>	-	-	-	-	-	7
<i>Gigaspora</i> sp	2	-	2	-	4	28
<i>Glomus</i> sp	4	6	9	6	25	71
<i>Glomus etunicatum</i>	-	2	-	-	2	10
<i>Paraglomus occultum</i>	3	9	7	6	25	62
<i>Scutellospora heterogama</i>	-	-	-	-	-	7
<i>Scutellospora</i> sp	-	-	-	-	-	5
N ° de espécies	4	3	3	2	5	10
Total	11	17	18	12	58	279

Os gêneros *Acaulospora* (34,41%), *Glomus* (32,26%), *Paraglomus* (19%) e *Gigaspora* (10,04%) representaram 95,71% do total das espécies encontradas nos agroecossistemas estudados. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Saggin Junior & Siqueira (1996) ao pesquisar a rizosfera de cafeeiros, porém nesse trabalho utilizava-se nomenclatura diferente da atual. Em 2001, Morton e Redecker, citados por Moreira & Siqueira (2002), propuseram 2 novas famílias com 2 gêneros novos (*Archaeospora* e *Paraglomus*), assim, os fungos glomaleanos acham-se distribuídos em 5 famílias e 7 gêneros.

Não foi observada diferença entre época de amostragens (período seco e chuvoso) na incidência de micorrizas arbusculares (Tabela 36), como era esperado; ou seja, esperava-se diagnosticar maior número de espécies e de indivíduos durante o período chuvoso, como descreve a literatura “o máximo desenvolvimento das micorrizas coincide com as condições de umidade que favorecem o crescimento das plantas, isto é, próximas à capacidade de campo” (Moreira & Siqueira, 2002). Talvez pelo fato da coleta ter sido realizada sob a copa dos cafeeiros, local que apresenta um teor de umidade superior àqueles observados na entre linha durante o período seco.

Na Tabela 36, pode-se observar que houve uma tendência do agroecossistema I apresentar maior diversidade de espécies de micorrizas arbusculares, com predominância das espécies *Gigaspora* sp (14,12%), *Glomus*

sp (42,35%) e *Paraglomus occultum* (22,35%) representando cerca de 78,82% do total dos fungos encontrados no agroecossistema I durante a execução desta pesquisa.

O agroecossistema II apresentou maior número de micorrizas que os outros agroecossistemas, com predominância das espécies *Acaulospora* sp (58,0%), *Glomus* sp (13,24%) e *Paraglomus occultum* (13,24%) representando cerca de 84,43% do total de fungos micorrízicos arbusculares do agroecossistema II.

O agroecossistema III foi o que apresentou menor incidência e diversidade de micorrizas, sendo que ocorreu predominância das espécies *Glomus* sp (46,55%) e *Paraglomus occultum* (43,10%) representando cerca de 89,65% da abundância dos fungos encontrados nesse agroecossistema. O gênero *Glomus* predominou nos agroecossistemas I e III e o gênero *Acaulospora* no agroecossistema II, contrariando Cardoso et al. (2002) que observaram, em condições controladas, ser as espécies desses gêneros mais sensíveis à presença de Mn^{+2} acima de 15 mg dm^{-3} . O teor médio de Mn no solo (0-10 cm) nos agroecossistemas oscilou de 20,53 a $28,13 \text{ mg dm}^{-3}$ (Tabela 30).

A maior ocorrência nos três agroecossistemas foi do gênero *Glomus*, sem, entretanto, separá-lo por espécie. A maior ocorrência da espécie *Paraglomus occultum* pode refletir sua maior adaptação às condições edafoclimáticas da região em estudo. Os diferentes gêneros de FMA encontrados nos três agroecossistemas podem ter contribuído para a melhor absorção de P pelos cafeeiros, conforme já relatado anteriormente.

A baixa diversidade e incidência de fungos micorrízicos ocorridos no agroecossistema III provavelmente está correlacionada às características físicas do solo nesse agroecossistema. Na profundidade 0-10 cm, o agroecossistema III apresentou maior teor de umidade do solo que nos outros agroecossistemas (Tabela 9), devido ao seu teor de argila elevado (Tabela 7). O elevado teor de

umidade do solo, muitas vezes sujeito à saturação, afeta diretamente a população de fungos arbusculares pela deficiência de aeração do solo na camada analisada. Moreira & Siqueira (2002) relatam que características como textura e condições de umidade do solo, aeração, saturação e a compactação influenciam as micorrizas arbusculares, porque os fungos micorrízicos arbusculares e as raízes são aeróbios. A alternância entre ciclos de umedecimento e secagem parece favorecer a esporulação dos fungos micorrízicos arbusculares; por outro lado, umidade elevada do solo favorece o desenvolvimento de hiperparasitas dos esporos dos fungos micorrízicos arbusculares, reduzindo a viabilidade dos mesmos.

No que diz respeito aos índices de riqueza e diversidade (Tabela 37), observa-se que os maiores índices de riqueza (Da) foram encontrados no agroecossistema I. Esse resultado possibilita inferir que essa área apresentou maior estabilidade em comparação aos outros agroecossistemas. Alvarenga (1996), caracterizando propriedades biológicas de solos em diferentes ecossistemas, observou-se que os maiores índices de riqueza foram registrados nos ecossistemas naturais.

TABELA 37: Índice de riqueza e de diversidade quanto à ocorrência de fungos Glomales nos três agroecossistemas (I, II, III) e na profundidade de amostragem 0-10 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

AGROECOSSISTEMAS	Índice de riqueza – Da (Margalef)	Índice de diversidade – H' (Shannon-Winer)
I	1,576	0,222
II	1,221	0,153
III	0,985	0,211
GERAL	1,598	0,119

O índice de diversidade de Shanon-Winer (H') (Tabela 37), que considera simultaneamente o número e a abundância relativa das espécies, evidenciou que os agroecossistemas I e III apresentaram maior heterogeneidade de espécies em comparação ao agroecossistema II. O que indica que a

distribuição dos indivíduos dentro das espécies, nos agroecossistemas I e III, é menos equilibrada, como pode ser observado na Tabela 36.

Quando se comparam os agroecossistemas I e III observa-se que apresentam 76,92% de similaridade (Tabela 38), enquanto que os agroecossistemas I e II e os agroecossistemas II e III apresentaram menor similaridade (66,67%) em relação aos agroecossistemas I e III.

TABELA 38: Coeficientes de similaridade (%) entre os agroecossistemas na profundidade de 0-10 cm do solo. UFLA, Lavras-MG, 2003.

AGROECOSSISTEMAS	I	II	III
I	-	66,67	76,92
II	-	-	66,67

Possivelmente a maior similaridade entre os agroecossistemas I e III seja devido à maior diversidade de plantas espontâneas, uma vez que nesses agroecossistemas utiliza-se do manejo dessas plantas para aumentar a produção de biomassa vegetal local como forma de adubação verde. Já no agroecossistema II, apesar de utilizar o coquetel de adubo verde (guandu+crotalária+milho), pode ter ocorrido uma menor diversidade entre as espécies presentes.

4.4 Diagnose Foliar: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Boro (B), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Manganês (Mn) e Ferro (Fe)

O resumo da análise de variância (Tabela 39) dos teores foliares apresentou efeito significativo para agroecossistemas e épocas para todos os nutrientes, com exceção do N, que não apresentou efeito significativo para agroecossistemas. Somente os nutrientes: N, Mg, B, Zn, Mn e Fe apresentaram efeito significativo para a interação agroecossistemas x épocas.

Comparando-se as médias dos teores dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mn e Fe (Tabelas 40, 41, 13, 42, 43, 44, 46, 47, 48 e 49) observa-se que houve uma tendência de esses nutrientes apresentarem-se dentro da faixa recomendável para a cultura do café, no Sul de Minas Gerais, conforme limites estabelecidos pela CFSEMG (1999). Com exceção do N no agroecossistema III (Tabela 40), que apresentou valor um pouco abaixo do limite inferior, esse mesmo comportamento foi observado para o K nos agroecossistemas I e II (Tabela 14). Já o nutriente P apresentou teores foliares acima do limite máximo para todas os agroecossistemas (Tabela 41). O Ca também apresentou teores elevados no agroecossistema II (Tabela 42).

Pode-se observar que os níveis de nutrientes foliares N, P, K, S, Cu e Mn (Tabelas 40, 41, 42, 44, 47 e 48) apresentaram tendência de menores concentrações no período chuvoso. Para os níveis de Ca, Mg e Fe, a tendência foi inversa (Tabelas 42, 43 e 49); ou seja, maiores concentrações foliares no período seco e menores no período chuvoso. Os níveis de B e Zn apresentaram-se maiores teores no ano de 2001, independentemente da época de amostragem (Tabelas 45 e 46).

TABELA 39: Resumo da análise de variância (nível de significância) das características foliares dos agroecossistemas em função das épocas de amostragem. UFLA, Lavras-MG, 2003.

Causas da Variação	G.L.	N	P	K	Ca	Mg
Agroecossistemas	2	ns	**	**	**	**
Época	3	*	**	**	**	**
Agro X Época	6	**	ns	ns	ns	*
Resíduo	24					
CV %		5,03	5,20	6,34	7,46	7,89
Média geral		2,90	0,19	1,97	1,23 dag	0,42
		dag Kg⁻¹	dag Kg⁻¹	dag Kg⁻¹	Kg⁻¹	dag Kg⁻¹

Continuação da Tabela 39

Causas da Variação	S	B	Zn	Cu	Mn	Fe
Agroecossistemas	**	**	**	**	**	**
Época	**	*	**	*	**	**
Agro X Época	ns	**	**	ns	**	**
Resíduo						
CV %	11,44	8,35	16,56	27,36	8,89	7,12
Média geral	0,19	48,39	10,61	21,21	126,26	105,05
	dag Kg⁻¹	mg Kg⁻¹	mg Kg⁻¹	mg Kg⁻¹	mg Kg⁻¹	mg Kg⁻¹

n.s. – não significativo ($p \geq 0,05$); * significativo ($p < 0,05$); ** significativo ($p < 0,01$)

TABELA 40: Médias dos teores foliares de NITROGÊNIO (dag Kg⁻¹) nos agroecossistemas I, II e III nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02. UFLA, Lavras-MG, 2003.

EPOCA	AGROECOSSISTEMAS			Média
	I	II	III	
E 1	2,90 B	3,41 A	2,76 B	3,02 a
E 2	2,85 A	2,85 A	2,76 A	2,81 b
E 3	2,95 A	2,76 A	2,95 A	2,89 ab
E 4	2,93 A	2,86 A	2,87 A	2,88 ab
Média	2,91 A	2,97 A	2,83 A	

CV = 5,03. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 41: Médias dos teores foliares de FÓSFORO (dag Kg⁻¹) nos agroecossistemas I, II e III nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02. UFLA, Lavras-MG, 2003.

EPOCA	AGROECOSSISTEMAS			Média
	I	II	III	
E 1	0,23 A	0,22 A	0,19 B	0,21 a
E 2	0,18 A	0,16 AB	0,15 B	0,17 b
E 3	0,21 A	0,20 A	0,20 A	0,20 b
E 4	0,19 A	0,16 B	0,16 B	0,17 b
Média	0,20 A	0,19 B	0,17 C	

CV= 5,20. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 42: Médias dos teores foliares de CÁLCIO (dag Kg^{-1}) nos agroecossistemas I, II e III nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02. UFLA, Lavras-MG, 2003.

EPOCA	AGROECOSSISTEMAS			Média
	I	II	III	
E 1	0,84 AB	0,98 A	0,75 B	0,86 d
E 2	1,38 A	1,54 A	1,43A	1,45 b
E 3	0,96 A	1,05 A	0,99 A	1,00 c
E 4	1,55 A	1,69 A	1,54 A	1,59 a
Média	1,18 B	1,32 A	1,18 B	

CV = 7,46. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 43: Médias dos teores foliares de MAGNÉSIO (dag Kg^{-1}) nos agroecossistemas I, II e III nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02. UFLA, Lavras-MG, 2003.

EPOCA	AGROECOSSISTEMAS			Média
	I	II	III	
E 1	0,38 A	0,42 A	0,29 B	0,36 c
E 2	0,39 B	0,49 A	0,39 B	0,43 b
E 3	0,38 A	0,43 A	0,43 A	0,41 b
E 4	0,46 A	0,52 A	0,46 A	0,48 a
Média	0,40 B	0,47 A	0,39 B	

CV = 7,89. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 44: Médias dos teores foliares de ENXOFRE (dag Kg^{-1}) nos agroecossistemas I, II e III nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02. UFLA, Lavras-MG, 2003.

EPOCA	AGROECOSSISTEMAS			Média
	I	II	III	
E 1	0,28 A	0,21 AB	0,18 B	0,21 a
E 2	0,16 A	0,15 A	0,12 A	0,15 b
E 3	0,22 A	0,19 AB	0,15B	0,19 a
E 4	0,22 A	0,21 A	0,22 A	0,21 a
Média	0,21 A	0,19 A	0,17 B	

CV = 11,44. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 45: Médias dos teores foliares de BORO (mg Kg^{-1}) nos agroecossistemas I, II e III nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02. UFLA, Lavras-MG, 2003.

EPOCA	AGROECOSSISTEMAS			Média
	I	II	III	
E 1	53,30 A	46,03 AB	44,70 B	48,01 ab
E 2	52,66 AB	58,59 A	45,91 B	52,39 a
E 3	47,64 A	49,83 A	44,66 A	47,38 ab
E 4	39,82 B	51,78 A	45,80 AB	45,80 b
Média	48,36 AB	51,56 AB	45,27 B	

CV = 8,35. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 46: Médias dos teores foliares de ZINCO (mg Kg^{-1}) nos agroecossistemas I, II e III nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02. UFLA, Lavras-MG, 2003.

EPOCA	AGROECOSSISTEMAS			Média
	I	II	III	
E 1	10,07 A	7,57 A	6,93 A	8,19 b
E 2	26,43 A	18,48 B	15,24 B	20,05 a
E 3	7,08 A	6,54 A	5,33 A	6,32 b
E 4	8,71 A	7,84 A	7,05 A	7,87 b
Média	13,07 A	10,11 B	8,64 B	

CV = 16,56. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 47: Médias dos teores foliares de COBRE (mg Kg^{-1}) nos agroecossistemas I, II e III nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02. UFLA, Lavras-MG, 2003.

EPOCA	AGROECOSSISTEMAS			Média
	I	II	III	
E 1	30,67 A	32,43 A	18,37 B	27,16 a
E 2	15,72 A	24,83 A	16,31 A	18,96 b
E 3	18,79 A	21,75 A	16,03 A	18,86 b
E 4	17,73 A	22,94 A	18,94 A	19,87 ab
Média	20,73 AB	25,49 A	17,41 B	

CV = 27,36. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 48: Médias dos teores foliares de MANGANÊS (mg Kg^{-1}) nos agroecossistemas I, II e III nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02. UFLA, Lavras-MG, 2003.

EPOCA	AGROECOSSISTEMAS			Média
	I	II	III	
E 1	123,20 A	132,77 A	139,23 A	131,73 b
E 2	87,60 B	111,49 A	129,75 A	109,61 c
E 3	107,43 C	200,73 A	141,90 C	150,02 a
E 4	100,28 B	116,55 AB	124,23 A	113,69 c
Média	104,63 B	140,39 A	133,78 B	

CV = 8,89. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 49: Médias dos teores foliares de FERRO (mg Kg^{-1}) nos agroecossistemas I, II e III nas épocas E1: jan/01, E2: jul/01, E3: jan/02, E4: jul/02. UFLA, Lavras-MG, 2003.

EPOCA	AGROECOSSISTEMAS			Média
	I	II	III	
E 1	65,23 A	79,43 A	79,27 A	74,64 c
E 2	184,11 A	166,29 B	151,67 B	167,36 a
E 3	61,64 B	78,72 A	72,73 B	71,03 c
E 4	100,25 B	123,67 A	97,63 B	107,18 b
Média	102,81 B	112,03 A	100,33 B	

CV = 7,12. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Do fato do teor foliar de P (Tabela 41) apresentar-se acima da faixa de adequação, para os três agroecossistemas, deduz-se que o cafeeiro está eficiente – nas condições edafoclimáticas dessa região – na absorção de P do solo, pois os teores desse nutriente na profundidade de 10 a 40 cm praticamente apresentaram-se abaixo do nível recomendado para a cultura do cafeeiro. Na camada 0 a 10 cm do solo, o teor de P foi elevado nos agroecossistema I e II e dentro do recomendado no agroecossistema III (Tabela 12). Ou ainda, o elevado teor de P foliar pode estar relacionado, segundo Malavolta (1997), com o Mg que atua como eficiente carregador desse nutriente no tecido. Deve-se ressaltar

que o teor de Mg foliar estava dentro da faixa de adequação para o cafeeiro (Tabela 43), segundo a CFSEMG (1999).

O teor de K foliar apresentou-se elevado no agroecossistema III (Tabela 13), principalmente no período chuvoso. O nível de K apresentado no agroecossistema III está dentro da faixa de adequação para o cafeeiro. Primavesi (1990) afirma ser o K um dos elementos que mais aumenta a resistência de plantas às doenças, por aumentar a respiração e, conseqüentemente, a absorção de outros nutrientes, contribuindo para a viscosidade maior do plasma celular. Talvez os teores foliares de K encontrados nos diferentes agroecossistemas estejam abaixo do exigido para o cultivo orgânico, pois todas as áreas apresentaram alta incidência de pragas e doenças, à exceção do agroecossistema III em relação a infecção por ferrugem (*Hemileia vastatrix*), devido à cultivar implantada ser tolerante a essa doença ('Icatu Amarelo').

O teor de Ca foliar (Tabela 42) apresentou maiores valores no período seco, estando estes acima da região de adequação para o cafeeiro de acordo com CFSEMG (1999). Porém, os valores médios do agroecossistema II apresentaram-se acima do ideal, enquanto que o agroecossistema I e III mantiveram-se dentro da faixa de adequação. Segundo Mello et al. (1988), o aparecimento de sintomas de deficiência de Ca em culturas no campo não é comum, levando a crer que, embora não existindo em quantidade suficiente para manter o pH dentro de uma faixa conveniente, no que concerne à nutrição das plantas, os solos, via de regra, contêm Ca suficiente, pelo menos para impedir o aparecimento de deficiência visual.

Os teores foliares de B e Zn (Tabelas 45 e 46) apresentaram-se dentro do limite recomendável para a cultura. Houve uma tendência de esses nutrientes apresentarem maior teor durante o ano de 2001. O estado nutricional dos cafeeiros quanto ao teor de Zn (Tabela 46) contradiz os levantamentos nutricionais realizados por Lott et al. (1961), Gallo et al. (1967), Gallo et al.

(1970) e Garcia et al. (1983) citados por Reis & Martinez (2002), que afirmam que a maioria das lavouras cafeeiras apresentam deficiência de Zn. Esse fato pode estar correlacionado com a não utilização de adubos altamente solúveis (Souza & Ferreira, 1991). Segundo Marques (1990), altas doses de P parecem diminuir a concentração de Zn na parte aérea, além do que a aplicação de Zn afeta a concentração de P nos tecidos foliares. Ainda deve-se ressaltar que o teor de Zn do solo estava abaixo do recomendado para a cultura nos três agroecossistemas e profundidades estudados (Tabela 28).

Apesar do teor de B no solo (Tabela 27), nos três agroecossistemas, apresentar tendência de teores abaixo do recomendado para o café nas profundidades 10-20 e 20-40 cm, a concentração de B foliar apresentou-se dentro do nível de adequação para a cultura (Tabela 45), sugerindo que a melhor absorção desse nutriente, pelo cafeeiro, ocorreu na camada superficial do solo (0-10 cm). Isto concorda com Guimarães & Mendes (1997) quando afirmam que a maior concentração das raízes da placa superficial do cafeeiro ocorrem até uma profundidade de 20 a 30 cm do solo, sendo que estas crescem mais ou menos de forma paralela à superfície do solo, até distâncias de 1,30 m a 2,0 m do tronco, em geral ramificando-se horizontalmente.

O teor de N foliar apresentou tendência (Tabela 40) dos valores estarem dentro da faixa de adequação, levando a crer que o manejo da adubação verde e das plantas espontâneas, nos agroecossistemas estudados, disponibiliza N suficiente para a nutrição do cafeeiro.

Os teores foliares de Mg, S, Cu, Mn e Fe (Tabelas 43, 44, 47, 48 e 49) apresentaram-se dentro dos limites de adequação para o cafeeiro. As variações observadas no solo nas diferentes profundidades amostradas não afetaram a nutrição da cultura. Possivelmente as interações químicas desses nutrientes no solo com outros íons favoreceram a absorção exigida pela planta. Ou ainda, segundo Scheller (2001), a liberação de micronutrientes do solo pode estar

ocorrendo devido à liberação de secreções das raízes das plantas ou de microorganismos como ácidos orgânicos (ácido láctico, ácido cítrico, ácido málico, entre outros) ou aminoácidos.

4.5 Pragas e doenças

4.5.1 Bicho mineiro do cafeeiro (*Leucoptera coffeella* - Guérin-Mèneville, 1842 – Lepidoptera: Lyonetiidae)

Segundo Souza et al. (1998), deve-se considerar, para início do controle dessa praga, 20% ou mais de folhas minadas no terço superior (local de coleta de folhas) ou 30% ou mais de folhas minadas nos terços médio e superior (locais de coletas de folhas) dos cafeeiros. Considerando-se folhas minadas com minas intactas, de qualquer tamanho.

Apesar da grande importância da ação dos inimigos naturais no controle do bicho-mineiro, não foi objetivo desta pesquisa a sua avaliação. A flutuação populacional dessa praga foi determinada a partir da constatação de folhas com minas intactas. Muitas vezes foram observadas minas rasgadas e, na mesma folha, havia também minas intactas.

Foi avaliada a flutuação populacional do bicho-mineiro nos três terços das plantas (superior, mediano e inferior), durante 24 meses, nos três agroecossistemas caracterizadas (Figuras 2, 3 e 4). Os agroecossistemas I e II apresentaram mesma tendência de infestação por bicho-mineiro, sendo que atingiram infestação acima de 20% no terço superior de junho a outubro de 2001 e 2002 (Figuras 2 e 3). O agroecossistema III atingiu infestação acima de 20% no terço superior de maio a outubro de 2001 e de junho a setembro de 2002 (Figura 4). Nesses agroecossistemas o pico populacional do bicho-mineiro ocorreu em agosto/setembro de 2001 e 2002, praticamente semelhante ao

observado por Souza et al. (1998) que ao estudar a região cafeeira do sul de Minas Gerais diagnosticaram o pico populacional dessa praga em setembro/outubro. Portanto, nos três agroecossistemas haveria necessidade de controlar a incidência de bicho-mineiro, utilizando defensivos alternativos e de uso permitido para a agricultura orgânica.

Considerando que as lesões nas folhas, decorrentes do ataque por bicho-mineiro, reduzem a capacidade de fotossíntese em função da redução da área foliar e, se o ataque for intenso, ocorre desfolha da planta de cima para baixo, e, causa redução significativa na produção, conforme relatam Reis et al. (2002), possivelmente um eficiente controle do bicho-mineiro nesses agroecossistemas poderá resultar em um significativo aumento na produtividade. Os produtores de café orgânico (na prática) utilizam diversos defensivos alternativos para controlar o ataque do bicho-mineiro, porém poucos produtores obtêm sucesso com o uso dos mesmos.

Não foi objetivo desta pesquisa avaliar o índice de desfolha do cafeeiro, mas pode-se constatar visualmente que todos os agroecossistemas tiveram alta desfolha a partir do mês de outubro de 2001 e 2002. A incidência de ferrugem também colaborou para a queda de folhas dos agroecossistemas I e II.

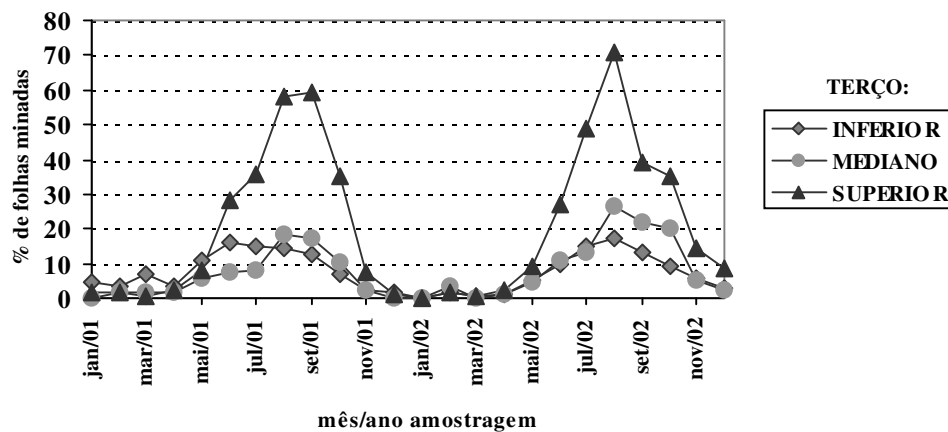


FIGURA 2: Flutuação populacional do bicho mineiro do cafeeiro (*Leucoptera coffeella*) no agroecossistema I. UFLA, Lavras-MG, 2003.

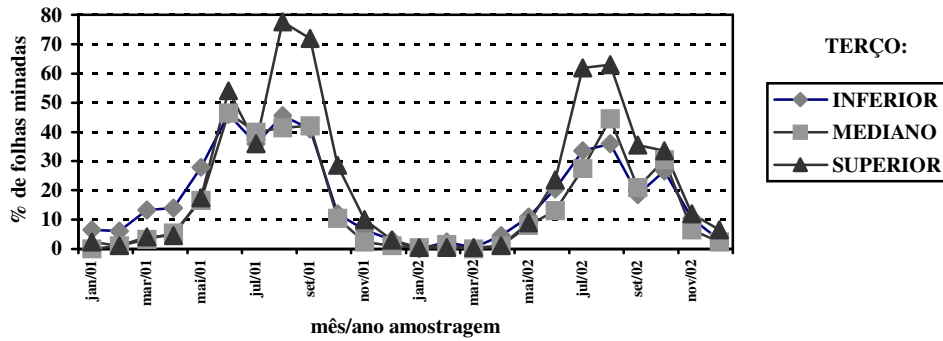


FIGURA 3: Flutuação populacional do bicho mineiro do cafeeiro (*Leucoptera coffeella*) no agroecossistema II. UFLA, Lavras-MG, 2003.

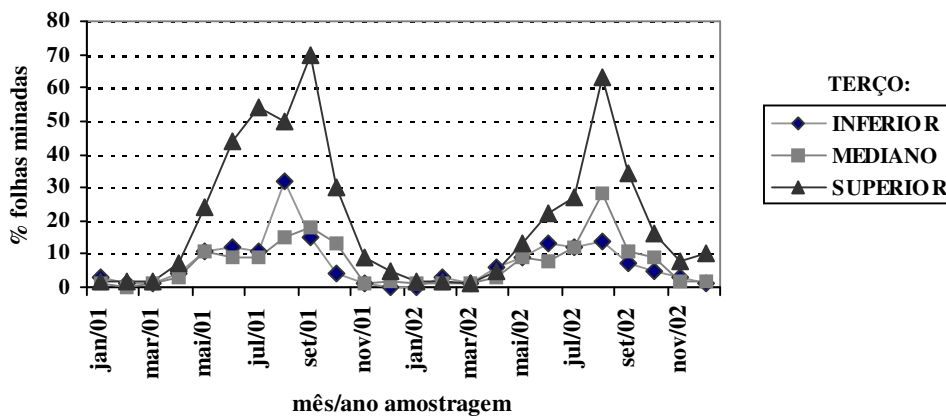


FIGURA 4: Flutuação populacional do bicho mineiro do cafeeiro (*Leucoptera coffeella*) no agroecossistema III. UFLA, Lavras-MG, 2003.

4.5.2 Broca-do-café (*Hypothenemus hampei* – Ferrari, 1867 – Coleoptera: Scolytidae)

Nas Figuras 5, 6 e 7 dos agroecossistemas I, II e III, pode-se verificar que em nenhum agroecossistema a infestação foi superior a 5%. No agroecossistema I (Figura 5), o maior índice de infestação ocorreu em maio de 2001 (3,02%). Como nesse mesmo ano o produtor realizou um bom “repasso” após a colheita para retirar eventuais grãos que permaneceram nos pés e no chão da lavoura, em 2002 o maior índice de infestação foi de 1,25%.

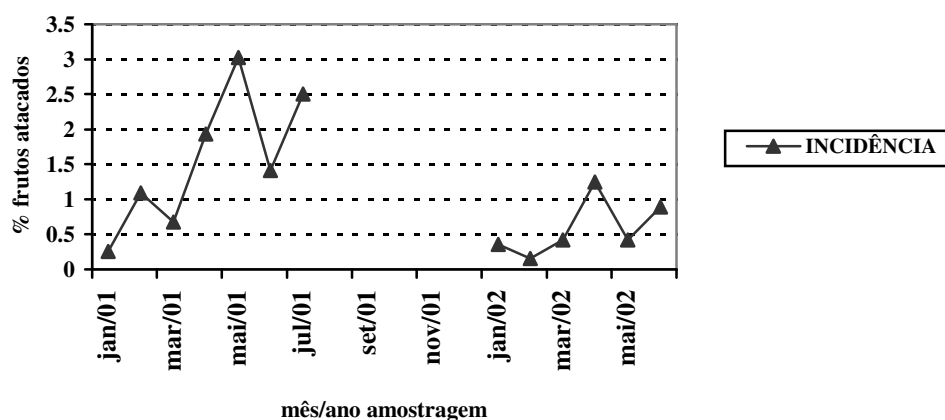


FIGURA 5: Flutuação populacional da broca do cafeeiro (*Hypothenemus hampei*) no agroecossistema I. UFLA, Lavras-MG, 2003.

O agroecossistema II (Figura 6) apresentou índices inferiores ao estabelecido como nível de dano à cultura, sendo observada a maior infestação em maio de 2001 (1,20%) e junho de 2002 (1,04%). Nesse agroecossistema também há o hábito de realizar um bom “repasso” na lavoura.

O agroecossistema III (Figura 7) apresentou índice de 0,78% em abril de 2001, abaixo do nível de dano. Deve-se ressaltar que esse agroecossistema em 2001, praticamente, não obteve produção (10 Kg café beneficiado/ha) e portanto

não realizou um bom “repasse” na área, fato que pode ter contribuído para o aumento na infestação por broca no ano seguinte, de 4,33%.

Segundo esses dados e observações em campo, pode-se sugerir que a infestação por broca na lavoura foi amenizada por medidas de controle cultural, conforme sugerem Reis et al. (2002). A colheita de café deve ser muito bem realizada, evitando-se que fiquem frutos nas plantas e no chão, nos quais a broca poderá sobreviver na entressafra. Após a colheita, caso tenham ficado muitos grãos nas plantas e no chão, é recomendável fazer o “repasse” ou catação dos frutos remanescentes da colheita.

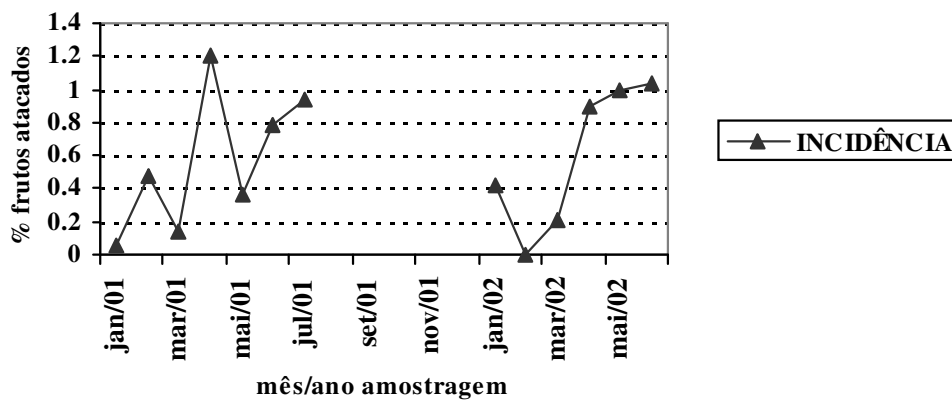


FIGURA 6: Flutuação populacional da broca do caféiro (*Hypothenemus hampei*) no agroecossistema II. UFLA, Lavras-MG, 2003.

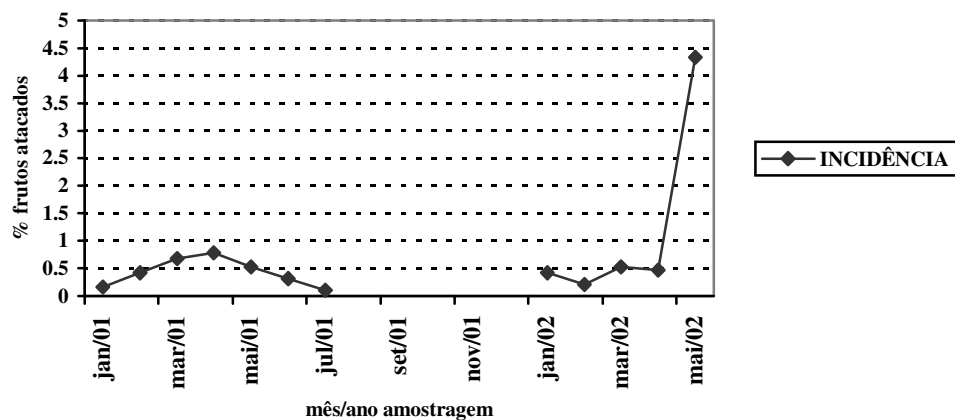


FIGURA 7: Flutuação populacional da broca do café (*Hypothenemus hampei*) no agroecossistema III. UFLA, Lavras-MG, 2003.

4.5.3 Ferrugem do café (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.)

Nos agroecossistemas I e II, a cultivar implantada é a Catuaí Vermelho e no agroecossistema III, a Icatu Amarelo (Tabela 1). Como a Cultivar Icatu é considerada portadora de resistência horizontal à ferrugem (Mendes & Guimarães, 1997; Carvalho et al., 2002) não foi observada porcentagem de incidência superior a 10% no agroecossistema III.

A partir da Figura 8 pode-se observar que a incidência de ferrugem no agroecossistema I, de janeiro a setembro de 2001 e de março a outubro de 2002, apresentou índices máximos em torno de 40% de folhas com pústulas esporuladas. No agroecossistema II (Figura 9), praticamente de maio a agosto de 2001 e de abril a setembro de 2002 a incidência de folhas com pústulas esporuladas atingiu 70%. Em nenhum dos agroecossistemas caracterizados realizou-se controle alternativo à infecção por ferrugem, durante a execução desta pesquisa. Isto possibilita inferir que a desfolha observada nesses dois anos

de pesquisa pode ser em grande parte atribuída à alta incidência de ferrugem com consequentes efeitos negativos sobre a produtividade.

Também pode-se observar que no ano de 2002, ano com carga pendente alta nas áreas de estudo, houve maior incidência de ferrugem na cultura do café (agroecossistemas I e II, Figuras 8 e 9).

Carvalho et al. (1996) verificaram que baixos teores foliares de K propiciaram maior incidência da doença, o que pode ser comprovado a partir dos valores médios de K foliar (Tabela 13). Os agroecossistemas I e II, que apresentaram maior incidência de ferrugem, também apresentaram nível foliar de K abaixo da região de adequação para o cafeeiro. Apesar da cultivar 'Icatu', implantada no agroecossistema III apresentar resistência horizontal à ferrugem (Figura 10), o teor de K foliar nesse agroecossistema apresentou-se dentro da região de adequação para a cultura.

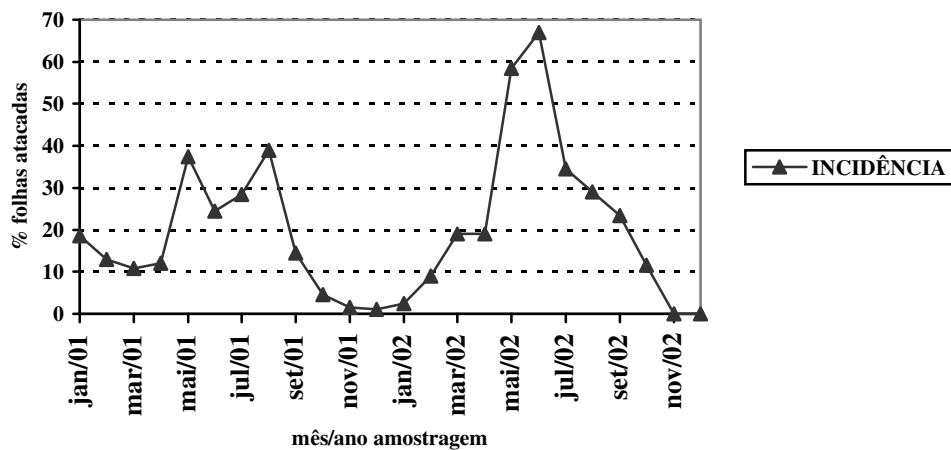


FIGURA 8: Incidência de ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) no agroecossistema I (cultivar 'Catuaí Vermelho'). UFLA, Lavras-MG, 2003.

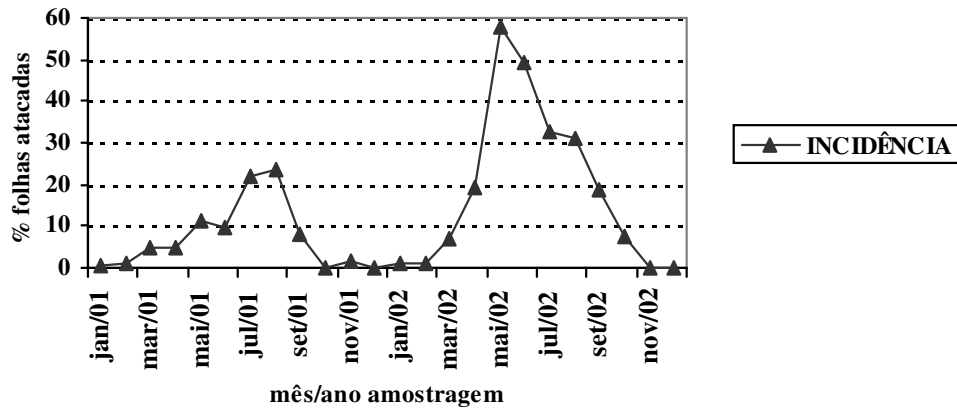


FIGURA 9: Incidência de ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) no agroecossistema II (cultivar 'Catuaí Vermelho'). UFLA, Lavras-MG, 2003.

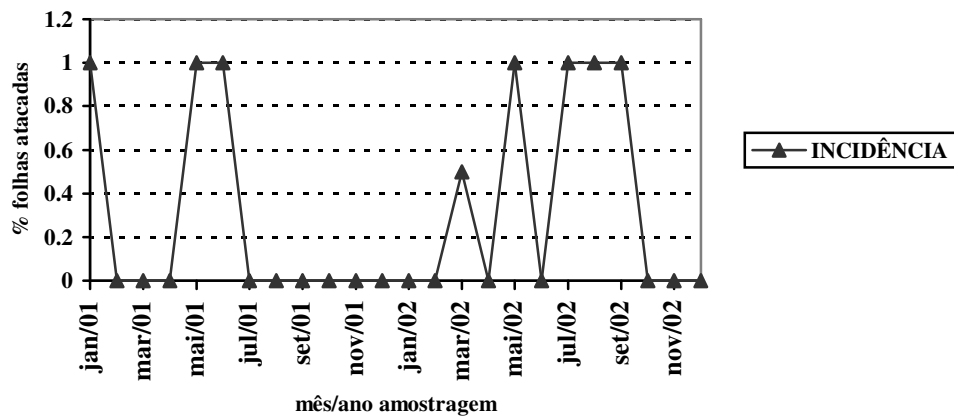


FIGURA 10: Incidência de ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) no agroecossistema III (cultivar 'Icatu Amarelo'). UFLA, Lavras-MG, 2003.

Não foi objetivo desta pesquisa avaliar os fungos parasitas das pústulas de ferrugem, porém pode-se observar que o fungo *Verticillium* sp, em várias épocas de amostragem, apareceu parasitando a *Hemileia vastatrix*. O fungo *Verticillium* sp, das amostras de folhas desta pesquisa, foi identificado por Carvalho (2001).

O plantio de cultivares resistentes à ferrugem é, sem dúvida, uma forma de controle viável, principalmente para a cafeicultura orgânica. Porém, há inúmeros plantios de cafeeiros de cultivares suscetíveis ao ataque de *Hemileia vastatrix* que, atualmente, estão convertendo seus sistemas de manejo para o orgânico. E também há muitos produtores, que por diferentes razões, preferem implantar lavouras com cultivares susceptíveis à ferrugem. Portanto, torna-se de fundamental importância a necessidade de prosseguir pesquisas com defensivos alternativos, bem como, diferentes formas de incorporação de K ao solo tornando-o disponível às plantas, visando uma maior absorção desse nutriente como forma de aumentar a resistência das plantas ao ataque da ferrugem, e, de certa forma, continuando a pesquisa iniciada por Carvalho et al. (1996).

4.5.4 Cercóspera nas folhas e nos frutos do cafeeiro (*Cercospora coffeicola* Berk & Cooke)

Nas Figuras 11, 12 e 13 observa-se que a incidência de cercóspera nas folhas atingiu níveis elevados. No agroecossistema I pode-se verificar que o pico de infecção em 2001 foi em agosto (55,5%) e em 2002 em setembro (62,0%), observando-se o terço mediano de amostragem. No agroecossistema II, em 2001, o nível mais elevado foi em agosto (32,0%) e em 2002 também em agosto (59,5%). No agroecossistema III, em junho de 2001 (28,5%) e em junho de 2002 (65,5%).

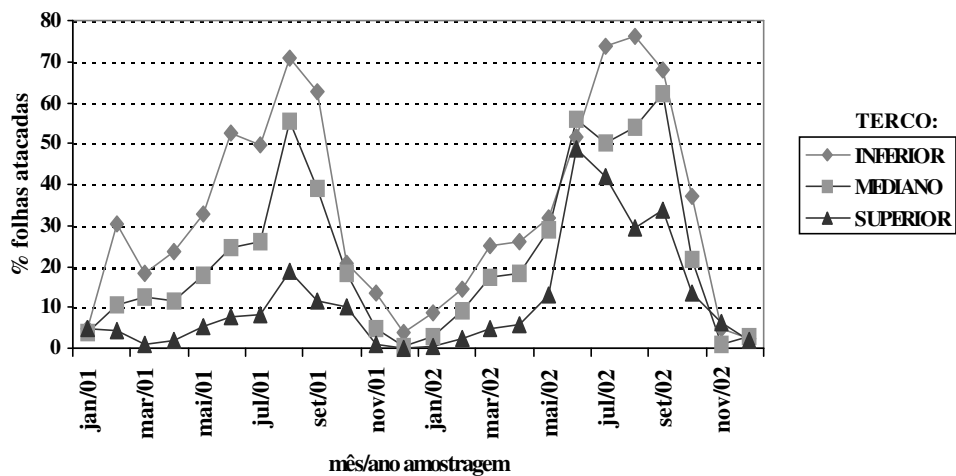


FIGURA 11: Incidência de cercóspera (*Cercospora coffeicola*) em folhas de cafeeiro no agroecossistema I. UFLA, Lavras-MG, 2003.

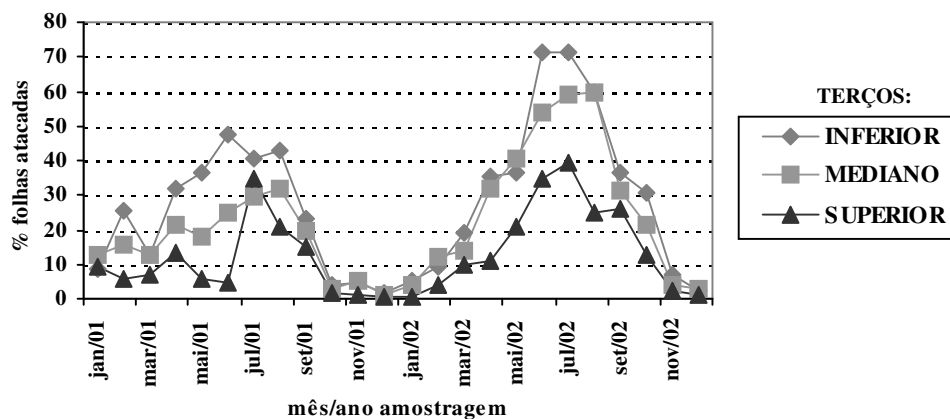


FIGURA 12: Incidência de cercóspera (*Cercospora coffeicola*) em folhas de cafeeiro no agroecossistema II. UFLA, Lavras-MG, 2003.

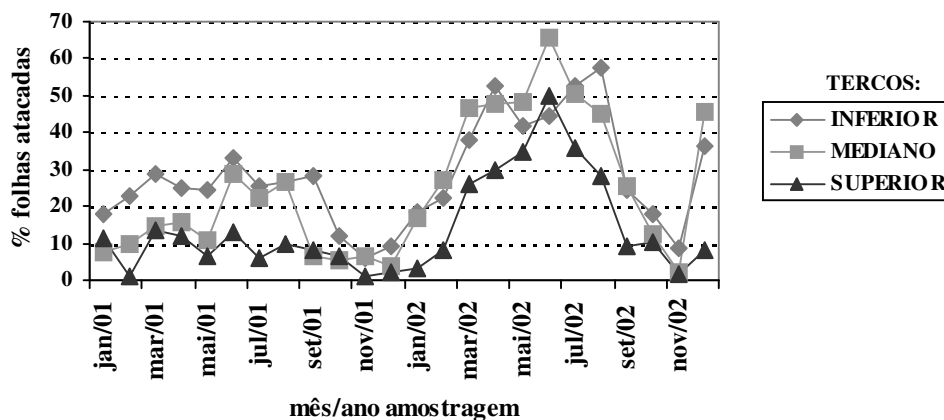


FIGURA 13: Incidência de cercospora (*Cercospora coffeicola*) em folhas de café no agroecossistema III. UFLA, Lavras-MG, 2003.

Apesar da recomendação de amostragem para diagnose da incidência de cercosporiose ser a partir de coletas de folhas do terço mediano do café, nesta pesquisa realizou-se a amostragem para a avaliação da incidência de cercospora nos três terços da planta.

Quanto à época de amostragem, pode-se afirmar que o período seco, com temperaturas amenas, foi mais propício para o desenvolvimento da doença. Isto contraria Chalfoun (1997), Carvalho et al. (2002), Almeida (1986) e Carvalho & Chalfoun (1995), que afirmam que o fungo *Cercospora coffeicola* Berk & Cooke necessita de umidade relativa alta; porém concorda com esses pesquisadores, que a maior incidência de cercosporiose ocorre em condições de temperaturas amenas e maior luminosidade.

Observou-se, durante as coletas, que as plantas que recebiam sombreamento parcial por outras espécies como bananeira, mamona e pau-pereira, a infecção por cercospora foi menor (dados de observação, sem valores numéricos). Apesar de essa observação não fazer parte dos objetivos desta pesquisa, concorda com Carvalho et al. (2002) e Chalfoun (1997), por afirmarem

que cafeeiros submetidos ao sombreamento apresentam menor ocorrência da doença, podendo chegar a uma redução de até 50% de infecção.

Além das condições climáticas, a nutrição deficiente e/ou desequilibrada em solos muito argilosos, muito arenosos ou solos compactados, assim como sistema radicular deficiente ou pião torto, são fatores que predispõem as plantas à doença (Carvalho et al., 2002).

Ao observar os teores foliares dos nutrientes dos cafeeiros estudados (Tabelas 13, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48 e 49) à exceção do P que apresentou níveis acima e do K que apresentou teores abaixo (agroecossistemas I e II), os demais nutrientes tenderam a apresentar-se dentro do intervalo de adequação para a cultura. Talvez um desequilíbrio nutricional (desbalanço entre nutrientes) possa ter contribuído para os elevados níveis de cercosporiose observados.

Provavelmente, um incremento na adubação potássica, proveniente de adubações orgânicas poderá reduzir a incidência de doenças nas áreas analisadas. O K é um dos elementos que mais aumenta a resistência das plantas à doenças, por aumentar a respiração e com isso, a absorção de outros nutrientes contribuindo para a maior viscosidade do plasma celular. O K não compõe substâncias vegetais, mas catalisa sua formação. Por isso o seu efeito depende da riqueza do solo em outros nutrientes, especialmente P e N (Latzko, 1965 citado por Primavesi, 1990; Primavesi, 1990). Os diferentes resultados encontrados na literatura, tais como, o alto teor de K implicando em maior infecção por *Cercospora*, podem ser explicados – além da baixa eficiência do N (decorrente de manejo inadequado e nitrificação deficiente), falta de P, Ca e micronutrientes, pelo tipo de adubo utilizado para a implantação do experimento. Ou seja, se o K é fornecido ao solo em forma de cloreto, principalmente em solos ácidos e em clima quente (solos tropicais), aumentará desproporcionalmente a pressão osmótica externa, dificultando a absorção vegetal, conforme esclarecido por

Primavesi (1990). Dificultando a absorção de nutrientes pelas plantas, ocasionará um desequilíbrio nutricional e favorecerá o ataque de pragas e doenças.

Quanto à incidência de cercóspera nos frutos dos cafeeiros observa-se que o agroecossistema I em junho de 2001 apresentou 2,67% e em maio/junho de 2002, 2,0%. No agroecossistema II os níveis mais elevados de incidência foram observados em junho de 2001 (2,33%) em maio/junho de 2002 (2,83%). No agroecossistema III, em junho de 2001 (1,50%) e em maio de 2002 (4,33%). Esse agroecossistema apresentou praticamente incidência de cercóspera em frutos três vezes maior em 2002 que em 2001, provavelmente devido ao estresse sofrido pela planta, decorrente da acentuada bienalidade (Figuras 14, 15 e 16).

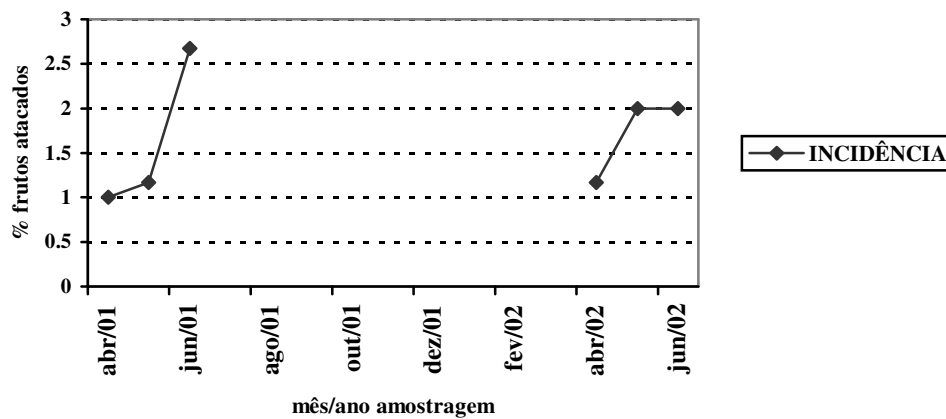


FIGURA 14: Incidência de cercóspera (*Cercospora coffeicola*) em frutos de café no agroecossistema I. UFLA, Lavras-MG, 2003.

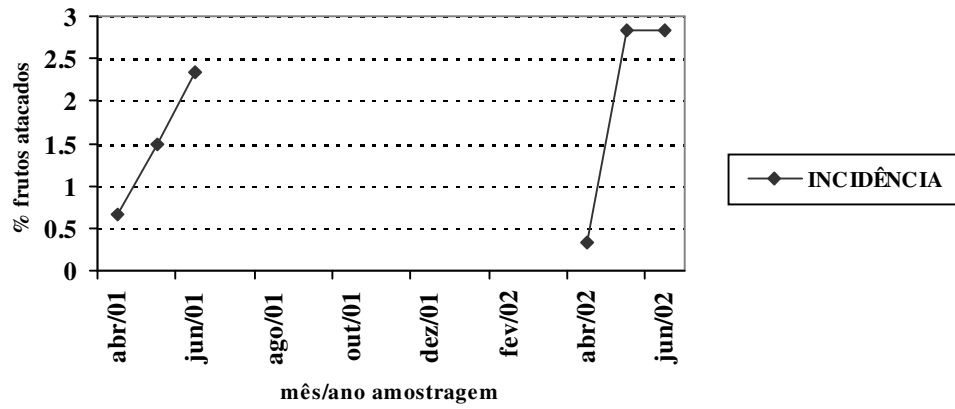


FIGURA 15: Incidência de cercóspera (*Cercospora coffeicola*) em frutos de cafeeiro no agroecossistema II. UFLA, Lavras-MG, 2003.

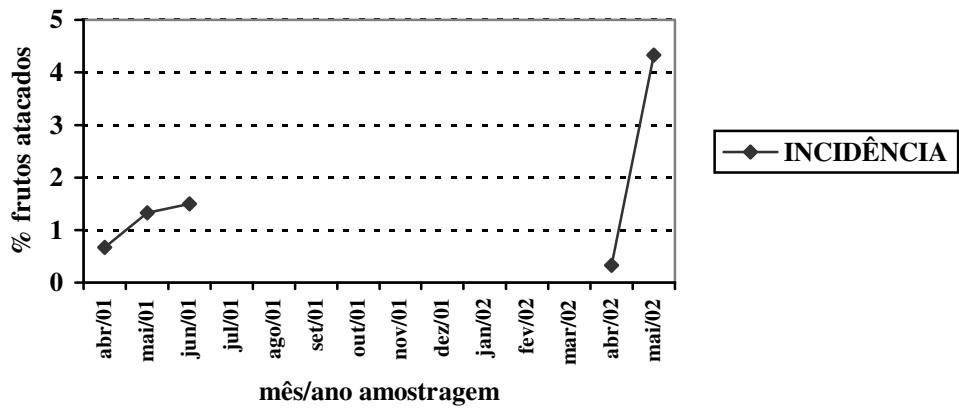


FIGURA 16: Incidência de cercóspera (*Cercospora coffeicola*) em frutos de cafeeiro no agroecossistema III. UFLA, Lavras-MG, 2003.

4.6 Alterações das propriedades do solo

4.6.1 Avaliação das propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo

O diagrama da Figura 17 mostra a ordenação das variáveis físicas, químicas e microbiológicas dos três agroecossistemas caracterizados, na profundidade 0-10 cm, produzido pela análise de componentes principais (PCA). Através da PCA, definem-se os agroecossistemas fundamentais e avalia-se a importância relativa das variáveis dentro do grupo de dados, segundo metodologia descrita por Kent e Coker, 1992 citados por Alvarenga, 1996. A importância relativa dos agroecossistemas e a intercorrelação entre variáveis analisadas são mostradas no diagrama da Figura 17. O comprimento dos vetores é proporcional à sua importância. O ângulo entre um determinado vetor e cada eixo de ordenação representa um grau de correlação com o eixo (Souza, 1996).

Para as variáveis física, química e microbiológica do solo, a uma profundidade de 0-10 cm, nas diferentes épocas de amostragem, nos três agroecossistemas caracterizados, a PCA (Figura 17) apresentou autovalores de 0,290 para o 1º eixo, 0,156 para o 2º eixo, 0,108 para o 3º eixo e 0,081 para o 4º eixo, que representa 63,5% da variância total acumulada nos quatro primeiros eixos, sendo a maior porcentagem de variação explicada pelo 1º eixo. As variáveis químicas do solo mais significativas apresentadas no diagrama da FIGURA 17, ou em outras palavras, mais fortemente correlacionadas com o 1º eixo de ordenação foram Ca com correlação igual a - 0,3777; o Mg com - 0,3468; o P com - 0,3313; o Cu com 0,3224; o Mn com - 0,2967; o Zn com - 0,2683 e o B com 0,1873. No 2º eixo, que apresentou correlação igual a 15,6%, a variável química mais relevante foi o Fe com - 0,2746.

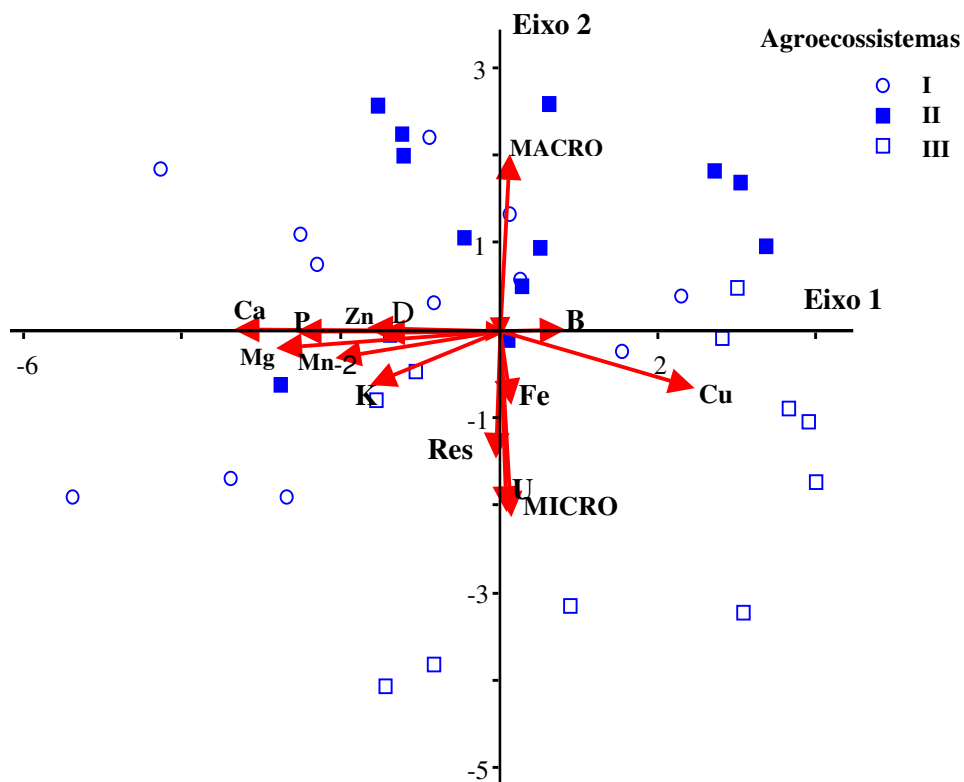


FIGURA 17: Diagrama de ordenação das variáveis físicas, químicas e microbiológicas do solo nos três agroecossistemas, na profundidade 0–10 cm, onde, MACRO: macroporosidade; MICRO: microporosidade; DS: densidade do solo; U: umidade atual; Res: respiração do solo; Ca, P, Mg, Mn, Zn, K, Fe, B, Cu: nutrientes do solo.

A variável microbiológica mais fortemente correlacionada com o 2º eixo foi a respiração (-0,3619). Não ocorreu correlação das variáveis microbiológicas com o 1º eixo. Pode-se observar na Figura 17 que a respiração e microporosidade do solo tiveram maior correlação com o agroecossistema III, conforme observado e discutido através do teste de Tukey (Tabela 34). O

agroecossistema III teve maior volume de microporos no solo provavelmente devido à maior porcentagem de argila detectada nesse solo (Tabela 7), conforme já discutido anteriormente.

A variável física mais fortemente correlacionada com o 1º eixo de ordenação foi a densidade do solo (Ds) com correlação igual a - 0,2543. No 2º eixo, que apresentou correlação de 15,6%, as variáveis físicas mais relevantes foram a umidade atual com 0,4289 de correlação, a macroporosidade com 0,4254 e a microporosidade com - 0,4352.

Em relação aos agroecossistemas apresentados no diagrama da Figura 17, observa-se uma tendência de agrupamento do agroecossistema III nos quadrantes inferiores direito e esquerdo, indicando uma maior correlação desse agroecossistema com as variáveis: umidade, microporosidade, respiração, Fe e Cu. No quadrante superior esquerdo houve uma tendência de agrupamento do agroecossistema I, indicando uma maior correlação desse agroecossistema com as variáveis: Ca, P e Zn. Nos quadrantes superiores direito e esquerdo houve uma tendência de agrupamento do agroecossistema II, indicando uma maior correlação desse agroecossistema com as variáveis: macroporosidade e densidade do solo. Esses resultados já foram discutidos anteriormente através do teste de Tukey realizado (Tabelas 2, 4, 7, 9, 11, 14, 15, 27, 28, 29, 30, 31 e 34). Pode-se, portanto, inferir que a PCA é uma técnica viável e simples para a realização desse tipo de comparação. Possibilita a visualização em conjunto das variáveis analisadas. A PCA ordenou os resultados mais importantes, de maneira mais simplificada, condizentes com o teste de Tukey.

O agroecossistema III apresentou maior porcentagem de umidade do solo em jan/02 (42,79% - Tabela 9) por apresentar maior teor de argila (53,0% - Tabela 7), o que favorece a absorção de água pelo solo, principalmente na profundidade 0-10 cm e no período chuvoso. O teor de argila elevado no

agroecossistema III justifica a maior porcentagem de microporos (44,23% - Tabela 6), como diagnosticado pela PCA e pelo teste de Tukey.

O agroecossistema I apresentou maior teor dos nutrientes Ca (3,62 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ - Tabela 15), P (25,78 mg dm^{-3} - TABELA 12) e Zn (13,07 mg dm^{-3} - Tabela 28), fato que pode ter sido favorecido pelo sistema de manejo adotado. Como por exemplo, a utilização de calagem e Fosfato de Araxá em 99/00, pode ter contribuído para o maior nível de Cálcio (considerado bom - segundo a CFSEMG, 1999) e Fósforo no solo em comparação aos outros agroecossistemas. Nos agroecossistemas II e III a última aplicação de calcário foi em 1997 e fosfato de Araxá em 1998/99.

O agroecossistema II apresentou maior porcentagem de macroporos (23,41% - Tabela 5), o que era esperado uma vez que este agroecossistema apresentou maior porcentagem de areia (48,67% - Tabela 8).

Como o agroecossistema III apresentou maior respiração do solo, pode-se inferir que esse agroecossistema apresentou maiores números de organismos aeróbios no solo que os agroecossistemas I e II, o que pode explicar o fato desse agroecossistema ter menor teor de matéria orgânica na camada 0-10 cm do solo.

4.6.2 Avaliação das propriedades químicas do solo e folha

Na Figura 18, é apresentada a ordenação das variáveis químicas do solo na profundidade 0-10 cm e das variáveis foliares da cultura nos agroecossistemas caracterizados. Através da PCA definem-se os agroecossistemas fundamentais e avalia-se a importância relativa das variáveis (química do solo e folha) dentro do grupo de dados (Kent & Coker, 1992 citados por Alvarenga, 1996). A importância relativa dos agroecossistemas e a intercorrelação entre as variáveis químicas do solo e folha (nas épocas jan/01, jul/01, jan/02 e jul/02) podem ser observadas na Figura 18. O comprimento dos

vetores é proporcional à sua importância. O ângulo entre um determinado vetor e cada eixo de ordenação representa um grau de correlação com o eixo (Souza, 1996).

Para a profundidade 0-10 cm do solo, nas quatro épocas de coleta, a PCA (Figura 18) apresentou autovalores de 0,275 para o 1º eixo e 0,172 para o 2º eixo, o que representa 27,5% e 44,7% (0,275 + 0,172) da variância total acumulada nos quatro primeiros eixos, sendo a maior parte da variação explicada pelo 1º eixo. As variáveis químicas do solo mais significativas apresentadas na Figura 18, ou seja, mais fortemente correlacionadas com o 1º eixo da ordenação foram V (0,3450), Ca (0,2457), Zn (0,2438), K (0,2210) e mais fortemente correlacionadas com o 2º eixo da ordenação foram: T (0,2221) e B (0,2495). As variáveis químicas foliares apresentam-se mais fortemente correlacionadas com o 2º eixo da ordenação, sendo essas, P f (0,4284), Ca f (0,3839), Fe f (0,3793), S f (0,2654) e Mg f (0,2113).

Em relação aos agroecossistemas apresentados no diagrama de ordenação da Figura 18, observa-se uma tendência de agrupamento das variáveis do agroecossistema I nos quadrantes superior e inferior direito; as variáveis do agroecossistema II concentraram-se nos quadrantes inferior direito e superior esquerdo; e do agroecossistema III nos quadrantes superior esquerdo e inferior esquerdo. Através do agrupamento da PCA pode-se verificar que os agroecossistemas I e II, nas épocas jan/02 e jul/02, estão mais fortemente correlacionados com as variáveis químicas do solo e foliares, ou seja, mais fortemente correlacionados com os eixos 1 e 2 da análise multivariada.

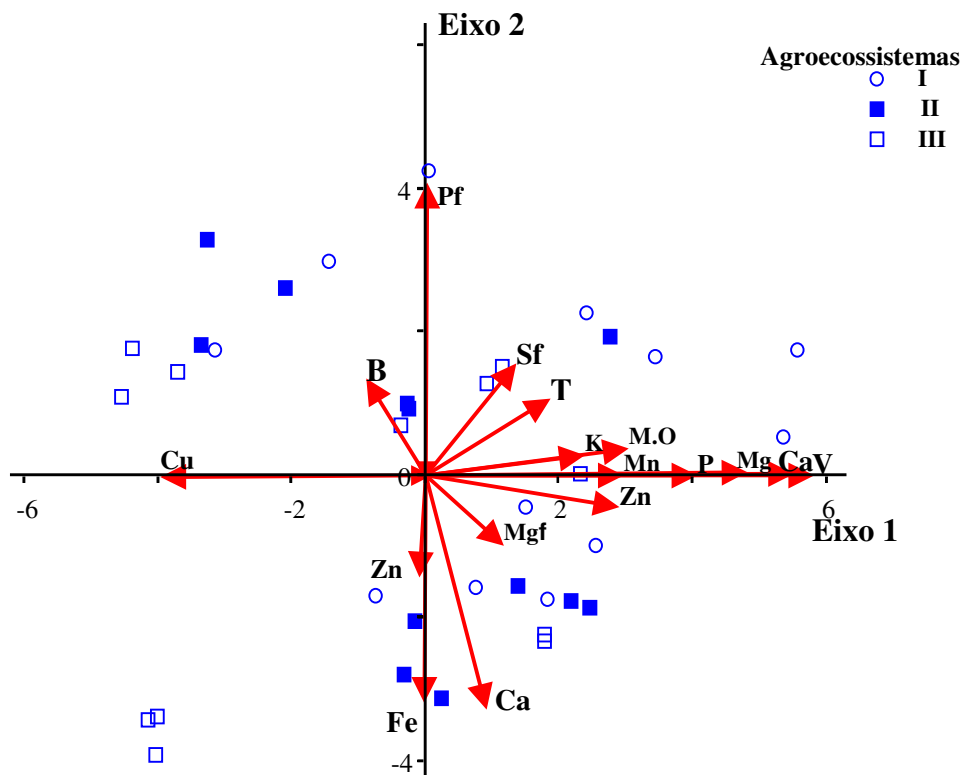


FIGURA 18: Diagrama de ordenação das variáveis químicas do solo (0-10 cm) e folhas nos três agroecossistemas, onde, Cu, B, T, K, MO, Mn, P, Mg, Ca, V, Zn variáveis dos nutrientes do solo e, Pf, Sf, Mgf, Caf, Fef, Znf variáveis dos nutrientes das folhas.

As variáveis químicas do solo que apresentam maior peso e correlação com o agroecossistema I, foram V (0,3450), Ca (0,3353), Mg (0,3137), P (0,2878), Mn (0,2457), Zn (0,2438) e K (0,2210); principalmente em jan/02 e jul/02, praticamente todos os resultados conferem com o teste e Tukey, à exceção dos teores de Zn e K que, apesar de apresentarem maiores teores no agroecossistema I, não foram significativos no teste de Tukey. No agroecossistema II, a variável química do solo de maior peso e correlação foi a

matéria orgânica (0,2501), também em jan/02 e jul/02, e no agroecossistema III foi o Cu (0,2852); esses resultados são semelhantes aos obtidos pelo teste de Tukey.

As variáveis químicas foliares que apresentaram maior peso e correlação no agroecossistema I, eixo 2, foi o P f (0,4284) e o S f (0,2654) – sendo que o S f não difere significativamente do agroecossistema II – como pode ser observado no diagrama da FIGURA 18 e através das Tabelas 39 e 43 do teste de Tukey. O P foliar (P f) teve maior peso e correlação na época jan/01 (Tabela 40) e o S foliar (S f) em jan/02 e jul/02 (Tabela 43).

Segundo a CFSEMG (1999), o índice de saturação por bases no solo do agroecossistema I nas épocas jan/02 e jul/02 estava dentro do recomendável para a cultura (72,53% e 66,60%), o Ca no solo nas mesmas épocas pode ser considerado como muito bom ($4,73 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $4,30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e nas folhas dentro do recomendado em jan/02 ($0,96 \text{ dag Kg}^{-1}$) e acima da região de adequação em jul/02 ($1,55 \text{ dag Kg}^{-1}$).

A PCA teve maior peso e correlação para o Ca foliar (Ca f) no agroecossistema II em jul/02; o teor de Ca no solo (Ca) teve comportamento semelhante ao encontrado no agroecossistema I, ou seja, em jan/02 dentro do recomendado para a cultura ($1,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e em jul/02 acima do limite recomendado ($1,69 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Apesar do teor de Ca estar alto em jul/02, no agroecossistema II, o V (índice de saturação por bases) estava médio (46,93%).

O Mg do solo teve maior peso e correlação na PCA para o agroecossistema I em jan/02 e jul/02, sendo que nessas épocas, respectivamente, encontrava-se na faixa considerada como muito bom ($1,77 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e bom ($1,37 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) – Tabela 15, segundo a classificação da CFSEMG (1999). O teor de Mg foliar (Mg f) no agroecossistema I em jan/02 e jul/02 estava dentro da região de adequação para a cultura, conforme pode ser observado na Tabela 42. Na PCA para o Mg f, o maior peso e correlação foi diagnosticado no

agroecossistema II em jul/02 ($0,52 \text{ dag Kg}^{-1}$, teor acima da região de adequação), porém, nessa mesma época o teor de Mg no solo estava dentro do limite considerado bom para o café ($1,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

O P no solo e folha teve maior peso e correlação na PCA para o agroecossistema I; sendo que o P no solo teve maior teor em jan/02 ($49,83 \text{ mg dm}^{-3}$) e jul/02 ($31,83 \text{ mg dm}^{-3}$) e na folha o maior teor foi em jan/01 ($0,23 \text{ dag/Kg}$). Em jan/01 o teor de P do solo estava baixo ($4,67 \text{ mg dm}^{-3}$), sendo que na folha nessa mesma época o teor estava acima do recomendado para a cultura ($0,23 \text{ dag Kg}^{-1}$); provavelmente os cafeeiros estavam absorvendo P que não fora detectado pela análise do solo, podendo o sistema radicular estar mineralizando P até então indisponível.

O Cu no solo teve maior peso e correlação na PCA para o agroecossistema III em jan/01. Nessa época o teor de Cu no solo estava alto ($2,23 \text{ mg dm}^{-3}$), assim como para as outras épocas nesse mesmo agroecossistema. O Cu foliar (Cu f) não teve correlação com os eixos 1 e 2 da PCA; para o agroecossistema III nas quatro épocas estava dentro do recomendado. Apesar do Cu do solo nos agroecossistema I e II estar de médio a baixo nas folhas nos agroecossistemas I e II, em jan/01 estava alto (Tabela 29 e 46), provavelmente devido as pulverizações com calda viçosa em 2000 (o agroecossistema III nunca realizou pulverizações com calda viçosa).

O teor de Fe no solo não apresentou correlação na PCA, mas segundo o teste de Tukey (Tabela 31), todos os agroecossistemas apresentaram alto teor desse nutriente no solo, sendo considerado acima do recomendado para todas as épocas, nessa profundidade. Com relação ao teor foliar de Fe (Tabela 48), foi detectado maior peso e correlação na PCA, para o agroecossistema II em jan/01 ($32,43 \text{ mg Kg}^{-1}$). À exceção de jan/01 no agroecossistema I, onde o teor de Fe estava elevado, em todas as coletas nos outros agroecossistemas o teor de Fe foliar estava dentro dos limites de adequação.

O S do solo não apresentou correlação na PCA, e não diferiu significativamente segundo o teste de Tukey (Tabela 25), porém elevados teores desse nutriente no solo foram diagnosticados. O S foliar (Sf, Tabela 43) apresentou peso e correlação semelhante para os agroecossistemas I e II em jan/02 e jul/02, sendo que foram determinados teores dentro da região de adequação para o café (0,19 dag Kg⁻¹ a 0,22 dag Kg⁻¹).

O B no solo não diferiu significativamente para agroecossistemas segundo o teste de Tukey (Tabela 27), porém apresentou correlação na PCA para os agroecossistemas I e II. O B foliar (B f, Tabela 44) não apresentou correlação na PCA nos eixos 1 e 2, nem foi significativo para épocas e agroecossistemas segundo o teste de Tukey, mas apresentou teores dentro da região de adequação para a cultura do café.

Pode-se inferir que a PCA, neste caso, também ordenou os resultados mais importantes, de maneira simplificada, condizentes com o teste de Tukey.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo evidenciam que a diminuição da CTC efetiva, nas profundidades 10-20 e 20-40 cm, nos três agroecossistemas, corresponde a um aumento na saturação por alumínio, chegando a níveis prejudiciais ao cafeeiro no agroecossistema II na profundidade 10 – 20 e na profundidade 20-40 cm em todos os agroecossistemas. Uma das alternativas, principalmente para o agroecossistema II, é aumentar o teor de matéria orgânica na camada 10-40 cm do solo. Praticamente deve-se continuar utilizando a adubação verde, consorciando leguminosas e gramíneas, ou seja, aprimorar o manejo que vem sendo utilizado a partir de uma maior diversificação de adubos verdes (coquetel de adubos verdes). Outra alternativa seria retornar à prática da calagem no agroecossistema, mas a incorporação de calcário na profundidade citada (na projeção da copa do cafeeiro) é difícil. Uma terceira opção seria o uso de gesso (gessagem), através de aplicação direta ou indireta ao solo, a forma indireta pode ser através da aplicação de gesso no preparo de compostos ou *camas* de curral. Uma sugestão da quantidade de gesso necessária ao agroecossistema I (correção 20-40 cm) seria de 0,684 t/ha (0,49 t na área do agroecossistema), considerando que a camada subsuperficial a ser corrigida situa-se sob a copa do cafeeiro. Para o agroecossistema III (correção 10-40 cm) a quantidade seria de 1,51 t/ha (0,84 t na área estudada). Para o agroecossistema II (correção 20-40 cm) a quantidade seria de 0,82 t/ha (0,25 t na área estudada). Porém deve-se salientar que a gessagem pode trazer benefícios ou não para o agroecossistema, como por exemplo, fornecer S ao solo. Para os agroecossistemas I e II isso pode ser uma desvantagem, uma vez que o teor de S nesses solos encontra-se elevado.

Considerando a relação de Ca/Mg de 4 a 5:1 pode-se constatar que os agroecossistemas I e II necessitam de calagem para aproximar-se dessa relação

ou aplicar cinzas de madeira diretamente ao solo ou incorporada a compostos. As cinzas podem conter de 8 a 15% de potássio (K_2O), 15 a 20% de ácido fosfórico (H_3PO_4), 30% de CaO e 3 a 6% de MgO , sendo portanto fonte adequada e de baixo custo de nutrientes.. As cinzas de madeira podem ser utilizadas (solo ou compostagem) na dosagem de 500 a 1000 $Kg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$.

Foi constatado que o nível de K, nos diferentes agroecossistemas e profundidades analisados nas 4 épocas de amostragem estava abaixo do limite inferior considerado ideal para a cultura do cafeeiro. Embora nos três agroecossistemas os produtores tenham a preocupação em aumentar o fornecimento de matéria orgânica ao solo e também retornar as cascas do café à lavoura, a quantidade disponibilizada ainda é insuficiente para a cultura, uma vez que os resultados da análise foliar para K (Tabela 13) apresentaram uma tendência de deficiência desse nutriente em todas os agroecossistemas e épocas de amostragem; à exceção do agroecossistema III em jan/01 e jan/02, que apresentou teores foliares de K dentro do nível de adequação para a cultura, mesmo com o solo apresentando deficiência nessas referidas épocas. Portanto pode-se inferir que os agroecossistemas caracterizados devem ser supridos em K. Uma alternativa seria a aplicação, via solo ou compostagem, de cinzas de madeira, além do retorno das cascas do café ao sistema.

Uma sugestão, para os agricultores que pretendem implantar lavouras em sistema de manejo orgânico, seria escolher cultivares de café tolerantes a doenças. Como por exemplo as cultivares: Icatu, Oeiras MG 6851, Obatã, Tupi, Iapar 59, IBC Palma, Catucaí e Paraíso MG H 419-1, que apresentam tolerância à infecção por ferrugem. Existem cultivares sendo melhoradas visando a resistência da planta ao ataque de bicho-mineiro e ferrugem, como por exemplo

a cultivar 'Siriema', podendo futuramente ser uma cultivar promissora para áreas de cultivo orgânico.

6 CONCLUSÕES

Os agroecossistemas caracterizados apresentam boa estruturação do solo.

O estado nutricional dos cafeeiros mantém-se adequado mesmo quando alguns nutrientes apresentam-se abaixo do nível considerado ideal no solo, como S, B, Zn, Cu, Mn, Fe, Ca e Mg.

O fósforo apresenta-se na faixa considerada ideal para o cafeeiro na profundidade 0-10 cm e abaixo do recomendado em maiores profundidades, embora os teores foliares do nutriente mantenham-se sempre acima do nível considerado adequado.

O potássio apresenta-se como o nutriente limitante nos três agroecossistemas com teores sempre abaixo no solo e nas folhas.

A matéria orgânica mantém-se com teor médio na profundidade até 20 cm e abaixo de 20 a 40 cm, embora o nitrogênio mantenha-se na faixa considerada ideal nas folhas.

A biomassa de carbono e a taxa de colonização micorrízica não apresentam diferenças significativas nos três agroecossistemas. Pelos resultados de biomassa de carbono e respiração do solo pode-se inferir que o agroecossistema III apresenta maior atividade microbiana, e conseqüentemente, maior número de microorganismos aeróbios presentes no solo.

Em relação aos fungos micorrízicos arbusculares identificados, observa-se maior frequência dos gêneros *Glomus* e *Paraglomus* nos agroecossistemas, sendo que o gênero *Acaulospora* apresenta maior incidência no agroecossistema II.

A infestação por bicho-mineiro ultrapassa 20% no terço superior (principalmente no período seco). A infestação por broca atinge o nível de dano econômico somente em determinadas épocas. Pode-se inferir que uma colheita bem feita com repasse na área para retirada de grãos remanescentes na planta e no chão, propiciam um controle eficiente de *Hypothenemus hampei*.

A ferrugem no agroecossistema III (cultivar 'Icatu') não atinge o nível de dano devido à tolerância da cultivar à infecção por esse fungo, porém nos agroecossistemas I e II ('Catuaí Vermelho') a infecção na lavoura atingiu elevados níveis (cultivares susceptíveis). Confirma-se que em ano de alta carga pendente há maior incidência de ferrugem. A infecção por cercóspora em folhas e frutos atinge níveis elevados no período seco.

De um modo geral, um controle alternativo e eficiente de pragas e doenças, com defensivos condizentes com práticas em agricultura orgânica, poderá resultar em um significativo aumento na produtividade de café.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. R. C. **Saber camponês e mudança técnica: um estudo de caso junto a pequenos produtores do bairro rural de Cardoso, Poço Fundo, MG.** 1992. 148 p. Dissertação (Mestrado em Administração Rural) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ALMEIDA, S. R. Doenças do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E. , ROCHA, M; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro:** fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFÓS, 1986. p. 391-399.

ALTIERI, A. **Agroecologia:** as bases científicas da agricultura alternativa. Rio de Janeiro: PTA/FASE. 1989. 240 p.

ALVARENGA, M. I. N. Eficiência de aléias de leguminosas nativas no manejo racional de lavouras de café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos ...** Brasília: Embrapa Café de NINASPLAN, 2000a. v. 2, p. 1015-1019.

ALVARENGA, M. I. N. Variabilidade na eficiência técnica e econômica da arborização com macadâmia sobre lavouras cafeeiras. SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos ...** Brasília: Embrapa Café de NINASPLAN, 2000b. v. 2, p. 1074-1078.

ALVARENGA, M. I. N. **Propriedades físicas, químicas e biológicas de um Latossolo Vermelho-Escuro em diferentes ecossistemas.** 1996. 211 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um latossolo vermelho-escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 933-942, out./dez. 1999.

ALVAREZ, R.; DÍAZ, R. A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O. J.; BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 33, n. 3/4, p. 174-28, 1995.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola.** 3. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1985. 247 p. .

BARNHISEL, R.; BERTSCH, P. M. Aluminium. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. 2. ed. Madison: ASA, 1982. pt. 2, p. 275-296.

BARRADAS, C. A. A.; FREIRE, L. R.; ALMEIDA, D. L.; DE-POLLI, H. Comportamento de adubos verdes de inverno na região serrana fluminense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, dez. 2001

BENITES, V. M.; MENDONÇA, E. S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 215-221, abr./jun. 1998.

BLANCHARD, R. W.; REHM, G.; CALDWELL, A. C. Sulfur in plant material digestion with nitric and perchloric acid. **Soil Science Society Proceedings**, Madison, v. 29, n. 1, p. 71-72, Jan./Feb. 1965.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. Trad. Antônio B. Neiva Figueiredo Filho. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898 p.

BROWER, J. E.; ZAR, J. H. **Field & laboratory methods for general ecology**. 2. ed. Dubuque: Iowa, WCB-WmC. Brown Publishers, 1984. 226 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução normativa, nº 7, de 17 de maio de 1999. Dispõem sobre normas para a produção de produtos orgânicos, vegetais e animais. **Diário Oficial**, Brasília, nº 94, 19/05/1999. 8 p.

BURNEO, M. T. J. R. **Virulência de *Beauveria bassiana* à broca-do-café, *Hypothenemus hampei*, e sua compatibilidade com agrotóxicos utilizados na cultura do café**. 1988. 64 p. Tese (Mestrado em Entomologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A. et al. **Adubação verde no sul do Brasil**. Campinas: AS-PTA, 1993. 346 p.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. Agroecologia: enfoque científico e estratégico. **Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Viçosa, v. 3, n. 2, p. 13-16, abr./mai 2002.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia: enfoque científico e estratégico para apoiar o desenvolvimento rural sustentável**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2002b. 54p. (Série programa de formação técnico-social da EMATER/RS. Sustentabilidade e cidadania, texto, 5).

CARDOSO, E. J. B. N.; FREITAS, S. S. A rizosfera. In: CARDOSO, E. J. B. N.; FSAI, S. M.; NEVES, M. C. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade brasileira de ciência do solo, 1992. Cap. 4, p. 42-57.

CARDOSO, E. J. B. N.; NAVARRO, R. B.; NOGUEIRA, M. A. Manganês e germinação de esporos de fungos micorrízicos arbusculares *in vitro*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 795-799, jul./set. 2002.

CARRIERI, A. P. **A racionalidade administrativa**: os sistemas de produção e o processo de decisão – ação em unidades de produção rural. 1992. 208 p. Dissertação (Mestrado em Administração Rural) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CARVALHO, V. L. Pesquisador da EPAMIG – CTSM. Comunicação pessoal. 2001.

CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. **Cercospora**: doença do cafeeiro também chamada de “ólho pardo” ou “ólho de pomba”. Belo Horizonte: EPAMIG, 1995. (EPAMIG. Circular Técnica ; n. 47).

CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M.; CASTRO, H. A.; CARVALHO, V. D. Influência da produção na incidência da ferrugem-do-cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 401-405, jun 1996.

CARVALHO, V. L.; CUNHA, R. L.; CHALFOUN, S. M. Manejo ecológico das principais doenças do cafeeiro. **Informe agropecuário**. Belo Horizonte, v. 23, n. 214/215, p. 101-114, jan./abr. 2002.

CEPOrg. Informações repassadas pelo Colegiado Estadual de Produtos Orgânicos do Estado de São Paulo em 11/06/2003.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - FSEMG. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5^a aproximação. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos**: teoria da trofobiose. 2. ed. Porto Alegre: L&PM, 1999. 272 p.

CHALFOUN, S. M. **Doenças do cafeeiro**: importância, identificação e métodos de controle. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 93 p. (Curso de especialização pós-graduação “Lato Sensu” por tutoria à distância: cafeicultura empresarial – produtividade e qualidade).

CHALFOUN, S. M.; CHALFOUN, I. Efeito de aplicações do Viça-café sobre o controle de doenças, bicho-mineiro e vigor dos cafeeiros. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos ...** Brasília: Embrapa Café de NINASPLAN, 2000. v. 2, p. 197-200.

CHARITY, R. B. Agricultura orgânica – técnicas e princípios (compact disc). In: CURSO FUNDAMENTAL DE AGRICULTURA BIOLÓGICO-DINÂMICA, 27., 2002, Botucatu. Instituto Elo. Botucatu. 2002.

CHAVES, J. C. D. Efeito de adubações mineral, orgânica e verde sobre a fertilidade do solo, nutrição e produção do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos ...** Brasília: Embrapa Café de NINASPLAN, 2000. v. 2, p. 1389-1392.

CLARO, S. A. **Referenciais tecnológicos para a agricultura familiar ecológica**: a experiência da Região Centro-Serra do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2001. 250 p.

COLOZZI FILHO, A. **Dinâmica populacional de fungos micorrízicos arbusculares no agroecossistema cafeeiro e adubação verde com leguminosas**. 1999. 106 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

CONTE, E.; ANGHIONONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema de plantio direto. **Revista Brasileiro Ciência Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 925-930, out./dez. 2002.

COUTO, C.; NOVAIS, R. F.; TEIXEIRA, J. L.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Níveis críticos de zinco no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 79-87, jan./abr. 1992.

CUNHA, G. de M. **Estudo comparativo de condições químicas e físicas de um latossolo vermelho-amarelo álico, de encosta, sob 2 coberturas: café e mata natural**. 1995. 65 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

DEFFUNE, G. Curso fundamental de revisão científica e prática em agroecologia, agricultura orgânica e alelopatia aplicada (compact disc). In: CURSO FUNDAMENTAL DE AGRICULTURA BIOLÓGICO-DINÂMICA, 27., Botucatu: Instituto Elo, 2002.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. Biomassa microbiana: perspectivas para o uso e manejo do solo. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: UFV, 1996. p. 551-554.

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 Science Society of America, 1994. p. 3-35.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço nacional de levantamento e conservação de solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1979. n. p.

ERICKSON, A. E. Tillage effects on soil seration. In: VAN DOREN, D. M.; ALLMARAS, R. R.; LINDEN, D. R.; WHISLER, F. D. (Ed.). **Predicting tillage effects on soil physical properties and processes**. Madison: ASA, 1982. Cap. 6, P. 91-104.

FADINI, M. A. M.; REGINA, M. A.; FRÁGUAS, J. C.; LOUZADA, J. N. C. Efeito da cobertura vegetal do solo sobre a abundância e diversidade de inimigos naturais de pragas em vinhedos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 575-576, dez. 2001

FAVERO, C. **Potencial de plantas espontâneas e de leguminosas para adubação verde**. 1998. 84 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; COSTA, L. M.; ALVARENGA, R. C.; NEVES, J. C. L. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 171-177, jan./mar. 2000.

FERNANDES, A. B. **Micorrizas vesículo-arbusculares em cafeeiros da região sul do Estado de Minas Gerais**. 1987. 98 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, R.; DRUMOND, L. C. D.; SILVA, R. P.; OLIVEIRA, C. B. Estudo de fontes e doses de matéria orgânica para adubação de cafeeiro cultivado no Cerrado. SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos ...** Brasília: Embrapa Café de NINASPLAN, 2000. v. 2, p. 1024-1027.

FERREIRA, A. J. **Dinâmica populacional da broca-do-café (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Scolytidae) em Lavras, MG.** 1998. 48 p. Tese (Mestrado em Entomologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FERREIRA, M. M. **Física do solo.** Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 63 p.

FERREYRA H. , F. F.; SILVA, F. R. Frações de boro e índices de disponibilidade em solos do estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 227-236, abr./jun. 1999.

FURLANI JR, E.; ALVES, C. C.; LAZARINI, E. Aplicação de calcário e boro em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e os efeitos sobre as características químicas do solo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória, ES. **Anais...** Vitória: Centro de Convenções de Vitória-ES, 2001.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L. et al. **Manual de entomologia.** São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1988. 649 p.

GALVAN, T. L.; PICANÇO, M.; PEREIRA, E. J. G.; MOREIRA, M. D.; BACCI, L. Efeito inseticida de quatro plantas ao bicho-mineiro do cafeeiro *Leucoptera coffeellum*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos Expandidos ...** Brasília: Embrapa Café de NINASPLAN, 2000. v. 1, p 1231-1234.

GARCIA, J. L. M. Extrato composto maduro aerado para controle de doenças fúngicas e bacterianas. **Agroecologia Hoje**, Botucatu, v. 2, n. 12, p. 3, jan. 2002.

GERDEMAN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of micorrhizal endogene species extratect from soil by wetsieving and canting. **Transaction British Mycological Society**, London, v. 46, n. 2, p. 235-346, 1963.

GIOVANETTI, M.; MOSSI, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, London, v. 84, n. 4, p. 489-500, 1980.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade, UFRGS, 2001.

GONÇALVES, A. **Agroecologia, saber local e mercado – um estudo sobre a agricultura familiar de Poço Fundo-MG**. 2003. 183 p. Dissertação (Mestrado em Gestão Social, Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G. **Fisiologia do cafeeiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 38 p. (Curso de especialização pós-graduação ‘Lato Sensu’ por tutoria à distância: cafeicultura empresarial – produtividade e qualidade).

GUSMÃO, M. R.; PICANCO, M.; GONRING, A. H. R. et al. Seletividades fisiológicas de inseticidas e vespidas predadores do bicho-mineiro-do-cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4. p. 681-686, abr. 2000.

HAMBLIM, A. P. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. **Advances in agronomy**, New York, v. 38, p. 95-158, 1985.

HARKALY, A. Certificação e responsabilidade social. **Agricultura Biodinâmica**, Botucatu, v. 19, n. 87, p. 14-45, primavera 2002.

HOMEM DE MELO, F. Liberação comercial e agricultura familiar no Brasil. In: **Comércio internacional, segurança alimentar e agricultura familiar**. Rio de Janeiro: ActionAid Brasil, 2001. Cap. 1, p. 7-45.

HERNANI, L. C.; SAKAI, F.; ISHIMURA, I.; LEPSCH, I. F. Influência de métodos de limpeza de terreno sob floresta secundária em Latossolo Amarelo do Vale da Ribeira, SP. In: Dinâmica de atributos químicos, físicos e produção de milho. **Revista brasileira de ciência do solo**, Campinas, v. 11, n. 2, p. 205-214, maio/ago. 1987.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. - IBGE. **Censo agropecuário 95/96**. Rio de Janeiro, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. – IBGE. **Censo demográfico 2000**. Rio de Janeiro, 2000.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Boca Raton: CRC, 1985. 315 p.

KALPAGÉ, F. S. C. P. **Tropical soil**. London: The MacMillan Press, 1976. 283 p.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia – relações solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 192 p.

KLUTE, A. Tillage effects on the hydraulic properties of soil: a review. In: VAN DOREN, D. M.; ALLMARAS, R. R.; LINDEN, D. R.; WHISLER, F. D. (Ed.). **Predicting tillage effects on soil physical properties and processes**. Madison: ASA, 1982. Cap. 3, p. 29-43.

KOECHLIN, F. **Engenharia genética versus agricultura orgânica** – o fato e a ficção. Publicação original: IFOAM. Tradução: João Carlos Ávila. Edição brasileira: Instituto Biodinâmico – IBD. 2003. 17 p.

KOLMANS, E.; VÁSQUEZ, D. **Manual de agricultura ecológica: uma introducción a los principios básicos y su aplicación**. MAELA - SIMAS. 1996. 222 p.

KORMANIK, P. P.; Mc GRAW, A. C. Quantification of vesicular arbuscular mycorrhizal plant roots. In: SCHENCKI, N. C. (Ed). **Methods and principals of mycorrhizal research**. St Paul: American Phytopathological society, 1982. p. 37-46.

LAL, R. Soil management in the developing countries. **Soil Science**, Baltimore, v. 165, n. 1, p. 57-72, Jan. 2000.

LANYON, L. E.; HEALD, W. R. Magnesium, calcium and barium. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. 2. ed. Madison: ASA, 1982. pt. 2, p. 247-260.

LETEY, J. Relationship between soil physical propertier and crop production. **Advances in Soil Science**, New York, v. 1, p. 277-294, 1985.

LOPES, A. S. Fosfatos naturais. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999, Cap. 9, p. 65-66.

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

LOPES, E. S.; TOLEDO, S. V.; HIROGE, R.; DIAS, R.; OLIVEIRA, E. Efeito do fungo micorrízico *Gigaspora margarita* no desenvolvimento e aproveitamento de fósforo e de zinco em mudas de cafeeiro “Mundo Novo” em casa-de-vegetação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEIEIRA, 10., 1983, Poços de Caldas-MG. **Anais...** Poços de Caldas, 1983b. p. 121-122.

MAEDER, P.; FLIESSBACH, A.; DUBOIS, D.; GUNST, L.; FRITON, P.; NIGGLI, U. Soil fertility and biodiversity in organic farming. **Science**, Washington, v. 296, n. 5573, p. 1694-1697, May 2002.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1976. 328 p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição de cacaueteiro e cafeeiro**. Brasília: Associação de Educação Agrícola Superior, 1997. 127 p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro, colheitas máximas econômicas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1993. 210 p.

MALAVOLTA, E.; FAVARIN, J. L.; MALAVOLTA, M. et al. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 1017-1022, jul. 2002.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201 p.

MANGABEIRA, J. **Comunicação através de rede informação por internet em 29/06/2003 (Rede Agroecologia)**. João Mangabeira é pesquisador da EMBRAPA e membro da Associação para o desenvolvimento de Sistemas Agroecológicos (ADSAO).

MARQUES, R. **Efeitos do P e do Zn na nutrição e crescimento de porta-enxerto de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.)**. 1990. 90 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal de Lavras, Lavras, MG.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. , V. H. (Ed.).

Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5^a aproximação. Viçosa, MG, 1999. p. 143-168

MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ, V. H.; MENEZES, J. F. S.; OLIVEIRA, J. A.; ALVARENGA, A. P.; GUIMARÃES, P. T. G. **Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Manhuaçu e Patrocínio.** Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 36 p. (EPAMIG. Boletim Técnico, n. 59).

Mc CUNE, B.; MEFFORD, M. J. **Multivariate analysis of ecological data version 3. 12. MJM Software.** Gleneden Beach, Oregon, USA, 1997.

MARTINEZ, S. S.; MENEGUIN, A. M.; MENEGUIM, J. R. Redução da postura e sobrevivência de ovos de *Leucoptera coffeella* (Guér. -Ménev.) causadas por extratos de nim. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2001, Vitória. **Resumos. . .** Vitória, 2001. p. 139.

Mc LEAN, E. O. Soil pH and lime requirement. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties.** 2. ed. Madison: ASA, 1982. pt. 2, p. 199-223.

MELLO, F. A. F.; SOBRINHO, M. O. C. B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETTO, A.; KIEHL, J. C. **Fertilidade do solo.** 3. ed. São Paulo: Nobel, 1988. 400 p.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 1997, Rio de Janeiro. **Anais....** Rio de Janeiro: EMBRAPA, SBCS, 1997.

MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. **Cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade – genética e melhoramento do cafeeiro.** Lavras: UFLA/FAEPE. 1997. 99 p. (Curso de especialização pós-graduação “Lato Sensu” por tutoria à distância: cafeicultura empresarial – produtividade e qualidade).

MENGEL, K. Turnover of nitrogen in soil and its availability to crops. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 181, n.1, p. 83-93, Apr. 1996.

MERCANTE, F. M.; FABRÍCIO, A. C.; GUIMARÃES, J. B. **Biomassa microbiana como parâmetro indicador da qualidade do solo sob diferentes sistemas de manejo**. Dourados-MS: EMBRAPA/CPAO, 2000. p. 1-15. (EMBRAPA-CPAO. Comunicado técnico. n.º 27).

MEURER, E. J.; ANGHINONI, I. Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 377-382, set./dez. 1993.

MIYASAKA, S.; OKAMOTO, H. Matéria orgânica. In: WUTKE, E. B.; BULISANI, E. A.; MASCARENHA, H. A. A. (Coords.). **Primeiro curso de adubação verde no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p. 1-12

MORAES, J. C. **Pragas do cafeeiro: importância e métodos alternativos de controle**. Lavras: UFLA/FAEPE. 1997. 59 p. (Curso de especialização pós-graduação ‘Lato Sensu’ por tutoria à distância: cafeicultura empresarial – produtividade e qualidade).

MORAES, S. A. **A ferrugem do cafeeiro: importância, condições pré-disponíveis, evolução e situação no Brasil**. Campinas: IAC, 1983. 50 p. (Circular Instituto Agrônomo, 119).

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. W. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Ed. UFLA, 2002. 626 p.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. F.; DESJARDINS, T. et al. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 36, n. 11, p. 1409-1418, nov. 2001.

OLIVEIRA, E.; SIQUEIRA, J. O.; LIMA, R. D.; COLOZZI FILHO, A.; SOUZA, P. Ocorrência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em cafeeiros da região do Alto do Paranaíba e triângulo no Estado de Minas Gerais. **Hoehnea**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 117-125, dez. 1990.

OLIVEIRA, L. B. de. Determinação da macro e microporosidade pela ‘‘mesa de tensão’’ em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1, p. 197-200, 1968.

OLIVEIRA, S. H. F.; SANTOS, J. M. F.; GUZZO, S. D. Efeito da chuva sobre a tenacidade e eficiência de fungicidas cúpricos associados ao óleo vegetal no

controle da ferrugem do cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 6, p. 581-585, nov./dez. 2002.

PAULO, E. M.; BERTON, R. S.; CAVICHIOLI, J. C.; BULISANI, E. A.; KASAI, F. S. Produtividade do café apoaã em consórcio com leguminosas na região da alta paulista. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 195-199, 2001

PEDIGO, L. P. **Entomology and pest management**. New York: Mac Millan, 1989. 646 p.

PEÑA, R. P. Trofobiose. (compact disc). In: CURSO FUNDAMENTAL DE AGRICULTURA BIOLÓGICO-DINÂMICA, 27., 2002, Botucatu: Instituto Elo, 2002.

PEREIRA, C. S.; SILVA, A. A.; GUIMARÃES, R. J.; POZZA, E. A.; SOUZA, C. A. S.; NOGUEIRA, D. A.; SANTOS, D. M. Extrato etanólico de própolis no controle de cercospora em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro/BA. **Resumos expandidos...** Porto Alegre, 2003. p. 201.

PEREIRA, C. S.; ARAUJO, A. G.; GUIMARÃES, R. J.; PAIVA, L. C. Uso do própolis como inibidor da germinação de esporos de *Hemileia vastratrix*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA CAFEEIRA DO SUL DE MINAS, 2., 2001, Lavras/MG. **Resumos...** Lavras, 2001. p. 258-260.

PHILIPS, J. M.; HAYMAN, O. J. Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transaction British Mycological Society**, London, v. 55, n. 1, p. 158-161, Aug. 1970.

PIAMONTE, R. Coquetel de adubos verdes. **Agroecologia hoje, Botucatu**, v. 2, n. 14, p. 25, maio/jun. 2002.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 9. ed. São Paulo: Nobel, 1990. 549 p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres/Potafós, 1991. 343 p.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGILIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.

REIS, J. R.; MARTINEZ, H. E. P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. **Sciëntia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 537-542, jul./set 2002.

REIS, P. B.; SOUZA, J. C.; VENZON, M. Manejo ecológico das principais pragas do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n. 214-215, p. 83-99, jan./abr. 2002.

REISENAUER, H. M.; WALSH, L. M.; HOEFT, R. G. Testing soils for sulfur, boron, molibidenum and chlorine. In: WALSH, L. M.; BEATON, J. D. (Ed.). **Soil testing and plant analysis**. Madison: SSSA, 1973. p. 418-425.

RICCI, M. S. F.; AQUINO, A. M.; SILVA, E. M. R.; PEREIRA, J. C.; DE-POLLI, H.; REIS, V. M. Conversão de um cafezal convencional em orgânico: um estudo de caso. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos Expandidos ...** Brasília: Embrapa Café de NINASPLAN, 2000. v. 2, p. 988-991.

RODELA, A. A.; FISCHER, K. R.; ALCARDES, J. C. Cation exchange capacity of na acid soil as influenced by different sources of organic matter. **Communications in soli science and plant analysis**, New York, v. 26, n. 1/2, p. 17-18, 1995.

RODRIGUES FILHO, F. S. O.; GERIN, M. A. N.; IGUE, T. FEITOSA C. T.; SANTOS, R. R. Adubação verde e orgânica para o cultivo do amendoim (*Arachis Hypogaea* L). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 53, n. 1, p. 88-93, jan./abr. 1996.

SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares no cafeeiro. In: SIQUEIRA, J. O. (Ed). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras: UFLA/DCS/DCF, 1996. p. 203-254.

SCHELLER, E. **Fundamentos científicos da nutrição vegetal na agricultura biodinâmica**. Tradução: Bernardo Thomas Sixel. Associação Brasileira de Agricultura Biodinâmica, 2001 78p.

SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. Atividade de microorganismos solubilizadores de fosfatos na presença de nitrogênio, ferro, cálcio e potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p.1495-1508, 2001.

SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. Solubilização de fosfatos por microorganismos na presença de fontes de carbono. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 311-319, abr./jun. 2000.

SORAGGI, R. V. A trofobiose na cafeicultura e os principais desequilíbrios nutricionais. **Agroecologia Hoje**, Botucatu, v. 3, n. 16, p. 9-11, set./out. 2002.

SOUZA, E. C. A.; FERREIRA, M. E. Micronutrientes no solo: zinco. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Porafós/CNPq, 1991. p. 219-242.

SOUZA, E. R. de. **Alterações físico-químicas no deflúvio de três sub-bacias hidrográficas decorrentes da atividade agrícola**. 1996. 91 p. Dissertação (Mestrado em Manejo Ambiental) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SOUZA, J. C.; REIS, P. R.; RIGITANO, R. L. O. **Bicho-mineiro do cafeeiro**: biologia, danos e manejo integrado. 2. ed. rev. aum. Belo Horizonte: EPAMIG, 1998. 48 p. (EPAMIG. Boletim Técnico, n. 54).

THOMAZIELLO, R. A.; OLIVEIRA, E. G.; TOLEDO FILHO, J. A.; COSTA, T. E. **Cultura do Café**. Campinas: Coordenadoria de assistência técnica integral, 1996. 68 p.

TOGNON, A. A.; DEMATTÊ, J. L. I.; DEMATTÊ, J. A. M. Teor e distribuição da matéria orgânica em latossolos da região da floresta amazônica e dos cerrados do Brasil. **Sciëntia Agrícola**, Piracicaba, v. 55, n. 3, p. 343-354, jul./set. 1998.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Sciëntia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, 795-801, out./dez. 2002.

UHLAND, R. E. Rapid method for determining soil mixture. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v. 15, n. 3, p. 391-393, May/June 1951.

VALE, F. R.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A.; FURTINI NETO, A. E. **Fertilidade do solo**: dinâmica e disponibilidade dos nutrientes de plantas. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 171 p. (Curso de pós-graduação “Lato Sensu” – especialização à distância: solos e meio ambiente).

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral em um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 35-42, jan./mar. 2000.

VELOSO, C. A. C.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. et al. Alumínio e a absorção de cálcio por mudas de pimenta do reino. **Sciência Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 141-145, jan./mar. 2000.

VILLACORTA, A.; POSSAGNOLO, A. F.; SILVA, R. Z.; RODRIGUES, P. S. Um modelo de armadilha com semioquímicos para o manejo integrado da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) no Paraná. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Brasília. **Resumos...** Brasília: Embrapa Café, 2001. p. 141.

VOMOCCEL, J. A. Porosity. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Part. 1. p. 299-314.

www.cidades.mg.gov.br consulta em 20/06/02.

ANEXOS

ANEXOS		Página
TABELA 1A	Médias dos teores de SILTE nos agroecossistemas I, II e III e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm.....	190
TABELA 2A	Resumo da análise de variância (nível de significância) da textura do solo, em função dos agroecossistemas e profundidades de amostragem.....	190

TABELA 1A: Médias dos teores de SILTE nos agroecossistemas I, II e III e nas profundidades 0-10/10-20/20-40 cm. UFLA, Lavras-MG, 2003.

AGRO	PROFUNDIDADES			Média %
	0-10	10-20	20-40	
I	12,33 b	13,33 a	14,00 b	13,22 b
II	10,33 b	11,67 a	12,00 b	11,33 b
III	17,00 a	14,33 a	17,67 a	16,33 a
Média	13,22 A	13,11 A	14,56 A	

CV = 12,71. Valores de mesma letra (maiúscula) na horizontal e mesma letra (minúscula) na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 2A: Resumo da análise de variância (nível de significância) da textura do solo, em função dos agroecossistemas e profundidades de amostragem. UFLA, Lavras-MG, 2003.

Causas da Variação	G.L	AREIA	SILTE	ARGILA
AGROECOSSISTEMAS	2	**	**	**
PROFUNDIDADE	2	**	ns	ns
AGRO X PROF	4	ns	ns	ns
Resíduo	18			
CV %		6,02	12,71	4,80
Média geral %		39,93	13,63	46,44

n.s. – não significativo ($p \geq 0,05$); * significativo ($p < 0,05$); ** significativo ($p < 0,01$)