

ALDRIN MARTIN PEREZ MARIN

**IMPACTOS DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL
COM CAFÉ NA QUALIDADE DO SOLO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2002

À minha mãe Orfília Pérez Marin.

À minha avô Ângela Pérez e à toda a família Pérez.

*Aos meus irmãos Victor Manuel, Maria de Los Angeles
e Onosma.*

A todos que praticam a agricultura familiar.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela oportunidade de realização do curso de pós-graduação.

À Organização de Estados Americanos (OEA), pela concessão do auxílio financeiro.

Ao Centro de Agricultura Alternativa da Zona da Mata Mineira (CTA/ZM), pela oportunidade concedida, pelo apoio e pela facilitação na realização da pesquisa.

Aos agricultores, especialmente João dos Santos e família e a José Edson Lopes e família, pela oportunidade e pelo apoio brindado na realização da presente pesquisa em suas propriedades, que sem eles não teria sido possível.

À minha mãe Orfilia Pérez Marin, pelo amor, pela compreensão, pelo apoio, pelo estímulo e pelas orações, que contribuíram para culminar este novo passo em meus projetos de vida.

A Luís Felipe Ulloa que, mais que um amigo para comigo, tem sido um pai no caminho da vida.

À minha adorada noiva, Adriana, pelo amor, pelo carinho, pela compreensão e pelo incentivo, principalmente nos momentos difíceis.

Ao meu estimado companheiro e amigo Orientador Professor Ivo Jucksch, meus agradecimentos pela amizade e pelas sugestões realizadas ao longo de meu aprendizado.

Ao Professor Eduardo de Sá Mendonça, pelo aconselhamento e pelas sugestões no desenvolvimento do presente trabalho e pelo conhecimentos adquiridos durante suas aulas sobre matéria orgânica.

Ao Professor Hugo Alberto Ruiz, que foi muito gentil em facilitar o princípio deste logro.

Ao Professor Júlio César Lima Neves, pela ajuda no desenho estatístico do trabalho.

Aos laboratoristas do Departamento de Solos, pela ajuda, pela amizade e pelo apoio na realização das análises de laboratório, em especial ao Carlos Fonseca, Claudinho, Cláudio e Bené, dos Laboratórios de Física do Solo e Fertilidade de Solo.

À minha família brasileira, Odoci, Nicasio, Vivi, Liliana, André, Nicassinho e sobrinhos, pela acolhida, pela amizade e pelo grato carinho que sentem por mim.

Aos meus amigos e irmãos nicaragüenses, cubano, equatoriano e brasileiros, Regis Mairena e sua esposa Adriana (Colombiana), Adrian Molina (Nica), Miguel Angel Dita Rodriguez (Cuba), Manuel (Equador) e sua esposa, Romildo, Beno e Samuel (Brasil), pela solidariedade e inesquecível convivência.

Às secretárias Júnia e Luciana, pela presteza, eficiência e amizade.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1. Indicadores ambientais	6
2.2. Matéria orgânica como estoque e fornecedora de nutrientes	9
2.3. Ciclagem biogeoquímica de nutrientes nos sistemas	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1. Localização e caracterização das áreas estudadas	18
3.2. Coleta de amostras de solo e manta orgânica	21
3.3. Análises químicas de solo	22
3.4. Matéria orgânica do solo	23
3.4.1. Determinação de carbono orgânico em um gradiente de oxidação decrescente	23
3.4.2. Extração da matéria orgânica Leve-Livre (FL-Leve) e Leve-Oclusa (FL-Oclusa)	24
3.4.3. Extração e determinação de nutrientes da FL-Livre e FL- Oclusa	25
3.4.4. Substâncias húmicas	26

	Página
3.5. Manta orgânica e nutrientes	27
3.6. Percepção e caracterização qualitativa dos impactos ambientais em ambos os sistemas de manejo	27
3.7. Análises estatísticas	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Matéria orgânica do solo (MOS)	32
4.1.1 Carbono orgânico total (COT)	32
4.1.2. Fração Leve-Livre (FL-Livre) e Leve-Oclusa (FL-Oclusa) .	34
4.1.3. Substâncias húmicas	44
4.1.4. Frações de carbono orgânico extraídas em um gradiente de oxidação decrescente	48
4.2. Manta orgânica e nutrientes acumulados	52
4.3. Efeitos dos sistemas nas propriedades químicas do solo	55
4.4. Percepção e caracterização qualitativa dos impactos ambientais	60
4.4.1 Sistema sob Manejo Agroecológico (SA)	60
4.4.2 Sistema sob Manejo Convencional (SC)	64
5. RESUMO E CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

RESUMO

MARIN PEREZ, Aldrin Martin, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2002. **Impactos de um Sistema Agroflorestal com Café na Qualidade do Solo.** Orientador: Ivo Jucksch. Conselheiros: Eduardo de Sá Mendonça e Liovando Marciano da Costa.

Com o objetivo de avaliar a potencialidade do manejo de um sistema agroflorestal sob enfoque agroecológico na melhoria da qualidade do solo por meio de indicadores associados à matéria orgânica; duas propriedades da Zona da Mata de Minas Gerais tiveram os solos amostrados e analisados. As amostras foram coletadas em três profundidades 0–5, 5–15 e 15–30 cm. Coletas da manta orgânica foram também realizadas em cada um dos sistemas, usando um gabarito de madeira de 0,16 m², lançado ao acaso em 10 pontos de cada parcela de ± 0,5 ha. Foram realizadas avaliações das propriedades químicas, matéria orgânica leve-livre, matéria orgânica leve oclusa, frações de carbono orgânico extraídas em um gradiente de oxidação decrescente, substâncias húmicas, conteúdo de nutrientes da manta orgânica e uma identificação dos impactos ambientais. Os resultados indicaram que o Sistema Agroflorestal sob Manejo Agroecológico (SA), quando comparado com um Sistema de Manejo Convencional (SC), promoveu maior poder de recuperação dos solos pobres em nutrientes e erodidos. O Sistema Agroecológico incrementou os teores de matéria orgânica do solo, FL-

Livre, substâncias húmicas, frações de carbono orgânico extraído em um gradiente de oxidação e conteúdos de nutriente da manta orgânica. Houve aumentos, embora não significativos, nos valores de matéria orgânica oclusa, CTC a pH 7, CTC_{efetiva}, SB, V, P e K disponíveis. Decréscimo do Al⁺³ e (H+Al) foram também observadas. O exercício de percepção e caracterização de impactos ambientais permitiu identificar no SA, 215 relações efetivas de impactos positivos, diretos e indiretos para o meio físico, biótico e antrópico. Sendo que um total de 42% das relações, dentro do meio físico, foi observado no solo. O Sistema de Manejo sob Enfoque Agroecológico estudado, em geral, apresentou uma melhoria da qualidade do solo em relação às propriedades químicas e da matéria orgânica, indicando um maior poder de recuperação do solo, devendo seu uso ser promovido, o que pode resultar em uma boa alternativa, em solos acidificados e com baixos teores de nutrientes, além de sua contribuição como um mecanismo de seqüestro de C-CO₂ da atmosfera.

ABSTRACT

PEREZ MARIN, Aldrin Martin, M.S., Universidade Federal de Viçosa, July, 2002. **Impactos de um Sistema Agroflorestal com Café na Qualidade do Solo.** Advisor: Ivo Jucksch. Committee Members: Eduardo de Sá Mendonça e Liovando Marciano da Costa.

With the objective of evaluating the working potentiality of an agroforestral system from an agroecological point of view for improving soil quality, by means of indicators associated with organic matter; two properties in the Zona da Mata in Minas Gerais, had the soil sampled and analysed. The samples were obtained at three depths, 0 – 5; 5 – 15 and 15 – 30 cm, the collection of the covering organic matters, was also carried out at random, in ten places for each plot of $\pm 0,5$ ha. An evaluation was carried out on the chemical properties of light free organic matter and light intra-aggregated organic matter. Fractions of organic carbon extracted at a decreasing gradient of oxidation, humic substances, the nutrient content of organic covering and an identification of the impact on the environment were analysed. The results indicate that the agroforestral system under agroecological management (SA), when compared with a conventional management system (SC), causes a better power of recuperation in eroded soils poor in nutrients. The agroecological system increased the grade of the organic soil matter, FL-Free, Humic substances, fractions of organic carbon extrated

from a gradient of oxidation and nutrient contents of the organic covering. There were increases, although not significant, in the values of the intra-aggregated organic matter, CTC to pH 7, CTC effective, SB, V, P and K available, decreases in Al^{3+} and (H+Al) were also observed. The exercise in perception and characterization of environmental impact permitted the identification in the SA of 215 relative effects of positive impacts, direct and indirect on the physical, biotic and anthropological environments. A total relation of 42 % being observed in the physical environment. The management system, from a studied agroecological point of view, in general, presented a better quality of soil in relation to its chemical properties and its organic matter, showing a greater power of soil recuperation, being, due to its stimulative use, which could result in a good alternative in soil where the terrain is rough and has low nutrient content and besides it contributes as a mechanism for capturing C-CO₂ from the atmosphere.

1. INTRODUÇÃO

Solos pobres das regiões tropicais, baixo poder de resiliência; alto avanço tecnológico, altos níveis de processo de degradação e os efeitos sociais e econômicos desta degradação cada vez mais marcantes são algumas das observações que têm levado a perceber, na maioria dos círculos científicos, que a agricultura de altos insumos enfrenta uma crise ambiental (IMAS 1998; ALTIERI, 1989). A raiz destas crises provém do uso de práticas agrícolas intensivas, baseadas na utilização de grandes quantidades de insumos que levam à degradação dos recursos naturais, sejam por meio de processos erosivos, contaminação ou morte provocadas pelo uso de agrotóxicos que finalmente repercutem em reduções progressivas da produtividade (ALTIERI, 1989). O estudo global sobre a avaliação da degradação das terras revela que esta problemática pode representar uma grave ameaça para a produção de alimentos e meios de vida da população rural, particularmente em áreas pobres e densamente habitadas no mundo, principalmente nos países periféricos e marginalizados (GLSOD, 2000). Estima-se que desde meados do século XX tem-se degradado quase dois milhões de hectares no mundo, sendo que 3,5% dessas terras têm apresentado uma degradação tão grave que seria reversível somente com custosas medidas de engenharia, e um pouco mais de 10% dessas áreas sofreram uma degradação moderada, reversível só com altos investimentos nas propriedades.

Dos quase 1,5 bilhão/ha de terras cultiváveis no mundo, 38% têm sofrido algum grau de degradação. África e América Latina parecem possuir a maior proporção de terras agrícolas degradadas e a Ásia maior proporção de terras florestais degradadas. A situação é preocupante ao se pensar na vulnerabilidade da capacidade produtiva dos agroecossistemas nos trópicos, as tensões que neles têm criado a intensificação da agricultura e as implicações mais amplas sobre os efeitos negativos externos da produção agrícola (SCHERR e YADAV, 1997). Esta problemática tem evoluído de uma dimensão meramente técnica para dimensões mais sociais, econômicas, políticas, culturais e ambientais (ALTIERI 1989). Nesta panorâmica, muitos pequenos agricultores, com apoio das ONG's, têm impulsionado uma revolução silenciosa experimentando e promovendo o estabelecimento de sistemas agroecológicos.

Esta nova concepção de uso dos recursos disponíveis da produção, baseado em uma visão sistêmica do processo agrícola, onde os seres humanos devem comportar-se como uma unidade a mais dentro das demais unidades vivas e onde os recursos naturais (solo, água, biodiversidade) devem ser explorados de maneiras sustentáveis, ambientais e econômicas pelo homem. Esta visão está permeando os programas de desenvolvimento das agências internacionais e nacionais (GLOSOD, 2000)¹. O solo é um destes recursos que contribui de modo decisivo para a manutenção da vida e para o equilíbrio da biosfera, sendo que seu estudo, nas últimas décadas, tem passado por profundas modificações, até a abordagem holística (SIQUEIRA e MOREIRA, 1997).

Assim, o solo deve ser entendido como um complexo de seres vivos e materiais minerais e orgânicos cujas interações resultam em suas propriedades específicas (estrutura, fertilidade, matéria orgânica, capacidade de troca iônica etc.), devendo ser manejado de maneira sustentável para que possa manter a produtividade, tanto de áreas cultiváveis, como as de reserva natural. Nele se abrigam infinitas relações e formas de vida, desde a macrovida até a microvida:

¹ Global Assessment of Soil Degradation reportou que a área de solos degradados no planeta incrementou de 6% em 1945 para 17% em 1990, e que com a manutenção dos modelos atuais de uso da terra, em 2005 cerca de 25% das terras que poderiam ser utilizadas para agricultura estarão em estado de degradação (Hanson e Cassman, 1994, citados por Rosado-UFRJ).

artrópodes, moluscos, minhocas, algas, bactérias, amebas, fungos, actinomicetes e raízes. É nele que estão contidas as bases de todos os processos biológicos e bioquímicos para que os mundos mineral e vivo encontrem-se em estreita relação (RESTREPO, 1998; SIQUEIRA e MOREIRA, 1997). Os microorganismos do solo e a matéria orgânica representam o mais complexo e completo sistema digestivo do solo. Eles são responsáveis pela decomposição dos resíduos orgânicos, fabricação do húmus, sintetização de compostos orgânicos, solubilização de elementos minerais e em muitos casos são capazes de desintoxicar o próprio solo. A harmonia desta digestão é o resultado do trabalho sincronizado em cadeia e especializado de cada grupo de microrganismos no solo; contribuindo para um ambiente mais favorável ao crescimento das plantas (RESTREPO, 1998).

A biodiversidade, a atividade biológica e a matéria orgânica estão estreitamente e diretamente relacionadas com as funções e características essenciais para a manutenção da capacidade produtiva dos solos. O papel do solo na produtividade de sistemas agroecológicos é suprir, de maneira sincronizada, água, ar e nutrientes para satisfazer as demandas das plantas. O suprimento destes recursos é determinado pela combinação de processos e propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Assim, por exemplo, observa-se que o suprimento de água e oxigênio é controlado por propriedades estruturais, como textura, estabilidade dos agregados e capacidade de retenção de água. O suprimento de nutrientes é controlado por propriedades como material de origem, matéria orgânica e taxa de intemperismo. Um melhor entendimento do sistema solo permitirá prever as causas e efeitos das práticas de manejo sobre a capacidade produtiva dos sistemas agroecológicos. Porém, romper com sistemas agrícolas convencionais (monoculturas, altos insumos e baixa biodiversidade) para sistemas com enfoque agroecológico (sistemas de baixos insumos externos) implicam em uma transição gradual como: 1) redução progressiva de insumos químicos; 2) racionamento do uso de agroquímicos, mediante os manejos integrados de insetos e nutrientes; 3) substituição de insumos agroquímicos, por outros de baixa energia e de caráter biológico; 4) redesenho diversificado dos

sistemas agrícolas, procurando um ótimo equilíbrio de culturas e animais, estimulando sinergismos de maneira que o sistema possa subsidiar parcialmente a sua fertilidade. Durante este processo, é necessário assegurar mediante o manejo os seguintes aspectos: 1) aumento da biodiversidade do solo, vegetação e fauna benéfica; 2) aumento da produção de biomassa e conteúdo de matéria orgânica; 3) diminuição dos níveis de resíduos de agrotóxicos e perdas de água, planejamento das seqüências e combinações dos cultivos, e o uso eficaz dos recursos disponíveis em nível local (ALTIERI, 1989). O objetivo final é conseguir o estabelecimento de agroecossistemas sustentáveis que contenham características similares a um ecossistema natural (ALTIERI, 1989). Um dos grandes problemas desta transição é manter um equilíbrio econômico, de modo a facilitar aos agricultores a absorverem as perdas iniciais devido a queda na produção. Alguns países contam com subsídios e outros com incentivos que permitem viabilizar esta transição.

O entendimento dos processos fundamentais que regulam o capital e fluxos dos fatores de produção possibilitará o estabelecimento de modelos preditivos das dos efeitos das técnicas de manejo sobre a capacidade produtiva dos agroecossistemas a curto e longo prazo. Para que isso ocorra há necessidade, de compreender como a biodiversidade e a dinâmica de nutrientes nos compartimentos da matéria orgânica do solo estão participando nos processo de conversão de sistemas convencionais baseados no monocultivo e altos insumos, para sistemas baseados nos insumos locais e internos dos sistemas com manejo diversificado. Compreender estes processos requer a realização de estudos objetivando encontrar indicadores da qualidade do solo, que permitam aumentar a compreensão das mudanças nos sistemas de manejo. Assim pode-se fazer o monitoramento dos impactos dos novos sistemas de manejo do solo e fazer ajustes oportunos para manter a capacidade produtiva do solo durante um longo tempo.

Segundo KER (1995), os principais solos do Brasil são Latossolos, ocorrendo a nível de dominância e subdominância em cerca de um terço da área do território nacional, encontrando-se desde regiões tropicais, ao norte, até

aquelas subtropicais de altitude, ao sul. Esse tipo de solo também predomina na Zona da Mata mineira. De maneira geral, estes solos compreendem solos profundos, porosos, permeáveis, ácidos, sendo normalmente distróficos.

Muitos pequenos agricultores, descapitalizados, encontram-se nestas áreas. De acordo com as características dos sistemas sob manejo agroecológico, pode ocorrer a ampliação do potencial de recuperação, proteção e conservação destes solos e conseqüentemente melhora da sua fertilidade.

O presente estudo teve por objetivo avaliar a potencialidade do manejo de um sistema agroflorestal com café sob enfoque agroecológico na melhoria da qualidade do solo associada à matéria orgânica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Indicadores ambientais

A Agenda 21, relatório final da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, ocorrida em 1992, no Rio de Janeiro, enfatiza a necessidade de desenvolvimento de indicadores de qualidade ambiental por parte de cada nação, assim como por parte de órgãos internacionais. Dessa forma, o mundo inteiro, e cada nação em particular, se encontra frente à tarefa de desenvolver indicadores de sustentabilidade nas diferentes áreas agrícolas (MARZALL, 1998).

Perguntas como: O quê são indicadores? O quê os caracteriza? São realmente importantes e por quê? O que os indicadores devem medir para avaliar a qualidade ambiental do solo em agroecossistemas em transição? como os diferentes países e os diferentes organismos, governamentais e não governamentais, estão tratando este assunto? Que objetivo pretende ser alcançado com o uso de indicadores? Quem é o público-alvo? Traz algum desafio à sociedade, aos governos e à comunidade científica? Existe conhecimento suficiente sobre a sustentabilidade e sobre a realidade avaliada para a determinação de indicadores? Têm aplicabilidade prática? Solos pobres por natureza, com alta capacidade de adsorção de P, têm a capacidade de se auto-

organizarem para produzir macromoléculas (ácidos fúlvicos, húmicos, humina, ácidos orgânicos e etc.) e se auto-sustentarem? Vem sendo feitas por diversos especialistas (DORAN *et al.*, 1996; POGGIANI *et al.*, 1998; DANIEL *et al.*, 2000; ARSHAD e MARTIN 2002). Encontrar a resposta a estas perguntas permitiu um melhor delineamento das pesquisas e de um posicionamento da comunidade acadêmica ante ao atual desafio colocado pela comunidade internacional no mundo globalizado (MARZALL, 1998).

Ao final da década de 80, os governos do Canadá e Holanda iniciaram o desenvolvimento de indicadores ambientais em complemento aos sócio-econômicos já existentes. Em 1989, a Conferência Econômica do G7 pede a OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) que estabeleça indicadores, de forma a orientar os processos internacionais neste aspecto (HAMMOND *et al.*, 1995, MARZALL, 1998).

Um indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade (MITCHELL, 1997). Tem como principal característica, a de poder sintetizar um conjunto complexo de informações, retendo apenas o significado essencial dos aspectos analisados (HATCHUEL e POQUET, 1992; BOUNI, 1996; MITCHELL, 1997). É visto ainda como uma resposta sintomática às atividades exercidas pelo ser humano dentro de um determinado sistema (DPIE, 1995).

Muitos autores definem os indicadores como modelos, para evitar a interpretação do indicador como sendo a realidade. Um modelo, porém, pode ser entendido como um objetivo a ser alcançado ou imitado, e não é isso o que um indicador pretende significar (DORAN *et al.*, 1996; MARZALL, 1998, ARSHAD *et al.*, 2002).

O documento do DPIE (1995) define indicadores como medidas de condições, processos, reação ou comportamento que fornecem confiável resumo de sistemas complexos. Se forem conhecidas as relações entre os indicadores e o padrão de resposta dos sistemas, pode permitir a previsão de futuras condições. As medidas devem evidenciar modificações que ocorrem em uma dada realidade (CAMPANELLA, 1995; BROWN JR., 1997; MARTOS e MAIA, 1997; TANK-

TORNISELO, 1997), principalmente aquelas mudanças determinadas pela ação antrópica.

BENBROOK e GROTH III (1996) afirmam que muitos aspectos da matéria orgânica, qualidade da água e qualidade do solo, podem ser medidos de diferentes formas. CAMINO e MÜLLER (1993) falam em elementos, descritores e indicadores, que caracterizam ordens hierárquicas distintas. Os elementos seriam os recursos (água, solo, fauna, vegetação, recursos culturais etc.). Já os descritores seriam aspectos relevantes desses elementos: qualidade da água, matéria orgânica do solo e renda da população. Os indicadores, por sua vez, seriam medidas relevantes para esses descritores, por exemplo, concentração de nitrogênio e fósforo na água, teor de carbono no solo, média de salários etc. CARVALHO (1993) denomina padrão o conjunto de medidas que estabelecem restrições determinadas pela resiliência do sistema ao processo de desenvolvimento; parâmetros como os aspectos estruturadores do conjunto da vida social e da natureza: rendimento por pessoa, estoque do capital natural, capacidade de regeneração do estoque natural e indicadores, como a medida e a quantificação dos parâmetros acessos da população aos serviços públicos, inventários, erodibilidade do solo. Para MACHADO (1987), o padrão qualifica os objetivos que se quer alcançar, indica metas a atingir, manter ou eliminar. Ele ressalta ainda que é importante definir em função de quem um dado padrão é determinado, considerando as diferentes escalas de valores que existem entre as sociedades e seus diferentes segmentos.

A utilização de indicadores, relacionados a processos, permite a construção de modelos que auxiliam na previsão da perda de sustentabilidade ou em que ponto se inicia a insustentabilidade. À medida que o agroecossistema um atinge estágio mais avançado de seu desenvolvimento, há alteração na velocidade, direção e magnitude dos fluxos e o capital de recursos do solo e do agroecossistema como tal, especialmente nutrientes, passam a ser menos determinantes da produtividade (BARROS e BRAYN, 2000).

Os atributos mais sensíveis ao manejo são mais desejáveis como indicadores. Em geral, os indicadores devem atender aos seguintes critérios de

adequabilidade (DORAN *et al.*, 1996): a) abranger processos do ecossistema e ter relação com os processos orientados para modelagem; b) integrar propriedades e processos físicos, químicos e biológicos; c) ser acessível à maioria dos usuários e ser aplicável nas condições de campo; d) ser sensível às variações de manejo e de clima; e e) onde for possível, ter componentes de dados básicos do solo. DORAN *et al.* (1996) sugerem, ainda, que os indicadores devem ter caráter holístico e não reducionista.

As mudanças da qualidade do solo podem ser avaliadas, por meio de indicadores apropriados, em intervalo de tempo diferente, para um uso específico num agroecossistema selecionado. Tal sistema de avaliação deve proporcionar as informações necessárias sobre a efetividade do sistema, as práticas de uso da terra, tecnologias e políticas. Deve-se promover sistemas que melhorem a atuação dos indicadores, visando assegurar a sustentabilidade. Deve-se quantificar e avaliar as mudanças da qualidade do solo, produto das várias combinações de práticas de manejo e suas interações com os diferentes solos (ARSHAD *et al.*, 2002).

No presente estudo, entende-se como indicador, um instrumento que evidencia as características ambientais de um dado sistema, em função da ação humana e do manejo; padrão, como o ideal a ser alcançado; e parâmetros ou descritores, como aqueles aspectos da realidade que são determinantes para que o padrão seja atingido, devendo ser, portanto, estudadas e monitoradas.

2.2. Matéria orgânica como estoque e fornecedora de nutrientes

A matéria orgânica do solo (MOS) é freqüentemente citada como um dos principais indicadores de qualidade do solo, em razão do seu papel na regulação de uma série de processos que ocorrem no solo. Razões pelas quais muitos autores do tema propõem que a matéria orgânica seja utilizada como o principal indicador de sustentabilidade dos solos em sistemas agrícolas, por sua estreita relação com a disponibilidade de água e de nutrientes. Solos com elevado teor de matéria orgânica seriam mais capazes de sustentar a produtividade (DORAN *et*

al., 1996, MURAGE *et al.*, 2000; ETCHEVERS *et al.*, 2000; MENDONÇA *et al.*, 2001).

A MOS é classificada como matéria orgânica viva (aproximadamente 4%) e o restante, matéria orgânica morta (THENG, 1997). As raízes (5-10%), macroorganismos (15-30%) e microorganismos (60-80%) formam a matéria orgânica viva do solo, dando origem ao compartimento BIO-LÁBIL.

O componente morto da MOS é subdividido em matéria macroorgânica ou fração leve e húmus, formando os compartimentos físicos e quimicamente protegidos (DUXBURY *et al.*, 1989). A matéria macroorgânica ou fração leve, por sua vez, é subdividida em matéria orgânica Leve-Livre (FL-Livre) e matéria orgânica Leve Oclusa (FL-Oclusa). A FL-Livre constitui a fração ativa do solo, consistindo de matéria orgânica parcialmente humificada e com um ciclo curto de 1 a 5 anos; sendo a fração delimitada por diâmetros de < 2 mm e > 0,25 mm, separada do solo por flotação em água ou NaI; e a FL-Oclusa, compreende um diversificado conjunto de compostos orgânicos, incluindo resíduos de plantas, peletes fecais, grãos de pólen, pêlos radiculares e estruturas fúngicas, localizados dentro dos agregados, em locais pouco acessíveis à microbiota; com um tamanho (> 0,25 mm) e um grau de decomposição mais avançado em comparação à FL-Livre (GOLCHIN *et al.*, 1997; CHRISTENSEN, 2000).

O húmus é subdividido em substâncias não-húmicas (30%) e húmicas (70%). As substâncias não húmicas são compostas por lipídeos, ácidos orgânicos de baixo peso molecular, proteínas e pigmentos, e as substâncias húmicas estão constituídas por ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas (THENG *et al.*, 1989).

Uma das mais importantes e estudadas contribuições da MOS é sua capacidade de suprir nutrientes para os organismos e crescimento das plantas, mediante os processos biológicos, químicos e físicos, contribuindo para a sustentabilidade dos agroecossistemas (RESTREPO 1998; MENDONÇA e OLIVEIRA, 2000). Grande parte dos nutrientes encontra-se nos diferentes compartimentos da MOS, cuja dinâmica é regulada pelas práticas de manejo, textura do solo, mineralogia, quebra de agregados, água, luz e temperatura.

Definir a qualidade, a disponibilidade e a atividade dos nutrientes nos substratos orgânicos em diferentes compartimentos é chave para se entender e descrever os processos de mineralização lenta e absorção de nutrientes na forma orgânica, em sistemas com tecnologias de baixo uso insumos, e principalmente durante os processos de transição agroecológica (DUXBURY *et al.*, 1989; MENDONÇA *et al.*, 2001).

A MOS contribui para a melhoria das propriedades físicas, nos agroecossistemas, exercendo apreciável influência na estabilidade de agregados (MENDONÇA *et al.*, 1991). Reduz a densidade aparente, a erosão e melhora a infiltração de água. Daí é classificada por alguns autores como material melhorador do solo e como fornecedor de nutrientes. A MOS humificada, juntamente com os argilominerais, são os dois agentes cimentantes que mais contribuem para a agregação do solo. A matéria orgânica melhora a aeração e a drenagem interna do solo, facilitando o movimento de água na zona radicular, proporcionando melhores condições para a emergência de plantas e o desenvolvimento das raízes. A matéria orgânica eleva a capacidade de retenção de água, conseguindo reter 3 a 4 vezes a sua própria.

As propriedades químicas do solo são melhoradas pela MOS dentro de um agroecossistema. É uma importante fonte de nutrientes para as plantas, a microflora e a fauna terrestre. A mineralização da matéria orgânica resulta na liberação de nutrientes essenciais à planta, tais como N, P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes. Deve-se dar relevância à matéria orgânica como principal fonte de N, P, S e micronutrientes do solo, podendo conter de 15 a 80% do P total encontrado no solo. NOVAIS e SMYTH (1998) citam que amostras de 17 solos brasileiros apresentaram valores médios de P orgânico total de 50 mg/kg, representando de 13 a 47 % do P total no solo.

O enxofre está presente no solo nas suas formas mineral ou inorgânica e orgânica. Na forma orgânica constitui de 50 a 70% do total encontrado.

A matéria orgânica, através dos mecanismos de quelação (retenção de íons, usualmente metálicos, dentro de uma estrutura em forma de anel, de um composto orgânico com propriedades complexantes) e complexação (ou seja, as

várias substâncias orgânicas e inorgânicas no solo capazes de absorver íons e moléculas), podem reter, em suas formas disponíveis, certos micronutrientes liberados dos constituintes minerais do solo ou da própria matéria orgânica (RESTREPO, 1998). O fenômeno da formação dos quelatos e da complexação é explicado pelas propriedades que têm certos compostos orgânicos em envolver um elemento químico metálico, tornando-o seqüestrado ou quelado. Como consequência resulta a formação de uma estrutura em anel com a incorporação de íons como zinco, ferro, cobre e manganês (SPOSITO, 1989).

A MOS possui elevada CTC, em virtude da grande superfície específica e densidade de carga. A CTC proveniente da matéria orgânica é importante para os solos tropicais muito intemperizados que apresentam baixa CTC das argilas e uma predominância de óxidos de ferro e alumínio, pois ela é freqüentemente a principal fonte de cargas negativas nestes solos (KER, 1995).

2.3. Ciclagem biogeoquímica de nutrientes nos sistemas agrícolas

Segundo BARROS e REIS (1990), o retorno de nutrientes via manta orgânica constitui a via mais importante do ciclo biogeoquímico, especialmente em solos altamente intemperizados, onde a biomassa vegetal é o principal reservatório de nutrientes.

Dentre os fatores que afetam a quantidade de resíduos que caem da parte aérea das plantas e irão formar a matéria orgânica, destacam-se o clima, o solo, as características genéticas das plantas, as suas idade e densidade. Em uma escala mais ampla, a produtividade vegetal é determinada pela distribuição de chuvas a qual influencia a disponibilidade de água no solo, e numa escala mais restrita, pela disponibilidade de nutrientes. Das variáveis climáticas, a precipitação e temperatura são as que exercem maior influência. Regiões que apresentam alto índice pluviométrico produzem, em geral, maior quantidade de materiais orgânicos, que irão formar a matéria orgânica, daquelas com baixo índice pluviométrico (GONZALEZ e GALLARDO, 1982). Segundo BARROS e NOVAIS (1996), a extração de nutrientes pelas plantas nos solos tropicais é

bastante influenciada pelo balanço hídrico do solo, devido ao efeito que a água exerce na decomposição da manta orgânica e no transporte de nutrientes para a superfície das raízes. De um modo geral, a nutrição da planta é mais eficiente em áreas onde a disponibilidade de água é maior e mais contínua, em virtude do melhor transporte dos nutrientes no solo por fluxo de massa e, em especial, por difusão. Além da precipitação total, a distribuição das chuvas, ao longo do ano, também influencia a taxa de deposição da manta orgânica, verificando-se com frequência, uma maior taxa de deposição no período seco (PERES *et al.*, 1983; SWAMY e PROCTOR, 1994).

A ocorrência de intempéries atípicas do clima da região, como estiagens prolongadas, tempestades e vendavais, pode modificar o aporte de matéria orgânica de um ano para outro, sendo importante considerar esses eventos para se obterem valores mais precisos da quantidade desse material aportado anualmente. Além de fatores ambientais inesperados, que podem interferir na precisão dos resultados de queda de resíduos da parte aérea, a falta de uma metodologia padronizada também acarreta diferenças nesses valores, dificultando a comparação entre ecossistemas (PROCTOR, 1983).

Uma das etapas mais importantes da ciclagem de nutrientes é a decomposição da manta orgânica sobre o solo (HAAG, 1985). O acúmulo de matéria orgânica, na superfície do solo, é regulado pela quantidade de material que cai da parte aérea das plantas (*litter*) e por sua taxa de decomposição. Quanto maior a quantidade que cai desse material e quanto menor sua velocidade de decomposição, maior será a camada de matéria orgânica. Para que se tenha uma mesma quantidade de matéria orgânica sobre o solo, ao longo do ano, é necessário que haja uma maior taxa de decomposição dessa camada quando houver uma maior taxa de deposição de material e vice-versa. Nesse contexto, é de grande importância entender os mecanismos que regulam esse processo dinâmico, no qual a entrada de material, através da deposição, e a saída ou transformação, via decomposição, acontecem quase que simultaneamente (CORREIA e ANDRADE, 1999).

A decomposição da serrapilheira possibilita que parte do carbono, incorporado na biomassa pela fotossíntese, retorne à atmosfera como CO₂ e outros elementos absorvidos passem para uma forma novamente utilizável pelas plantas. Esse mecanismo é regulado, principalmente, por três grupos de variáveis: a natureza da comunidade decompositora, as características do material orgânico que determinam sua degradabilidade (a qualidade do material) e as condições físico-químicas do ambiente, às quais são controladas pelo clima e pelas características edáficas do local (ABER e MELILO, 1978; SWIFT *et al.*, 1979; LEKHA e GUPTA, 1989).

A degradação da matéria orgânica é um processo contínuo, podendo ter início antes mesmo do material atingir o solo. Algumas folhas verdes podem abrigar, ainda na própria árvore, microrganismos e insetos que iniciam o processo de decomposição. As folhas também liberam continuamente, de acordo com sua idade e estado fitossanitário, carboidratos, ácidos orgânicos, aminoácidos e, sobretudo, potássio. Assim, pode-se considerar as seguintes etapas no processo de decomposição: lavagem de compostos hidrossolúveis e colonização microbiana; ataque da fauna do solo e de microrganismos com fragmentação, transporte, mistura e biodegradação do material; por último, transformação húmica e mineral (GONZALEZ e GALLARDO, 1982). Em outras palavras, a decomposição da matéria orgânica pode ser dividida em três processos básicos que ocorrem simultaneamente: lixiviação (retirada de material solúvel pela ação da água da chuva), intemperismo (ruptura mecânica dos detritos) e ação biológica (fragmentação gradual e oxidação dos detritos pelos organismos vivos). Esses processos têm início quando o tecido vegetal se forma e continuam por toda a sua vida (HAAG, 1985).

A ação desses mecanismos, ao longo do tempo, cria um gradiente de decomposição em que as folhas recém caídas apresentam pouca transformação, enquanto as mais antigas se caracterizam por um alto grau de modificação estrutural e química. Dessa forma, é relativamente fácil identificar no campo, camadas sobrepostas de matéria orgânica em diferentes graus de decomposição. Basicamente, podem ser distinguidas três camadas da matéria orgânica: L, F e H

(TOUTAIN, 1987). A camada L, assim chamada por ser a “Lixiviação” o processo mais atuante, é composta por folhas recém-caídas e ainda não atacadas pela fauna de solo, constituindo-se, portanto, de folhas inteiras. A camada F, de “fermentação”, apresenta intensa atividade biológica, com a fragmentação promovida pela fauna do solo e a degradação bioquímica promovida pelos microrganismos. A camada H, de “humificação”, apresenta um material amorfo decorrente da atividade fragmentadora na camada anterior. Nessa camada, ocorre, em geral, uma grande proliferação de raízes finas, que buscam absorver diretamente os nutrientes liberados da matéria orgânica. O número dessas camadas e a sua espessura são decorrentes da velocidade de decomposição do ecossistema em questão. Assim sendo, em um ecossistema de decomposição lenta, pode-se encontrar uma serrapilheira bastante espessa, podendo as camadas serem subdivididas em L1, L2, F1, F2 e assim por diante (CORREIA e ANDRADE, 1999).

Dados sobre quantidade de material orgânico que cai ao solo anualmente, ou de material já acumulado no solo até determinada idade, ou de resíduos de exploração florestal, são úteis na indicação da quantidade de nutrientes que pode retornar ao solo. A dinâmica desse processo depende, entre outros fatores, das características de cada componente da serrapilheira, tais como teor de lignina e nutrientes, resistência, componentes secundários, massa e tamanho do material (HAAG, 1985). Dos componentes da serrapilheira, as folhas, em geral, estão em maior proporção e apresentam a maior taxa de decomposição. As verdes apresentam maior taxa de decomposição do que folhas senescentes, em razão da concentração inicial de nitrogênio e de fósforo ser mais elevada (FASSBENDER, 1993). Existem, porém, frações de difícil decomposição, com muitas estruturas lignificadas, que representam em torno de 30 a 40% da serrapilheira (ANDERSON e SWIFT, 1983). Materiais mais lignificados são mais resistentes à decomposição (MILLER, 1981).

Desta maneira, sob as mesmas condições edafoclimáticas, a velocidade de decomposição da matéria orgânica vai variar de acordo com a percentagem de lignina, polifenóis, carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre, entre outros

componentes (SWIFT *et al.*, 1979). A relação entre algumas dessas substâncias tem sido utilizada para explicar as diferenças entre a velocidade de decomposição de materiais orgânicos.

Bactérias e fungos são responsáveis por cerca de 90% da mineralização do carbono presente nos compostos orgânicos em decomposição. Antes da ação dos microrganismos, a matéria orgânica é atacada por ácaros, minhocas e cupins que trituram os resíduos e dispersam propágulos microbianos, facilitando a ação destes na mineralização do carbono. Pequenos predadores, como os protozoários e nematóides, regulam a atividade dos microrganismos. O ataque predatório mantém as populações microbianas jovens e com atividade metabólica alta.

O nitrogênio é fixado biologicamente por bactérias do solo, que transformam a forma gasosa presente na atmosfera para amônio, íon assimilável pelas plantas. Nos solos tropicais o fósforo está normalmente em formas químicas indisponíveis para os outros organismos. Algumas bactérias podem solubilizar estes fosfatos, tornando-os disponíveis para as plantas. Já alguns fungos, através de suas hifas e em associação com raízes, aumentam a área de absorção de fósforo e água para as plantas. Praticamente todos os nutrientes necessitam da ação de microrganismos em alguma fase de seus ciclos.

Num sistema agroflorestal maduro, a maior parte da demanda nutricional das plantas é satisfeita pelo processo de ciclagem de nutrientes (ATTIWILL, 1979; MILLER, 1995) Os nutrientes minerais representam outro recurso do solo indispensável ao crescimento vegetal.

Os solos tropicais, em geral, são altamente intemperizados e profundos e, por conseqüência, inerentemente pobres em nutrientes litogênicos, especialmente os solos de planaltos dos climas mais chuvosos e estacionais com curto período de seca, onde o processo de remoção de nutrientes do perfil por lixiviação é elevado (BARROS e BRAYN, 2000). O intemperismo de minerais contribui com pequena quantidade de nutrientes para as plantas nessas situações (BAILLIE, 1989), e uma grande proporção deles encontra-se na biomassa (RESTREPO, 1998) na manta orgânica ou nos primeiros centímetros do solo (SANCHEZ, 1976; SCHOLLES *et al.*, 1994). Nos sistemas agroecológicos, com

transição e estabilizados, em solos onde a contribuição do intemperismo é nula ou inacessível às plantas, o ciclo de nutrientes deve ser relativamente fechado com pouca ou nenhuma saída dos mesmos do ecossistema (WHITMORE, 1989), sendo os mecanismos de ciclagem e retenção de nutrientes muito importantes nestas condições. Estes mecanismos passam a ser mais efetivos à medida que o grau de deficiência dos nutrientes no solo se intensifica (BAILLIE, 1989).

Estas observações indicam o caráter fonte da matéria orgânica, nos sistemas agroecológicos, em condições de cultivo sem uso de recursos externos, sem fertilizações maciças, ganhando relevância dado a conhecida pobreza dos solos tropicais, com alto Fator Capacidade (FC), com grande Fator Quantidade (Q), menor Fator Intensidade (I), com desequilíbrio entre I e Q e com uma relação menor de Q/I. A disponibilidade de nutrientes nas diversas formas é compatível com uma demanda gradual, com maior ou menor lentidão, dependendo das condições de umidade, características dos materiais, tempo de estabelecimento do agroecossistema FC e relação Q/I. O acúmulo de MOS nos diferentes compartimentos seria uma solução para estocar nutrientes, sem favorecer a interferência da fase mineral na manutenção de nutrientes ciclados nos agroecossistemas, em formas disponíveis (NOVAIS e SMYTH, 1998). Desta maneira, a MOS estaria contribuindo para um sistema maior equilibrado biologicamente, mantendo-se produtivo, em detrimento de outro altamente dependente de fertilizações maciças e de agrotóxicos. Há nestas condições, tendência para a interdependência: alta biodiversidade, bom manejo do solo, alto teor de matéria orgânica, alta biomassa microbiana e menor dependência de insumos externos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização das áreas

A Zona da Mata mineira está situada na região sudeste de Minas Gerais, no domínio da Floresta Atlântica. É constituída por 129 municípios, apresentando superfície regional aproximada de 32.000 km², o que corresponde cerca de 7% da superfície do estado. A população é de aproximadamente de 1,84 milhão de habitantes, o que equivale a 11,7% da população estadual, sendo 30,8% encontrados na zona rural (IBGE, 1997; FRANCO, 2000). Apresenta três regiões agroclimáticas distintas, com estreita correspondência à divisão bioclimática de GOLFARI (1995). O plano mais elevado (região 1) é formado pela Serra do Brigadeiro, um prolongamento da serra do Caparão. O plano intermediário (região 2) apresenta o planalto de Viçosa e um braço da serra da Mantiqueira. O plano mais rebaixado (região 3) é constituído por parte da bacia do rio Doce e pelas escarpadas de depressão da bacia do rio Paraíba do Sul (FRANCO, 2000). No Quadro 1 são apresentadas as características fisiográficas das regiões.

O presente estudo está localizado na região 1 e foi realizado no período de setembro de 2001 a março 2002, em um pequeno sistema agrícola manejado sob enfoque agroecológico, com café e árvores, sistema que está sendo impulsionado por camponeses-experimentadores parceiros do Centro de Tecnologia Alternativa da Zona da Mata (CTA-ZM). A propriedade está situada

no município de Araponga-MG, localizada aproximadamente a 870 m de altitude, na latitude 20°39'59" S e na longitude 42°31'15" W. O relevo varia de ondulado a montanhoso, com médias anuais de temperatura e precipitações de 19 °C e 1.600 mm, respectivamente. O solo nos sistemas estudados é predominantemente um Latossolo Vermelho–Amarelo, textura argilosa (MENDONÇA *et al.*, 2001).

Quadro 1 – Características fisiográficas das regiões da Zona da Mata de Minas Gerais

Região	Altitude (m)	Relevo	Temperatura Média Anual	Geada Dias/Ano	Precip. Anual (mm)	Défice Hídrico (mm)	Solos
1	De 1.200 a 1.800	Forte ondulado a montanhoso	12/18°C	De 0 a 20	De 1.600 a 1.800	0	LVdh GH/PH LV C/R
2	De 600 a 1.200	Ondulado a montanhoso	18/20°C	0	De 1.400 a 1.700	De 10 a 30	LVd PVd C
3	De 200 a 600	Suave ondulado a montanhoso	20/23°C	0	De 1.100 a 1.400	De 30 a 90	LVad PVed Ae GHd

Solos: LVdh: Latossolo Vermelho-Amarelo; PV: Podzólico Vermelho-Amarelo; C: Cambissolo; R: Solos Litólicos; GH/PH: Gleí Húmico/Pouco Húmico e A: Aluvial.

Características: h: húmico; e: eutrófico (V > 50%); d: distrófico (V < 50%); a: álico (S < Al³⁺).

Fonte: FRANCO (2000).

Para a realização do estudo, dois sistemas agrícolas foram selecionados: um sob manejo agroecológico (SA) com árvores e café, e outro sob manejo convencional, com café (SC). No Quadro 2 apresenta-se uma caracterização dos sistemas.

A área sob manejo agroecológico (SA) pertence ao agricultor João dos Santos (Figura 1- SA), com uma extensão de aproximadamente 2 ha. Quando ele adquiriu a propriedade, esta era uma área degradada com pastagem de capim-gordura. Após a pastagem, o agricultor pensando em opções de uso da

terra, no final de 1994, decidiu implantar o café consorciado com arroz, visando alguma produção para a subsistência. Naquele ano, plantou 2000 mudas de café, mas pegaram somente 630, pois as outras não obtiveram bons resultados. A partir de 11/10/95 foi iniciado o experimento de café com árvores. Inicialmente, a área foi regenerada com adubação verde como lab-lab, feijão guandu, mucuna e calopogônio, deixando inclusive o capim gordura. Paralelamente permitiu a regeneração natural das plantas pioneiras.

Quadro 2 – Caracterização dos sistemas agrícolas estudados

Produtor	Área do Sistema	Pedo-forma	Espaçamento do café e densidade	Espaçamento arbóreo	Número de árvores	Objetivo	Pragas e Doenças
João dos Santos	2 ha	Encosta convexa	3,0 x 1,5 m (2.000 plantas/ha)	Irregular (6 e 8 m entre plantas)	76	Recuperação Conservação Produção Subsistência	Não têm
José Edson Lopes	2 ha	Encosta convexa	3,5 x 1,5 m 2.500 plantas/ha)	Não têm árvores	0	Produção	Formigas Broca

Em fevereiro e março de 1996 roçou as leguminosas e subseqüentemente plantou milho, feijão, abacaxi, guandu, capim-elefante e diversas espécies arbóreas. A área chegou a ter cerca de 73 espécies de árvores, mas em 1999 grande parte delas foi cortada e deu lugar a 1.400 plantas de café. Todos os resíduos orgânicos provenientes das árvores e adubos verdes foram deixados sobre o solo. Na atualidade a área conta com 4 espécies de árvores, sendo as seguintes: Ipê Roxo (*Tabebuia avellanadae* Lor), Mulungu (*Eritrina sp*), Jequitibá (*Cariniana estrellensis* Raddi) e Palmeira sp e 2000 plantas de café por ha.

A área sob manejo convencional, aproximadamente 2 ha, pertencente ao agricultor José Edson Lopes (Figura 1-SC), no ano de 1993 foram realizadas capinas e queimadas para a eliminação da vegetação secundária, e subseqüentemente foi cultivada em associação milho e feijão por três anos; fazendo adubações sucessivas com fertilizante inorgânico 04-14-08, sendo feitas

às aplicações no sulco de cultivo (± 44 g/sulco) e no início de desenvolvimento das culturas (primeiras seis folhas desenvolvidas). Posteriormente, o agricultor implantou o cultivo de café com 2.500 pés. Durante a implantação deste novo sistema de cultivo não foi aplicado nenhum fertilizante químico. No decorrer do primeiro e segundo ano foram realizadas as primeiras adubações de N e K, na superfície do solo, entre o caule e projeção das extremidades dos ramos. As aplicações foram feitas no período chuvoso, sendo aplicadas as quantidades de



Figura 1 – Sistemas agrícolas estudados: sistema sob manejo agroecológico (AS) e sistema sob Manejo Convencional (CV), localizada na Zona da Mata mineira, região 1.

10 e 20 g/cova no primeiro ano e segundo, respectivamente. No café adulto foi aplicado o formulado 00-25-20 (NPK) na linha de cultivo e como fonte de N faz aplicações foliares de uréia, nas doses ± 250 kg/ha. O agricultor também informou que fez uma aplicação de 100 g por cova de Sulfato de Potássio (K_2SO_4). As aplicações normalmente são feitas no período de outubro a março.

3.2. Coleta de amostras de solo e manta orgânica

Para a coleta de amostras de solo, cada agroecossistema selecionado foi dividido em quatro quadrantes ($\pm 0,5$ ha), sob condições e paisagem geograficamente similares (Quadros 1 e 2). As coletas dos solos foram feitas na linha e rua dos sistemas nas profundidades de 0-5, 5-15 e 15-30 cm, no período

de setembro 2001. As amostras foram misturadas, formando uma amostra composta para cada 10 amostras simples. Todo o material de coleta foi seco ao ar e peneirado, para obtenção de TFSA.

Para a coleta da manta orgânica foi estabelecido um total de oito parcelas para cada sistema. As amostras foram coletadas usando um quadro de madeira de 0,16 m² lançado ao acaso sobre 10 pontos, dentro de cada parcela, tanto na linha como na rua, formando-se uma amostra composta, para cada parcela. Posteriormente, foram transportados para o Departamento de Solos da UFV, sendo levadas à estufa de circulação forçada, a 65° ±, por 72 horas, com a finalidade de obter o peso da matéria seca.

3.3. Análises químicas de solo

As análises químicas foram realizadas segundo as metodologias descritas por EMBRAPA (1997). As análises realizadas foram:

- Reação do solo: determinação de pH em água, utilizando a relação solo líquido 1:2,5 e em KCl 1 mol/L.

- Cátions trocáveis: extração com solução de KCl 1 mol/L para o Ca²⁺. Mg²⁺, sendo determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O K⁺ e Na⁺ foram extraídos com Mehlich 1, sendo determinados em fotômetro de chama.

- Acidez potencial: foi determinada com Ca(OAc)₂ 0,5 mol/L, ajustado para pH 7, na proporção de 1:15 e determinada por titulação com NaOH 0,0606 mol/L.

- Soma de bases (SB): obtida pela fórmula: $SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+}$.

- Capacidade de Troca Catiônica (CTC): foi determinada pela soma de bases e acidez potencial.

- Saturação por bases (%V): obtida pela fórmula $V = 100 \frac{SB}{T}$

em que

V = saturação por bases;

SB = soma de bases; e

T = capacidade de troca catiônica total.

- Alumínio trocável: foi extraído com solução de KCl mol/L e determinado por titulometria com solução diluída de NaOH 0,05 mol/L.

- Fósforo disponível: obtido com solução extratora HCl 0,05 mol/L e H₂SO₄ 0,025 mol/L, solução de (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O e C₆H₈O₆. A leitura da densidade ótica foi feita no fotocolorímetro ajustado para o comprimento de onda de 725 nm.

3.4. Matéria orgânica do solo

3.4.1. Determinação de carbono orgânico em um gradiente decrescente de oxidação

Fracionamento de carbono orgânico: oxidação da matéria orgânica, via úmida com K₂Cr₂O₇ 0,167 mol/L, em meio sulfúrico e titulação com Fe(NH₄)₂(SO₄)₂.6H₂O 0,5 mol/L. A determinação foi realizada usando 5 mL; 10 mL e 20 mL de H₂SO₄, mantendo constante a concentração de K₂Cr₂O₇ a 0,167 mol/L (10 mL); resultando três proporções ácido-água de 0,5:1; 1:1 e 2:1; correspondendo a: 6, 9 e 12 mol/L, respectivamente. A quantidade de carbono orgânico determinado, usando 5, 10 e 20 mL de ácido sulfúrico concentrado, foi comparada com o carbono orgânico total dentro das três frações extraídas sob gradiente decrescente de oxidação (CHAN *et al.*, 2001). As frações foram:

Fração 1 (6 mol/L H₂SO₄): carbono orgânico oxidado dentro de 6 mol/L.

Fração 2 (9 mol/L – 6 mol/L H_2SO_4): diferença do carbono orgânico oxidável extraído entre 9mol/L e 6mol/L H_2SO_4 .

Fração 3 (12 mol/L – 9 mol/L H_2SO_4): diferença do carbono oxidável extraído entre 12 mol/L – 9 mol/L H_2SO_4

3.4.2. Extração de matéria orgânica Leve Livre (FL-Livre) e Leve Oclusa (FL-Oclusa)

Para extração e fracionamento físico da FL-Livre e FL-Oclusa, utilizou-se o método densimétrico, o qual baseia-se na diferença de densidade entre a fração orgânica e a mineral. A flotação em líquido, com alta gravidade específica (NaI 1,8 g/cm³), permitiu a separação da MOS em frações com densidades mais baixas e mais altas que a da solução utilizada. Tais frações foram denominadas, respectivamente, matéria orgânica leve livre (FL-Livre) e matéria orgânica leve oclusa (FL-Oclusa) (GREGORICH e ELLERT, 1993). A FL-livre correspondeu à matéria orgânica não-complexada, separada antes da dispersão dos complexos organo-minerais secundários, em complexos organominerais primários e FL-occlusa correspondeu à matéria orgânica separada após a dispersão da FL-Livre, equivalente à FL-Oclusa.

A seqüência de fracionamento densimétrico foi: 1) Extração da FL-Livre, onde pesaram-se 15 g de solo (TFSA) em tubos para centrífuga de 100 mL, em cada tubo foi adicionado 90 mL de NaI com uma densidade de 1,80 g/cm³. Em seguida, se fez agitação leve manual durante 30 minutos. Posteriormente, as amostras foram levadas para centrifugação a 8.000 G durante 30 minutos; após centrifugação se fez a filtração da suspensão em cadinhos de golch com capacidade de 100 mL. O material retido foi levado para estufa a $\pm 70^\circ C$, por 48 horas, para a posterior quantificação da FL-livre. 2) Para isolar a FL-Oclusa da fração intra-agregados, foi utilizado o material precipitado na fase anterior no fundo do tubo. Para tanto, completou-se novamente com 90 mL de NaI e aplicou-se ultrassom na mistura contendo NaI e solo dentro de cada frasco na intensidade de 1.500 Jg⁻¹ por 15 minutos, e em seguida as amostras foram levadas para

centrifugação por 30 minutos a 8000 G. Uma vez realizada a centrifugação, o material flotante foi filtrado em papel de filtro previamente tarado e seco em estufa a 40°C, anotando-se o peso. O material retido (FL-Oclusa) foi lavado com água destilada e levado à estufa a $\pm 70^\circ\text{C}$, por 48 horas, para sua posterior quantificação (Figura 2).

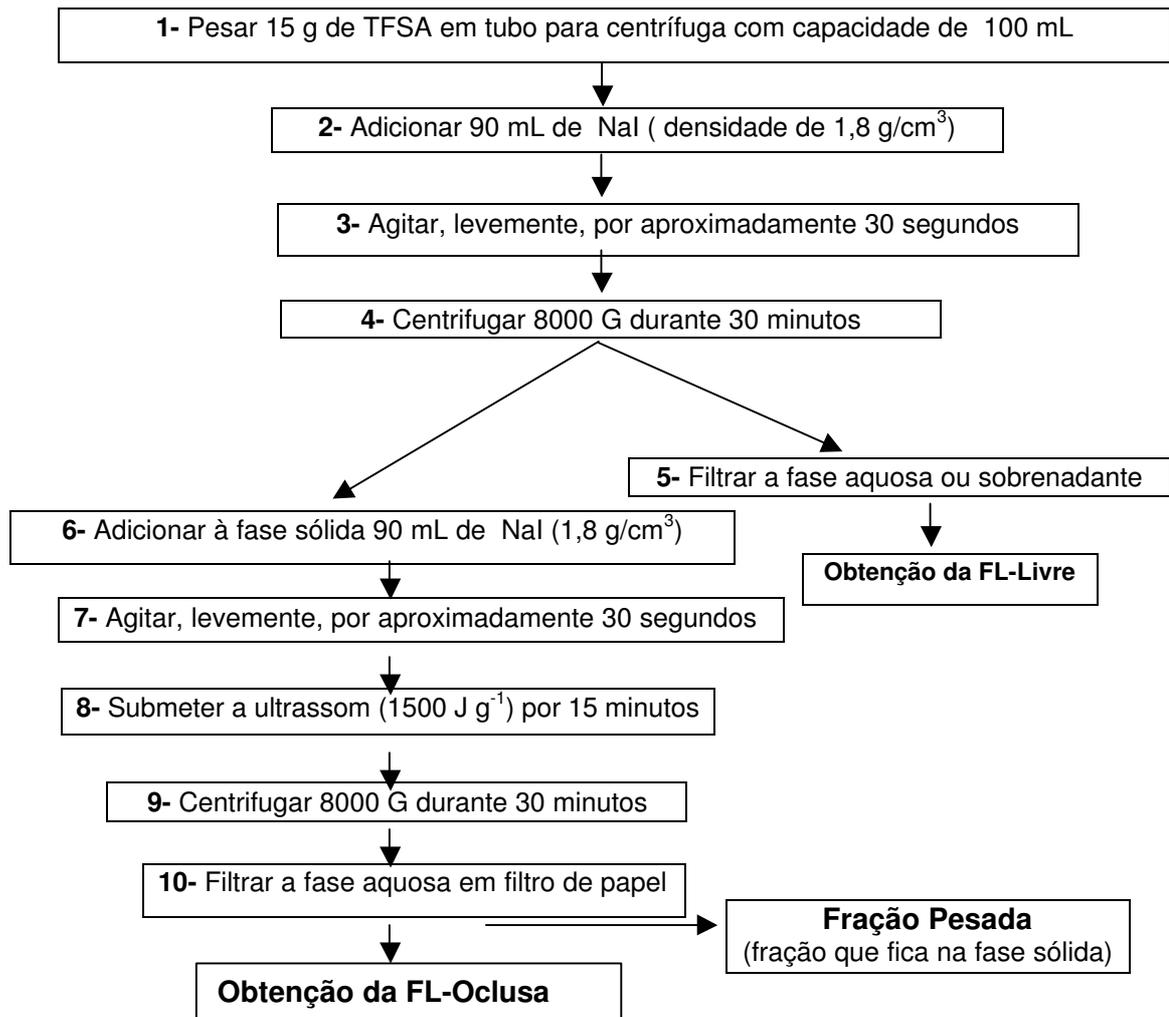


Figura 2 – Diagrama do fracionamento densimétrico da matéria orgânica FL-Livre e FL-Oclusa (SOHI *et al.*, 2001).

3.4.3. Extração e determinação de nutrientes da FL-Livre e FL-Oclusa

Com o objetivo de quantificar os nutrientes em cada fração da matéria orgânica do solo (FL-Livre, FL-Oclusa), procedeu-se à extração e à determinação dos teores totais dos seguintes elementos K, P, Ca e Mg. Amostras com pesos

variando de 0,1797 até 0,0091 g foram mineralizadas pela mistura nítrico-perclórica (3 mL ácido nítrico; 1 mL de ácido perclórico). Nos extratos, os teores de Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, o K, por fotometria de emissão de chama; e o P por colorimetria.

3.4.4. Sustâncias húmicas

A separação e o fracionamento das substâncias húmicas foram realizados em função da diferença de solubilidade, em meio ácido ou alcalino das frações correspondentes a humina (FH), ácidos húmicos (FAH) e ácidos fúlvicos (FAF), segundo a técnica de fracionamento quantitativo de substâncias húmicas de acordo com a Sociedade Internacional de Substâncias (IHSS). A extração foi realizada, colocando-se 1 g de solo pulverizado em almofariz em tubos para centrífuga de 50 mL e adicionando-se 10 mL de NaOH 0,1 mol/L. Agitou-se manualmente e deixou-se decantar por 24 horas. Após este período, procedeu-se á centrifugação a 2000 G por 30 minutos. Uma vez centrifugado, o sobrenadante foi recolhido em tubos para centrífuga de 50 mL e reservado para posterior análise.

Ao material que ficou no fundo do tubo adicionou-se mais 10 mL de NaOH 0,1 mol/L, agitou-se manualmente até o desprendimento do precipitado e deixou-se decantar por 1 hora. Após este período, o material foi centrifugado novamente a 2000 G por 30 minutos e o sobrenadante foi recolhido junto ao previamente reservado (extrato alcalino pH 13). Em seguida, ajustou-se o pH do extrato alcalino para $\text{pH } 1,0 \pm 0,1$, pelo gotejamento de solução H_2SO_4 20%, deixou-se decantar por 18 horas e posteriormente foi centrifugado a 2000 G para precipitar os ácidos húmicos. O sobrenadante (ácidos fúlvicos) foi recolhido e transferido para balões volumétricos de 50 mL. Ao material precipitado (ácidos húmicos), adicionaram-se mais 10 mL de NaOH e transferido para balões volumétricos de 50 mL até a titulação. Seu volume foi completado com água destilada.

A determinação quantitativa de carbono orgânico nos extratos das frações ácidos húmicos, fúlvicos e humina foi realizada segundo método de YOEMANS e BREMNER (1988).

3.5. Manta orgânica e nutrientes

O teor total dos nutrientes analisados foi determinado a partir de uma amostra composta de cada parcela do material seco e moído. Amostras de 0,5 g de material vegetal foram mineralizadas pela mistura nítrico-perclórica. Nos extratos foram determinados os teores totais de Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, S e Mn por espectrofotometria de absorção atômica; o K por fotometria de emissão de chama; e o P por colorimetria. O teor de N foi determinado pelo método Kjeldahl.

3.6. Percepção e caracterização qualitativa dos impactos ambientais em ambos os sistemas

Usou-se o método de matrizes de interação que constitui um tipo que utiliza um quadro ou matriz para relacionar os impactos de cada ação com o fator ambiental a ser considerado, a partir de quadrículas definidas pela interseção de linhas e colunas. Funcionam como listagens de controle bidimensionais, uma vez que as linhas podem representar as ações impactantes e as colunas, os fatores ambientais que sofreram o impacto (MOREIRA, 1985; SILVA 1999; ARRUDA, 2000)

A matriz de interação (Quadro 3) foi concebida de tal forma que suas linhas correspondem às atividades impactantes relativas às etapas de processo de transição do sistema, as colunas, aos fatores ambientais relevantes ligados aos meios físico, biótico e antrópico.

A caracterização qualitativa dos impactos ambientais identificados foi feita com base nos critérios descritos em SILVA 2000 e ARRUDA (2000).

Quadro 3 – Modelo simplificado da matriz de interação

Atividades Impactantes	Fatores Ambientais								
	Meio Físico			Meio Biótico			Meio Antrópico		
A 1	F ₁	F ₂	F _n	F _{n+1}	F _{n+2}	F _p	F _{p+1}	F _{p+2}	F _K
A 2									
A y									

(A) correspondem às atividades impactantes das etapas de implantação e operação; (F) corresponde aos fatores ambientais; (y) corresponde ao número de atividades impactantes; (n) corresponde ao número de fatores ambientais do meio físico; (Fp) corresponde ao número de fatores ambientais do meio biótico; (Fk) corresponde ao número de fatores ambientais do meio antrópico; o produto entre y (número de linhas) e K (números de colunas) fornece o número total de possíveis relações de impacto da matriz considerada.

Fonte: adaptado de SILVA (2000) e ARRUDA (2000).

Com relação aos fatores ambientais foram considerados os seguintes elementos:

- **Meio Físico (MF):** ar (troca gasosa, temperatura, erosão eólica, umidade relativa e radiação solar); água (retenção de água, erosão hídrica, impacto das gotas de chuva, Evaporação, interação água nutrientes e balanço hídrico) e solo (FL-Livre, FL-Oclusa, Resiliência, V, SB, CTC e Substâncias húmicas).

- **Meio biótico:** flora (diversidade de espécies, espécies epífitas, base genética, e espécies terrestres); macro-fauna-vegetal (raízes, mamíferos, artrópodes, moluscos, minhocas, densidade populacional, e redução de habitat) e microrganismos (amebas, algas, fungos, actinomicetes, bactérias, diversidade de espécies, densidade populacional).

- **Meio antrópico:** saúde pública, trabalho, emprego, vulnerabilidade tecnológica, paisagismo e estrutura fundiária.

A caracterização qualitativa foi feita com base nos critérios descritos em SILVA 2000 e ARRUDA (2000):

- **Valor:** impacto positivo ou benéfico (quando uma ação causa melhoria da qualidade de um fator ambiental) e negativo ou adverso (quando uma ação causa um dano na qualidade de um fator ambiental).

- **Ordem:** impacto direto, primário ou de primeira ordem (quando resulta de uma simples relação de causa e efeito) e impacto indireto, secundário ou de

enésima ordem (quando é uma reação secundária em relação à ação, ou quando é parte de uma cadeia de reações).

- **Espaço:** impacto local (quando a ação circunscreve-se ao próprio sítio e nas suas imediações), regional (quando o efeito se propaga por uma área além das imediações do sítio onde se dá a reação) e estratégico (quando é afetado um componente ambiental de importância coletiva, nacional ou mesmo internacional).

- **Tempo:** impacto a curto prazo (quando o efeito surge a curto prazo, que para os propósitos deste trabalho refere-se a etapa de implantação), a médio prazo (quando o efeito surge a médio prazo, ou seja, na etapa de operação) e impacto a longo prazo (quando o efeito se manifesta a longo prazo).

- **Dinâmica:** impacto temporário (quando o efeito permanece por um tempo determinado, após a realização da ação), impacto cíclico (quando o efeito se faz sentir em determinados ciclos, que podem ser ou não ao longo do tempo) e impacto permanente (quando uma vez executada a ação, os efeitos não param de se manifestar num horizonte temporal conhecido).

- **Plástica:** impacto reversível (quando uma vez cessada a ação, o fator ambiental retorna às suas condições originais) e impacto irreversível (quando cessada a ação, o fator ambiental não retorna às suas condições originais, pelo menos num horizonte de tempo aceitável pelo homem).

Posteriormente, ao preenchimento da matriz, foram descritas e calculadas as seguintes informações:

a) número de possíveis relações de impactos para toda a matriz, para cada um dos meios e para cada um dos compartimentos ambientais, determinada pela seguinte multiplicação:

= Número de atividades impactantes, descritas na matriz (linhas) x Número de fatores ambientais (colunas) (e.g 10 atividades x 35 fatores = 350 possíveis relações de impactos). Desta mesma maneira se obtém as possíveis relações de impactos para cada meio (meio físico, meio biótico e meio antrópico) e compartimento ambiental (ar, água, solo, flora, macro e micro vida).

b) número efetivo de relações de impactos ambientais para toda a matriz, para cada um dos meios e para cada um dos compartimentos ambientais; estimados da seguinte forma:

= Contabilizando o número efetivo de relações de impactos marcados na matriz entre cada atividade impactante de toda a matriz (linhas) e cada fator ambiental de toda a matriz (colunas). Desta mesma forma vai-se contabilizando a número efetivo de relações de impactos para cada meio e compartimento ambiental e fator ambiental (e.g. intercâmbio gasoso, temperatura, erosão, etc).

c) percentual de preenchimento (ocupação) efetivo da matriz toda, de cada meio e de cada compartimento ambiental, obtido da seguinte maneira:

= e.g. 350 números de impactos possíveis 100%
215 números de impactos efetivos X X = 61,43%

Desta mesma maneira se calcula a porcentual de preenchimento para cada meio e compartimento ambiental.

d) número de impactos positivos e negativos para toda a matriz, para cada um dos meios e para cada um dos compartimentos ambientais.

= contabilizando o número de impactos positivos e negativos identificados em toda a matriz para cada meio e compartimento ambiental.

e) número de impactos diretos e indiretos para toda a matriz, para cada um dos meios e para cada um dos compartimentos ambientais, estimado da mesma maneira que os impactos positivos e negativos.

= contabilizando o número de impactos diretos e indiretos identificados em toda a matriz para cada meio e compartimento ambiental.

3.7. Análises estatísticas

Os dados foram analisados em um fatorial $2^2 \times 3$, disposto no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Os fatores foram: dois sistemas de manejo SA e SC; duas situações de coleta de solo, Rua e Linha; três profundidades, 0–5; 5–15 cm e 15–30 cm, mais a manta orgânica depositada na superfície do solo. Coletou-se 10 amostras simples para formar uma amostra composta. Foi efetuado ANOVA, verificando-se a significância pelos teste F a 5%, seguido de teste de comparação de médias (teste Tukey) a 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Matéria orgânica do solo (MOS)

4.1.1. Carbono orgânico total (COT)

O sistema sob Manejo Agroecológico (SA) apresentou os maiores teores de carbono orgânico, quando comparado com o solo sob Manejo Convencional (SC) (Quadro 4).

Quadro 4 – Carbono orgânico total do solo em duas propriedades agrícolas na Zona da Mata mineira, uma sob sistema de manejo agroecológico (SA) e outra sob sistema de manejo convencional (SC) em três profundidades. Média de quatro repetições

Sistemas de Manejo		Carbono Orgânico		
		Profundidade (cm)		
		0 – 5	5 – 15 (g/kg)	15 – 30
Rua	SA	30,24 ± 1,46 A	24,89 ± 1,92 A	24,69 ± 1,86 A
	SC	23,66 ± 1,99 B	20,75 ± 1,56 B	18,68 ± 1,41 B
Linha	SA	25,79 ± 2,33 A	23,99 ± 2,46 A	23,08 ± 2,85 A
	SC	21,85 ± 1,24B	18,75 ± 1,23 B	17,65 ± 1,68 B

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas numa mesma coluna entre os sistemas de manejo para Rua vs Rua e Linha vs Linha não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste F.

No SA, os teores de carbono orgânico na rua, para as profundidades 0–5; 5–15 e 15–30 cm foram de 28,38%; 19,95% e 32,176% superior ao SC. Comportamento semelhante foi verificado na linha de cultivo, sendo 18; 28 e 31% superior ao SC, para as profundidades 0–5; 5–15 e 15–30 cm; observando maiores teores de carbono orgânico nos primeiros 5 cm de profundidade e conseqüentemente acarretando em maiores valores totais de carbono orgânico na rua e na linha de cultivo em relação ao SC.

Os resultados indicaram que a adoção do SA está induzindo o aumento dos níveis de carbono orgânico do solo. Isto é devido ao maior aporte de resíduos orgânicos que este sistema vem recebendo ao longo destes anos. Apesar da área sob SC utilizar fertilizantes, estes não promoveram maiores produções de manta orgânica, o que poderia ter representado incrementos nos teores de carbono orgânico total. KAUR *et al.* (2000) encontraram incrementos de 43% e 13% de carbono e nitrogênio da biomassa e de 11-52% de carbono orgânico em sistemas agroflorestais da Índia, comparados aos sistemas convencionais.

Os maiores teores de carbono orgânico observados no SA são indicativos importantes, pois o carbono orgânico está relacionado a numerosas propriedades dos solos, sendo fundamental para o funcionamento tanto de componentes biológicos, como componentes químicos e físicos. Concentrações baixas de carbono orgânico do solo são associadas com problemas de baixa fertilidade, alta taxa de erosão e, em geral, com processos de degradação. Em contraste, teores altos de carbono orgânico são considerados como um indicador da melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. O sistema SA está contribuindo com maiores reservatórios de carbono, podendo ser usado para a captura de carbono atmosférico, responsável em parte pelo chamado câmbio global (IZAC, 1997; ETCHEVERS *et al.*, 2000; BARROS e BRAYN, 2000; KAUR *et al.*, 2000; SILVA e MACHADO, 2000, CHAN *et al.*, 2001).

Os maiores teores de carbono orgânico no sistema SA, em relação ao sistema SC, também podem ser explicados pelos maiores teores matéria orgânica livre e oclusa (FL-Livre e FL-Oclusa) encontrados neste sistema quando estas frações foram analisadas.

4.1.2. Fração Leve-Livre (FL- Livre) e FL-Oclusa da MOS

Os teores da FL-Livre da MOS diferiram entre os sistemas de manejo, tendo apresentado os maiores valores no sistema sob enfoque agroecológico (Quadro 5). Estas diferenças foram observadas tanto em profundidade, como também nas amostras coletadas na rua do sistema e na linha de cultivo (Quadro 5).

Quadro 5 – Fração Leve-Livre da matéria orgânica do solo em três profundidades, na rua do sistema e na linha de cultivo, em um sistema sob Manejo Agroecológico (SA) e num sistema sob Manejo Convencional (SC). Médias de quatro repetições

Sistemas de Manejo		FL-Leve		
		Profundidade (cm)		
		0 – 5	5 – 15	15 – 30
		----- dag/kg -----		
Rua	SA	1,28 ± 0,04 Aa	0,37 ± 0,02 Ba	0,33 ± 0,05 Ba
	SC	0,77 ± 0,10 Ab	0,44 ± 0,12 Ba	0,22 ± 0,03 Ba
Linha	SA	0,40 ± 0,04 Aa	0,36 ± 0,10 Aa	0,36 ± 0,11Aa
	SC	0,41 ± 0,04 Aa	0,23 ± 0,02 Ab	0,23 ± 0,06 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula numa mesma linha, para profundidade e médias seguidas pela mesma letra minúscula para rua e linha de cultivo numa mesma coluna para sistemas de manejo não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Os maiores conteúdos e diferenças estatísticas da MOS, dentro da FL-Livre entre os sistemas, foram encontrados nos primeiros 0-5 cm e quando as amostras foram obtidas na rua do sistema, existindo assim, uma diferença de 0,51 dag/kg (66,23%) a mais no SA em relação ao SC. Nas outras duas profundidades de 5 - 15 e 15 - 30 cm as variações (os teores) entre os sistemas foram menores, seguindo a ordem; o SC foi 0,07 dag/kg (19%) > SA na profundidade de 5-15 cm e o SA foi 0,11 dag/kg (50%) > SC na profundidade de 15-30 cm.

Analisando os teores da FL-Livre na rua, estes variaram em ambos sistemas estudados, em relação às profundidades analisadas (Quadro 5). No SA, os teores da FL-Livre, na profundidade de 0–5 cm, foram de 0,91 dag/kg (245%) e 0,95 dag/kg (288%) a mais, quando comparados com as profundidades de 5–15

e 15–30 cm respectivamente. Já os teores de FL-Livre na profundidade de 5–15 cm foram 0,04 dag/kg (12,12%) mais elevados em relação à profundidade de 15–30 cm respectivamente. Resultados similares também foram observados no SC, porém com menores variações nos teores da FL-Livre entre as profundidades. A profundidade de 0–5 cm foi 0,33 dag/kg (75%) e 0,55 dag/kg (250%) mais elevado em relação às profundidades de 5–15 e 15–30, respectivamente. A profundidade de 5–15 cm foi 0,22 dag/kg (100%) superior a profundidade de 15–30 cm.

Na linha de cultivo, os resultados da FL-Livre obtidos não mostraram diferenças estatísticas entre os sistemas (Quadro 5). No entanto, observou-se um ligeiro aumento desta fração no SA, principalmente nas profundidades 5–15 e 15–30 cm. Os teores de FL-Livre no SC nos primeiros 5 cm de profundidade foram ligeiramente mais elevados ao SA, com 2,5% (0,01 dag/kg); porém nas profundidades 5–15 e 15–30 cm, os teores da FL-Livre do SC foram inferiores aos teores do SA, sendo o SA 56,52% (0,13 dag/kg) e 52,17% (0,12 dag/kg) superior, respectivamente, para ambas profundidades. O teor da FL-Livre, obtida na linha de cultivo, decresceu no perfil para ambos sistemas (Quadro 5), não obstante estes decréscimos foram muito pequenos ou quase nulos nas profundidades de 5–15 e 15–30 cm.

Na análise realizada para a interação dos conteúdos de FL-Livre, entre a rua do sistema e na linha de cultivo para um mesmo sistema de manejo (Quadro 6), ficou evidente que os maiores conteúdos desta fração foram encontrados na rua de ambos os sistemas e nos primeiros 5 cm de profundidade para ambos os sistemas.

Os valores obtidos na interação rua e linha de cultivo são mostrados no Quadro 4, onde observa-se que no SA os teores da FL-Livre na rua do sistema nos primeiros 5 cm de profundidades foram superiores em 220% que os teores

Quadro 6 – Fração leve livre (FL-Livre) da matéria orgânica do solo na rua e na linha de cultivo no sistema sob Manejo Agroecológico (SA) e no sistema sob Manejo Convencional (SC). Média de quatro repetições

Sistemas de Manejo		FL-Livre		
		Profundidade (cm)		
		0 – 5	5 – 15	15 – 30
----- dag/kg -----				
SA	Rua	1,28 ± 0,04 A	0,37 ± 0,019 A	0,33 ± 0,05 A
	Linha	0,40 ± 0,10B	0,34 ± 0,023 A	0,36 ± 0,03 A
SC	Rua	0,77 ± 0,04 A	0,44 ± 0,12 A	0,22 ± 0,03 A
	Linha	0,41 ± 0,03 B	0,23 ± 0,23 A	0,23 ± 0,03 A

Médias seguidas de mesma letra maiúscula em cada coluna dentro de um mesmo sistema de manejo não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste F.

na linha de cultivo (1,28 dag/kg na rua e 0,40 dag/kg na linha). Já nas profundidades de 5–15 e 15–30 cm, as variações nos teores da FL-Livre entre a rua e a linha de cultivo foram mínimas, sendo 0,03 dag/kg (8,82%) maior na rua do sistema em relação à linha de cultivo para a profundidade de 5–15 cm e de 0,03 dag/kg (8,33%) maior na linha em relação à rua do sistema para a profundidade de 15–30 cm.

Semelhante comportamento foi observado no SC (Quadro 6), onde os teores da FL-Livre obtidos na rua, nos primeiros 5 cm de profundidade foram de 0,36 dag/kg (87,80%) mais elevados que na linha de cultivo; na profundidade de 5-15 cm os teores na rua foram 0,21 dag/kg (100%) superior que na linha, e na profundidade de 15-30 cm os teores na linha foram maiores que na rua, mas as diferenças foram mínimas, com valores de 0,01 dag/kg (4,34%) entre ambas variáveis analisadas.

Os teores mais elevados da FL-Livre no sistema SA, tanto na rua como na linha de cultivo em relação ao sistema SC, são explicados pelos maiores aportes de resíduos orgânicos neste sistema. O acúmulo deve estar sendo favorecido pela formação dos estratos arbóreos e uma camada espessa de manta orgânica encontrada neste sistema. O acúmulo de matéria orgânica leve no sistema SA deve estar conferindo melhoria na qualidade do solo. Esta fração é associada com

a formação de macro-agregados e ciclagem de nutrientes, pois ela é a principal fonte de carbono para a atividade microbiana, responsável pela produção de agentes ligantes derivados da microbiota. Como seu único mecanismo de proteção é a recalitrância do material constituinte, ela tende a ser mais disponível para os microorganismos (GREGORICH e ELLERT, 1993).

Para a FL-Oclusa, os resultados obtidos não apresentaram diferenças significativas, em nenhuma das interações avaliadas e efeitos simples (Quadro 7).

Quadro 7 – Fração Leve-oclusa (FL-Oclusa) da matéria orgânica do solo em três profundidades na rua e na linha de cultivo no sistema manejo agroecológico (SA) e no sistema sob manejo convencional (SC). Médias de quatro repetições

Sistema de Manejo		FL-Oclusa		
		Profundidade (cm)		
		0 – 5	5 – 15	15 – 30
		----- dag/kg -----		
Rua	SA	0,034 Aa	0,030 Aa	0,048 Aa
	SC	0,021 Aa	0,033 Aa	0,025 Ba
Linha	SA	0,026 Aa	0,031 Ba	0,030 Aa
	SC	0,027 Aa	0,044 Aa	0,025 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula numa mesma linha e médias seguidas pela mesma letra minúscula na rua e linha de cultivo numa mesma coluna para sistemas de manejo não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Contudo, algumas observações nos teores da FL-Oclusa entre os sistemas podem ser relacionadas, pelo fato de o SA ser proposta de recente implementação. Observou-se que os teores da FL-Oclusa na rua foram 0,013 dag/kg (61,32%) mais elevados no SA em relação ao SC nos primeiros 5 cm de profundidade. Estes aumentos da FL-Oclusa também foram observados na profundidade de 15–30 cm, onde o SA apresentou um aumento de 96,34 % em comparação ao SC. Na profundidade intermediária 5–15 cm, o SC apresentou um aumento de 9,20% em relação ao SA.

O resultado da FL-Oclusa obtido na linha de cultivo no SC foi ligeiramente mais elevado que o SA nas duas primeiras profundidades, sendo

5,38 e 30,22% mais elevado nas profundidades de 0–5 e 5–15 cm respectivamente. Já na profundidade 15–30 cm, o SA apresentou aumento de 20,32%.

Os teores da FL-Oclusa nas profundidades estudadas, em ambos sistemas, são apresentados no Quadro 7. Na rua do SA, teores mais elevados da FL-Oclusa foram encontrados na profundidade 15–30 cm, sendo 40 e 63% mais elevados, em comparação às profundidades de 0–5 e 15–30 cm, respectivamente. Já na rua do SC, os maiores teores da FL-Oclusa foram observados na profundidade de 5–15 cm, sendo 54 e 34% mais elevados em relação à profundidade de 0–5 e 5–15 cm, respectivamente.

Na linha de cultivo, os teores médios mais elevados da FL-Oclusa em ambos os sistemas de manejo foram obtidos na profundidade de 5–15 cm. Para o SA os teores da FL-Oclusa foram 18 e 27% mais elevados na profundidade de 5–15 cm, quando comparada às profundidades de 0–5 e 15–30 cm, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos na linha de cultivo do SC. Neste sistema de manejo, a profundidade de 5–15 cm foi 61 e 77% mais elevados em relação às profundidades de 0–5 e 15–30 cm, respectivamente.

De maneira geral, os resultados obtidos mostraram que os teores totais das frações FL-Livre e FL-Oclusa, em geral, foram mais elevados no SA que o SC, indicando um aumento do compartimento da matéria macro-orgânica no sistema sob manejo agroecológico (Figura 3). Os teores totais da FL-Livre na rua do SA foram de 0,66 dag/kg, enquanto que na rua do SC foram de 0,48 dag/kg; isto representou um aumento de 38% no SA. De igual maneira, os teores totais da FL-Livre obtidos na linha de cultivo foram para o SA 0,37 dag/kg, já para o SC os teores caíram para 0,30 dag/kg; representando 28% de incremento no SA. Os teores na rua mais a linha de cultivo, representaram um incremento total de 66 % no SA em relação ao SC.

Os incrementos da FL-Oclusa tanto na rua, como na linha de cultivo de um sistema para outro, foram reduzidos em comparação a FL-Livre. Na rua do

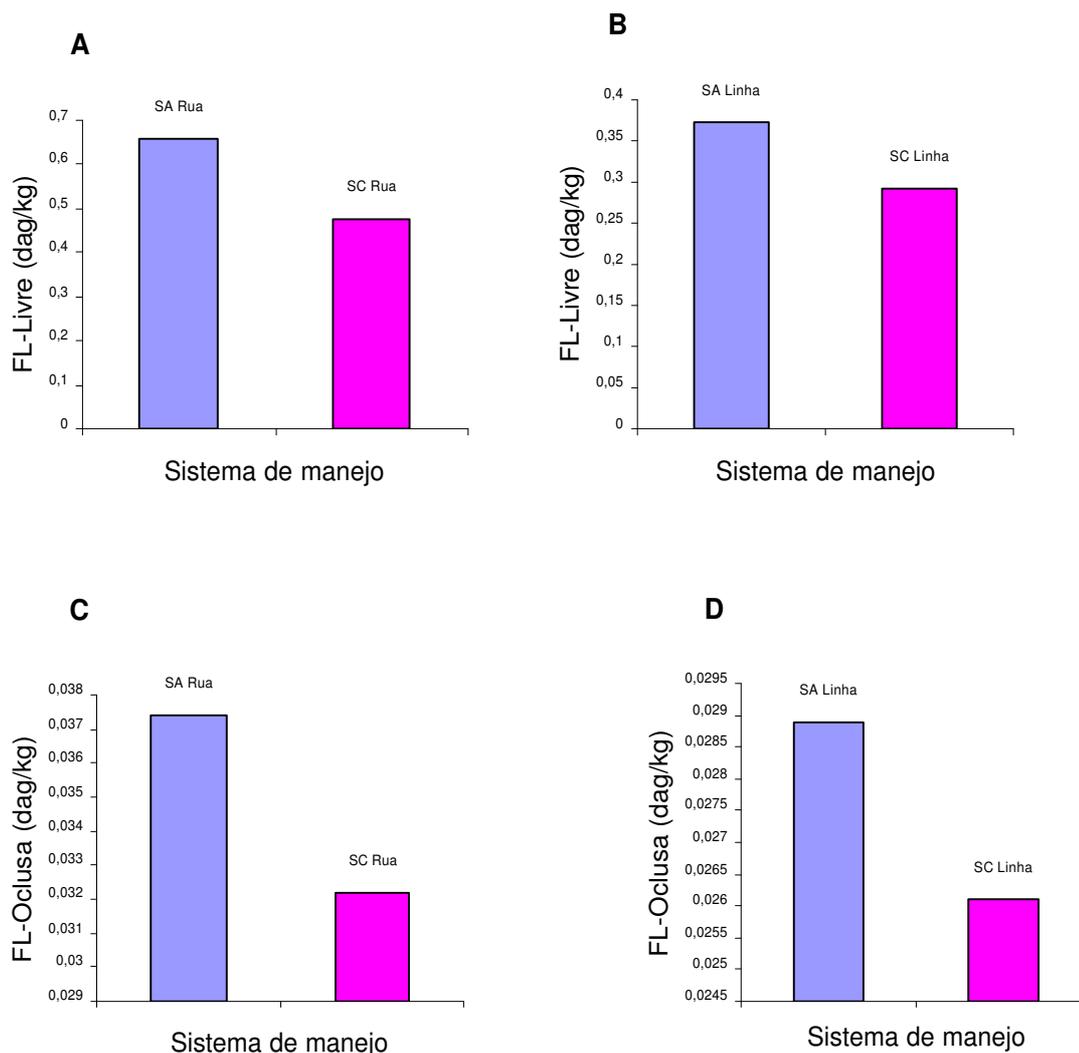


Figura 3 – Teores de MOS, nas frações: FL-Leve-Livre e FL-Oclusa no Sistema Agroecológico (SA) e no Sistema Convencional (SC), na rua do sistema e na linha de cultivo. A) FL-Livre na Rua; B) FL-Livre na Linha de Cultivo; C) FL-Oclusa na Rua; e D) FL-Oclusa na Linha.

SA, os teores totais da FL-Oclusa apresentaram um acréscimo de 16% no SA em relação ao SC. Na linha de cultivo observou-se um acréscimo de 11% no SA em relação ao SC. Isto é explicado pela maior interação da FL-Oclusa com os agregados do solo. Os aumentos nos teores da FL-Oclusa, observados no sistema SA, são explicados pelas constantes deposições de resíduos orgânicos provenientes dos estratos arbóreos e cultivos presentes neste sistema.

A FL-Oclusa é mais humificada que FL-Livre, que poderia explicar as poucas diferenças nos teores desta fração quando comparado ambos os sistemas de manejo (ROSCOE *et al.* 2000, ROSCOE *et al.*, 2001), sugerindo que a matéria orgânica oclusa estaria ligada à estabilidade e formação de micro-agregados dentro dos macro-agregados. Estas partículas finas de matéria orgânica intra-agregados (FL-Oclusa) dentro dos macro-agregados estariam sendo derivadas pela decomposição e subsequente fragmentação das partículas grossas da matéria orgânica intra-agregados (FL-Livre). A formação destes micro-agregados estaria dando uma maior proteção física, aumentando o tempo de ciclagem e incorporando carbono através do tempo (SIX *et al.*, 2000). Por outra parte, segundo ROSCOE *et al.* (2001), solos que apresentam estrutura granular muito pequena, como os Latossolos, diminuem a possibilidade de oclusão, demorando em responder rapidamente às práticas de manejo do solo que priorize o aporte orgânico.

No entanto, observou-se um comportamento de acúmulo e aumento das frações FL-Livre e Oclusa na rua em relação à linha para ambos sistemas estudados, fato que merece atenção, pois manter protegida a rua do sistema com resíduos orgânicos estará reduzindo processos erosivos e despesas com a não compra de herbicidas utilizados frequentemente para eliminar as plantas espontâneas que se desenvolvem nesta área. Isto também pode representar redução de mão-de-obra familiar utilizada nas atividades de capina.

Tanto para a FL-Livre quanto para a FL-Oclusa, foram analisados os teores totais de Ca, Mg, K e P. Os teores não diferiram estaticamente, mas de uma maneira geral, os maiores conteúdos de nutrientes foram encontrados no SA (Figura 4).

A FL-Livre apresentou estoques de nutrientes ligeiramente mais elevados frente à FL-Oclusa. A quantidade de nutrientes armazenados na FL-Livre foi relativamente elevada, apresentando 4; 77; 15; 45 kg/ha de K, Ca, Mg e P, respectivamente, na rua do SA (Figura 4). Na rua do SC, estas quantidades foram de 3; 88; 15; 16 kg/ha de K, Ca, Mg e P, respectivamente.

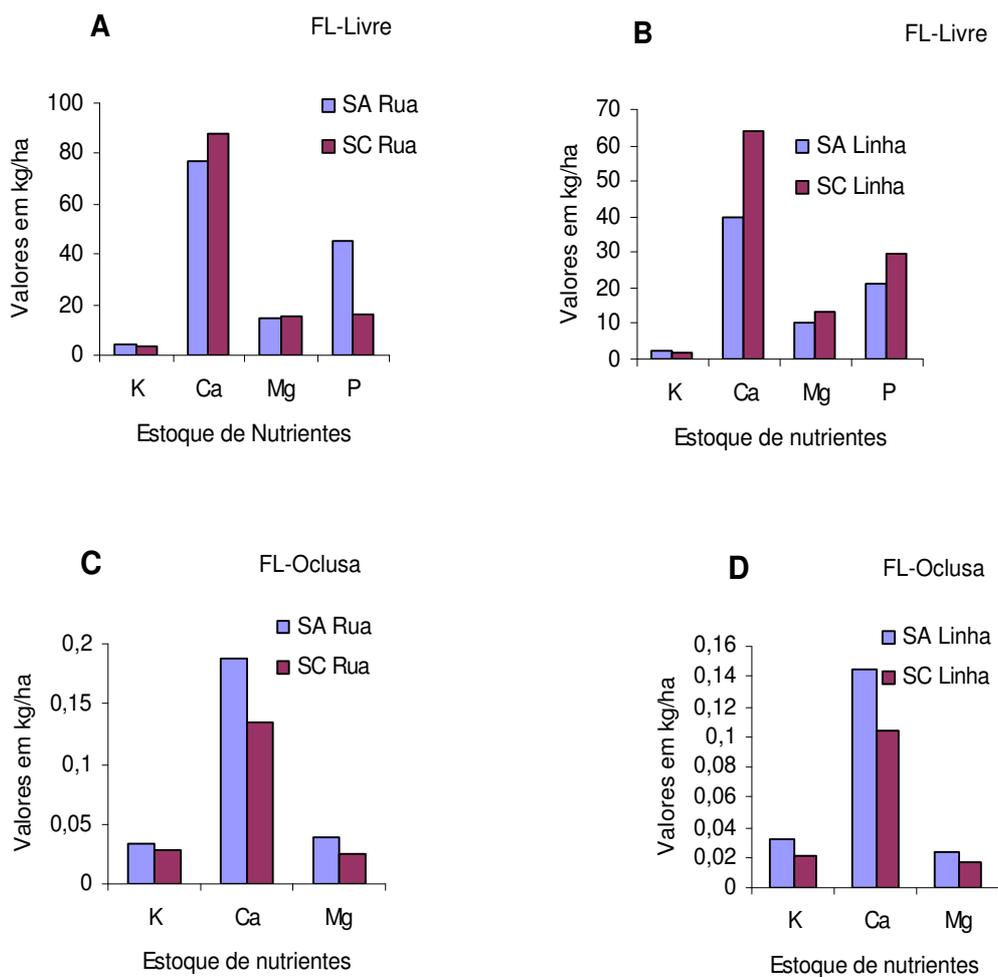


Figura 4 – Teores totais de K, Ca e Mg e P na FL-Oclusa e FL-Leve-Livre no sistema sob Manejo Agroecológico, comparado com o sistema sob Manejo Convencional. A) Estoque de nutrientes na FL-Livre na Rua; B) Estoque de nutrientes na FL-Livre na Linha de cultivo; C) Estoque de nutrientes na FL-Oclusa na Rua; e D) Estoque de nutrientes na FL-Oclusa na Linha de cultivo.

Na Figura 4, pode-se observar que as quantidades de nutrientes estocados na FL-Livre na linha de cultivo do SC foram mais elevadas aos nutrientes estocados na linha de cultivo do SA. No SC, as quantidades de nutrientes estocados na linha de cultivo foram 2; 64; 14 e 30, contra 2; 40; 11 e 20 kg/ha de K, Ca, Mg e P, respectivamente. No SA, resultados provavelmente foram influenciados pelas adubações realizadas nesta posição.

Na rua do SA, os conteúdos de nutrientes estocados na FL-Oclusa foram 0,034; 0,19; 0,039 kg/ha de K, Ca e Mg. Já no SC, estas quantidades caíram para 0,0283; 0,135; 0,025 kg/ha de K, Ca e Mg, respectivamente. Na linha de cultivo, observou-se o mesmo comportamento, quer dizer, um incremento no estoque de nutrientes dentro da FL-Oclusa no SA. No SC, as quantidades de nutrientes estocadas na linha de cultivo dentro da FL-Oclusa foram 0,0203; 0,104; 0,017 kg/ha de K, Ca e Mg, respectivamente. No SA, estes mesmos nutrientes representaram 0,0323; 0,144 e 0,0202 kg/ha, ou seja, 59% de K; 38 de Ca e 19% Mg como incrementos destes nutrientes no SA quando comparado ao SC. Observa-se que os nutrientes na FL-Oclusa no sistema SA indicaram incrementos, mediante os nutrientes da FL-Oclusa do SC, o que pode estar relacionado à proteção desta fração no interior dos agregados, provavelmente limitando a disponibilidade para os organismos decompositores.

Estudos visando tempo de ciclagem nestes compartimentos devem ser conduzidos, pois os resultados obtidos das análises, em relação a estoque de nutrientes nas frações FL-Livre e FL-Oclusa, foram encontrados conteúdos muitos baixos em ambos os sistemas, não apresentando diferenças.

MENDONÇA *et al.* (2001), encontraram, num sistema agroflorestal valores de FL-Livre a 5 cm de profundidade, variando de 9,67 g/kg até 7,53 g/kg, em relação a dois sistemas convencionais que apresentaram 1,97 g/kg e 4,07 g/kg. MURAGE *et al.* (2000), estudando pequenos sistemas de produção no Kênia, encontraram aumentos significativos destas frações em solos considerados como produtivos e não produtivos pelos agricultores, sendo na ordem de 560 mg/kg para os produtivos, contra 420 mg/kg para os não produtivos.

No monitoramento sócio-econômico das propostas agroecológicas que o Centro de Agricultura Alternativa da Zona da Mata, realiza reporta-se que as perdas de solo por erosão diminuíram no SA (197,1 kg/ha/ano) em relação (2.611,9 kg/ha/ano) ao SC, correspondendo a 92% de perdas a mais no SC que no SA (CTA/ZM-2002 – documento mimeografado).

A matéria macro orgânica ou frações leves, compostas pela FL-Livre é um dos compartimentos mais importantes da MOS, pois ela é sensível aos efeitos dos

sistemas de manejo do solo e é um importante reservatório de nutrientes (DUXBURY *et al.*, 1989, CRISTENSEN, 2000; MENDONÇA e OLIVEIRA, 2000). Os aumentos dos teores das frações FL-Livre e FL-Oclusa encontrados no SA, principalmente nos primeiros 5 cm de profundidade, estão favorecendo um incremento nas formas de carbono orgânico, o que deve estar favorecendo uma rápida ciclagem de nutrientes.

Segundo AITA (1997), alternativas para reverter os processos de erosão pela manutenção contínua da cobertura do solo com resíduos orgânicos, aumento gradativo do teor de matéria orgânica pela maior adição de fitomassa e redução das taxas de decomposição via diminuição do grau de revolvimento do solo devem ser empregadas. Estes requisitos estão sendo contemplados no SA, pois a constante deposição superficial de resíduos orgânicos (folhas, galhos, frutos, raízes etc.), provenientes, das árvores, arbustos e cultivos e a não incorporação desses resíduos ao solo estão contribuindo para a redução das perdas de MOS e do solo por erosão, assim como redução nas perdas por escoamento superficial e lixiviação de alguns nutrientes que podem ter como destino final os corpos de água.

Do ponto de vista quantitativo, a FL-Livre em comparação à FL-Oclusa, apresentou as maiores possibilidades de fornecimento de nutrientes para as plantas. Grande parte desta matéria orgânica foi encontrada na rua do sistema. Esta observação é importante, pois além de manter uma cobertura permanente do solo, contribui para evitar as perdas por erosão, pois as raízes profundas, grossas e finas das árvores e plantas espontâneas presentes na rua, podem estar funcionando como uma rede de segurança para a cobertura do solo, absorvendo os nutrientes que podem ser facilmente perdidos por erosão ou lixiviação, diminuindo a demanda de fertilizantes, trazendo portanto, uma economia para os agricultores. Por sua vez, a grande presença de resíduos orgânicos atuando como cobertura na rua do sistema, deve estar favorecendo um ambiente de autorregulação das plantas espontâneas (FAVERO, 1998; RESTREPO, 1998; MENDONÇA *et al.*, 2001).

Os resultados não evidenciaram diferenças estatísticas significativas da FL-Oclusa e nutrientes entre os sistemas de manejo. Isto provavelmente se deu pelo curto tempo de estabelecimento do sistema de manejo agroecológico em relação ao SC. Além disso, quando o solo é passado em peneira de 2 mm antes do fracionamento, estruturas com diâmetro médio superiores a este valor podem estar sendo excluídas ou rompidas para que passem nesta. A quebra destas estruturas pode liberar parte da FL-Oclusa, sendo esta recuperada como FL-livre (ROSCOE *et al.*, 2000; ROSCO *et al.*, 2001).

Não obstante, diferenças, embora não significativas, nos teores da FL-Oclusa entre os sistemas de manejo foram encontradas, indicando efetividade e potencialidade dos sistemas sob manejo agroecológico para que melhorarem a qualidade dos solos.

Tendo-se em vista o limitado acesso da maioria dos pequenos agricultores a insumos externos, as ameaças ecológicas que estes insumos geram e a dependência da produção dos sistemas convencionais em fontes não renováveis. Torna-se necessário o estabelecimento de sistemas sob manejo agroecológico, caracterizados pela presença de uma grande variedade de árvores e arbustos, cultivos perenes, anuais ou temporais, como condição desejável para contribuir na recuperação dos solos.

4.1.3. Substâncias húmicas

No Quadro 8 são apresentados os teores de carbono orgânico das frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH), huminas (FH) e a somatória das três frações dos sistemas SA e SC. Foram encontradas diferenças estatísticas significativas, quando comparados os teores de carbono orgânico das FAF, FAH, FH e FAF+FAH+FH entre os sistemas SA e SC, sendo encontrados os maiores teores das três frações no sistema SA. O somatório dos teores das três frações indicaram uma recuperação de 70% no SA e de 64% no SC. Houve um predomínio acentuado da fração FH > FAH > e FAF em ambos os sistemas (Quadro 8).

Quadro 8 – Substâncias húmicas no Sistema Manejo Agroecológico (SA) e no Sistema de Manejo Convencional (SC) em duas propriedades agrícolas na Zona da Mata mineira. Média de quatro repetições

Substâncias Húmicas	Sistemas de Manejo	
	SA	SC
	----- g/kg -----	
FAF	4,3158 A	3,4171 B
FAH	5,0730 A	3,2432 B
FH	7,3329 A	6,2039 B
FA+FA+HUH	16,7217 A	12,8643 B

FAF: fração ácidos fúlvicos; FAH: fração ácidos húmicos; FH: fração humina; FA+FA+HUH = somatória das três frações.

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula em cada linha, para sistemas de manejo (SA, SC) não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste F.

Os maiores conteúdos da fração humina devem estar relacionados à sua insolubilidade e sua resistência à biodegradação, favorecida pela formação de complexos estáveis e, ou, complexos argilo-húmicos (PINHEIRO *et al.*, 2001)

As frações FAF, FAH e FH apresentaram um incremento de 26,34%; 56,42% e 18,19 %, respectivamente, no SA em relação ao SC. A somatória das três frações no SA representou um aumento de 29,94% de carbono orgânico no SA em relação ao SC. O incremento das substâncias húmicas parece estar ocorrendo de forma crescente no sistema SA, como consequência do maior aporte de resíduos orgânicos neste sistema.

Os teores de carbono orgânico nas FAF, FAH e FH na rua do SA foram de 4,59; 5,43 e 7,16 g/kg, respectivamente. Já na rua do SC, estes valores caíram para 3,33; 3,32; 6,61 g/kg de carbono orgânico, indicando um aumento para o SA de 38; 65; 8%, respectivamente. Observou-se que os maiores incrementos ocorreram nas FAF e FAH, em comparação com FH (Figura 5). Observou-se, ainda, que os maiores teores de carbono orgânico das substâncias presentes na linha de cultivo foram encontrados também no SA, sendo FAF 4,04 g/kg; FAH 4,72 g/kg e FH 7,50 g/kg em comparação ao SC que apresentou FAF 3,50g/kg; FAH 3,17 g/kg e 5,79 g/kg.

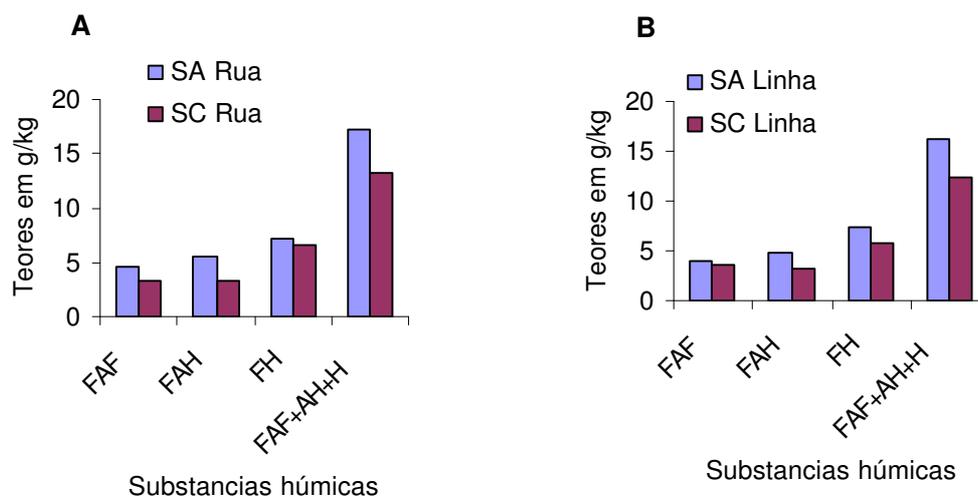


Figura 5 – Substâncias húmicas no solo sob sistema de manejo agroecológico (SA) e manejo convencional (SC) e na rua e na linha de cultivo na Zona da Mata Mineira. (A) Carbono orgânico das substâncias húmicas na Rua e (B) carbono orgânico das substâncias húmicas na linha de cultivo.

Isto representou aumentos de 15; 49 e 30% FAF, FAH e FH, respectivamente no SA em relação ao SC. Em geral, os maiores teores e incrementos das substâncias húmicas foram encontrados na rua dos sistemas, sendo, em geral, para o SA de 17,18 g/kg de carbono orgânico e 13,26 g/kg de carbono orgânico no SC; enquanto que na linha de cultivo, os teores das substâncias húmicas para SA foram de 13,26 g/kg e no SC 12,46 g/kg. Esta concentração de substâncias húmicas na rua é explicada pelas maiores quantidades de matéria orgânica encontradas nessa posição em ambos os sistemas.

Das três frações analisadas, a fração humina foi a que apresentou uma maior variabilidade entre as profundidades e os sistemas, apresentando diferenças estatísticas quando foram comparadas tanto as profundidades quanto os sistemas de manejo (Quadro 9).

Quadro 9 – Fração húmica nas três profundidades, no Sistema de Manejo Agroecológico (SA) e Convencional (SC) em duas propriedades da Zona da Mata mineira. Médias de quatro repetições

Profundidade (cm)	Fração Húmica	
	Sistemas de Manejo	
	SA	SC
	----- g/kg -----	
0 – 5	8,31±0,55 Aa	8,3 ± 0,33 Aa
5 – 15	7,10 ±0,34 Ab	5,46 ±0,31 Bb
15 – 30	6,58±0,51 Ba	4,89 ±0,39Bb

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula numa mesma linha, e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas numa mesma coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste F.

No geral, observou-se redução de substâncias húmicas à medida em que a profundidade era maior e comportamento de acúmulo quando o sistema de manejo foi agroecológico (Quadro 9). Os maiores valores da FH foram encontrados nos primeiros 0–5 e 5–15 cm de profundidade. Isto provavelmente se deve à menor mobilidade desta fração em relação aos ácidos fúlvicos e húmicos. Nos primeiros 5 cm de profundidade do SA, os teores da FH foram de 8,31g/kg de carbono orgânico, enquanto que na profundidade de 15-30 cm para este mesmo sistema, os teores decresceram para 6,58 g/kg, houve um decréscimo de 26 %. Semelhante comportamento foi observado no SC, porém a redução dos teores foi mais acentuada. Observou-se que nos primeiros 0–5 cm do SC, os teores da FH foram de 8,26 g/kg e na profundidade de 15–30, estes decresceram para 4,89 g/kg de carbono orgânico, o que representou uma diminuição de 69%. O revolvimento de solo, o menor aporte orgânico, assim como a incorporação da matéria orgânica, devem estar contribuindo para os maiores decréscimos da FH no SC.

As FAF e FAH apresentaram menor variabilidade dentro das profundidades em ambos sistemas. No SA, para as profundidades 0–5, 5–15 e 15–30 cm, os teores da FAF foram 4,37, 4,31 e 4,26 g/kg de carbono orgânico, e no SC foram 3,55, 3,43 e 3,25 g/kg de carbono orgânico, respectivamente.

O fracionamento das substâncias húmicas indicou teores mais elevados no SA. Valores situados em torno de 16,72 g/kg no SA contra 12,86 g/kg de carbono

orgânico no SC foram obtidos, sugerindo vantagem agrônômica do SA em relação ao SC, pois estas moléculas contribuem para estabilidade de agregados, retenção de água e formação de complexos organo-minerais (SIX *et al.*, 1998; MENDONÇA *et al.*, 1991).

Como as substâncias húmicas fazem parte dos compartimentos físicos e quimicamente protegidas, elas apresentam maior tempo de ciclagem e sua dinâmica depende da mineralogia, textura e manejo do solo. São associadas com agregação do solo e retenção de cátions (DUXBURY, *et al.*, 1989; MENDONÇA e OLIVIERA, 2000). Dada a baixa taxa de transformação, assim como efeitos benéficos a longo prazo dentro de um sistema sob manejo agroecológico elas podem representar as reservas do solo e o início de uma recuperação econômica dos pequenos agricultores; pois a maior parte da matéria orgânica encontra-se nestes compartimentos.

Segundo MENDONÇA e OLIVEIRA (2000), nos primeiros anos de adoção de um sistema de manejo que priorize o aporte orgânico, como o SA, onde as taxas de entrada e acúmulo de matéria orgânica são maiores que as de decomposição, a biomassa atuará como dreno de nutrientes. Nos anos subseqüentes, quando os incrementos nos teores de matéria orgânica são reduzidos, o caráter dreno da matéria orgânica será menor e se equivalerá a do caráter fonte, pois o aporte de nutrientes via decomposição dos resíduos vegetais na superfície do solo será maior que a quantidade de nutrientes imobilizados na biomassa vegetal viva e física e quimicamente protegidos.

4.1.4. Frações de carbono orgânico extraídas em um gradiente de oxidação decrescente

As frações de carbono orgânico foram influenciadas conjuntamente pelo sistema de manejo, pela posição da amostra e pelo gradiente de oxidação (Quadro 10). A maioria das diferenças foi encontrada na fração mais facilmente oxidável (F1 = 6 mol/L).

Quadro 10 – Frações de carbono orgânico extraídas em um gradiente de oxidação decrescente com ácido sulfúrico no Sistema de Manejo Agroecológico (SA) e Convencional (SC).

Sistemas	Frações de Carbono Orgânico				
	F1	F2	F3	COT	
----- g/kg -----					
SA	Rua	13,91± 0,67 Aa	5,87±0,74Ac	6,83±0,54 Ab	26,61
	Linha	13,34± 0,41 Aa	3,71±0,49Ac	6,99±0,41Ab	24,02
SC	Rua	11,259± 0,52Ba	3,45± 0,45Bc	6,3± 0,37Ab	21,02
	Linha	10,90 ± 0,61Ba	2,84± 0,44Bc	5,69 0,38±Ab	19,65

F1: 6 mol/L H₂SO₄; F2 = 9 mol/L – 6 mol/L H₂SO₄; F3 = 12 mol/L – 9 mol/L H₂SO₄.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula numa mesma coluna não diferem entre si a 5%; e médias seguidas pela mesma letra minúscula numa mesma linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Na rua do sistema SA, as frações F1 (6 mol/L H₂SO₄); F2 (9 mol/L – 6 mol/L H₂SO₄); F3 (12 mol/L – 9 mol/L H₂SO₄) extraíram um total de 52; 22 e 25% de carbono orgânico, respectivamente, em relação ao carbono orgânico total. Já na rua do SC, foi extraído um total de 53; 16 e 30 %, respectivamente, para F1, F2 e F3. Resultados similares também foram observados quando as frações foram analisadas na linha de cultivo. Para o sistema SA, os valores foram: F1 55% > F3 29% > F2 15% de carbono orgânico; em comparação à linha de cultivo do sistema SC a recuperação foi menor comparativamente ao sistema SA, obtendo-se os valores F1 55% > F3 29% > F2 14%, respectivamente.

Estas mesmas frações foram analisadas nas profundidades amostradas, onde se observam diferenças, na seguinte ordem 0–5 cm > 5–15 cm > 15–30, exceto na F3, que apresentou um ligeiro incremento na profundidade de 15 – 30 cm. A maior quantidade de carbono orgânico estava presente na fração mais facilmente oxidável para ambos sistemas (F1) (Figura 6).

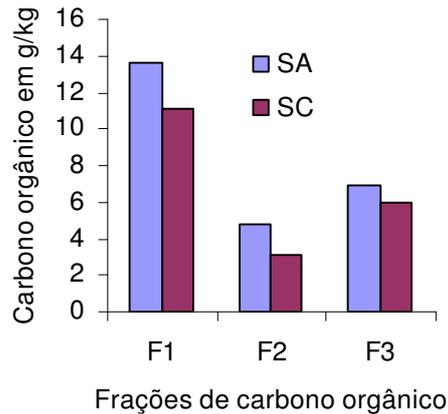


Figura 6 – Frações de carbono orgânico obtidas sob uma gradiente de oxidação decrescente de ácido sulfúrico no Sistema Agroecológico (SA) e no Sistema Convencional (SC). F1 = 6 mol/L H_2SO_4 , F2 = 9 mol – 6 mol/L H_2SO_4 e F3 = 12 mol/L – 9 mol/L de H_2SO_4 .

As relações COT/F1, COT/F2 e COT/F3 para a rua do SA foram 1,91, 4,53 e 3,90 de carbono orgânico, respectivamente. Na rua do SC, estas relações foram 1,87, 6,09 e 3,32 de carbono orgânico, respectivamente. Semelhante comportamento, na linha de cultivo para ambos os sistemas, foi observado, sendo para a linha de cultivo do SA as seguintes relações 1,80; 6,47 e 3,44 de carbono orgânico. Na linha do SC, estas mesmas relações foram 1,80; 6,97 e 3,45 de carbono orgânico, respectivamente. Assim, a implementação do SA está incrementando os níveis de carbono orgânico mais ativo em comparação ao SC (Figura 7). As relações COT/F1 mais estreitas observadas estariam indicando maior liberação de carbono ativo a partir dos resíduos vegetais que estão entrando no sistema. Este carbono ativo está relacionado aos compostos rapidamente mineralizáveis. Portanto ele desempenha um papel importante na manutenção da fertilidade do solo, atuando como fonte de nutrientes por sua rápida ciclagem e composição química. A presença de carbono ativo (F1) e conseqüentemente maiores ciclagens de nutrientes no sistema SA em relação ao SC, poderiam também ser explicados pelos maiores teores de FL-Leve, observados que é composta principalmente por matéria orgânica fresca, hifas de fungo, polissacarídeos e outros produtos microbianos, durante as análises.

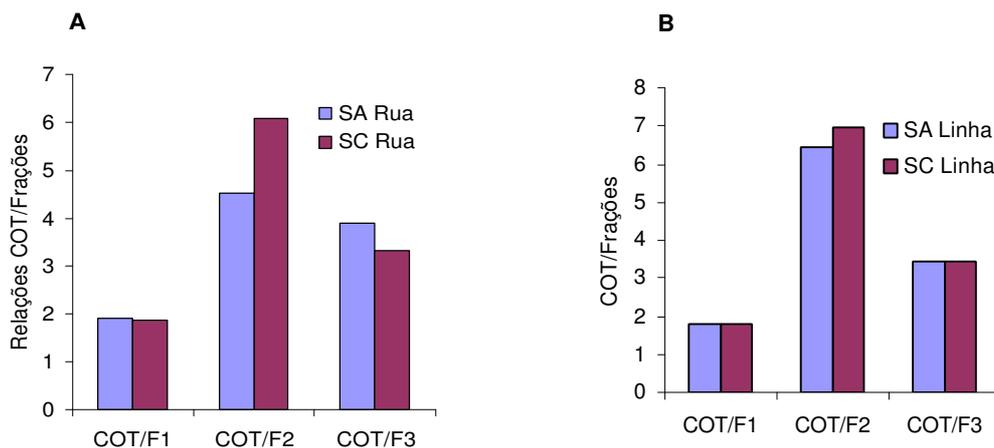


Figura 7 – Relações de carbono orgânico total com as frações de carbono orgânico extraídas sob um gradiente de oxidação decrescente. A) Relações de carbono total com as frações na rua; e B) Relações de carbono orgânico total com as frações na linha de cultivo.

As maiores relações COT/F2 e COT/F3 observadas, estariam indicando incrementos nas taxas de decomposição e degradação dos teores de matéria orgânica causadas pelas rupturas dos agregados do solo. Valores mais elevados destas relações e os teores destas frações (F2 e F3) no SA, em comparação ao SC, estariam sugerindo incrementos nos compartimentos química e fisicamente protegidos, e uma queda neste último. Isto é, maiores teores de substâncias húmicas no SA em relação ao SC.

Os maiores teores de carbono orgânico na Fração 3, frente a F2 em ambos os sistemas, provavelmente decorrem da maior concentração de oxidação nesta fração (F3 12 mol/L), o que causou remoção de outras formas mais estáveis de carbono, nos compartimentos protegidos, dentro dos agregados, principalmente argila e silte (SHANG e TIESSSEN (1997)). A F2 provavelmente extraiu carbono orgânico contido na matéria orgânica oclusa, a qual é menos humificada, o que poderia ser explicado pelos menores teores de FL-Oclusa obtidos durante as análises.

Estas frações têm sido relacionadas com a estabilidade de agregados, disponibilidade e ciclagem de nutrientes. CHAN *et al.* (2001), usando esta mesma metodologia, obtiveram resultados semelhantes, encontrando mais da

metade do carbono nas frações F1 e F2 (78-92%) em solos sob diferentes sistemas de manejo; obtiveram ainda correlações significativas com os aumentos da mineralização do N ($F1 + F2 = 0,952^*$) e estabilidade de agregados ($F1 + F2 = 0,982^*$). Estes autores sugerem monitorar estas frações como indicadores de sustentabilidade em sistemas agrícolas.

Os resultados obtidos indicaram que o maior aporte de material orgânico e a manutenção de uma cobertura permanente do solo, através dos diferentes estratos arbóreos e cultivos no SA, favorece um incremento nas formas de carbono mais ativo, o que deve estar aumentando a ciclagem de nutrientes acumulados na biomassa e resíduos orgânicos em diferentes estágios de decomposição. Estas observações são importantes para promover mecanismos mais eficazes em diminuir a dependência de insumos externos, de altos custos e desfavoráveis para o meio ambiente. A adição de resíduos da vegetação, presente dentro do próprio sistema, poderá acarretar absorção de nutrientes dos substratos orgânicos pelas plantas, o que a médio e longo prazo pode representar uma recuperação econômica dos produtores, diminuindo, por exemplo, despesa na compra de fertilizantes ou outros produtos exógenos provenientes do mercado.

4.2. Manta orgânica e nutriente acumulados

No Quadro 11 são apresentados a produção de manta orgânica em matéria seca e os teores de nutrientes encontrados, tanto na rua como na linha de cultivo em ambos os sistemas.

A quantidade de manta orgânica obtida na rua do SA apresentou um incremento de 95% no SA em relação ao SC. Quanto à manta orgânica, na linha de cultivo observou-se também um incremento de 70 % no SA em relação ao SC.

Em termos de qualidade, a manta orgânica não apresentou diferenças significativas nos teores de nutrientes (Quadro 11) entre os sistemas, apesar da manta orgânica do Sistema Convencional estar constituída por folhas, galhos e

Quadro 11 – Manta orgânica e nutrientes no Sistema Agroecológico (SA) e no Sistema Convencional (SC)

Variável Analisada	Rua		Linha	
	SA	SC	SA	SC
Manta Orgânica	9.401,85	4.826,20	9.858,89	5.807,50
	----- dag/kg -----			
N	1,28	1,68	1,37	1,53
P	0,09	0,08	0,08	0,08
K	0,41	0,30	0,29	0,34
Ca	0,89	1,64	0,81	1,34
Mg	0,28	0,41	0,29	0,36
S	0,09	0,10	0,09	0,11
	----- mg/kg -----			
B	24,53	49,81	28,52	46,74
Mn	155,79	139,33	119,31	121,29
Zn	35,91	19,35	29,78	19,70
Cu	23,98	25,55	23,61	23,08
Fe	11.244,75	10.326,19	14.235,00	11.902,13

caules de Café que recebem algumas aplicações foliares, e poderiam ter influenciados nos teores de nutrientes acumulados nesta manta orgânica; enquanto que no SA esta foi composta por uma diversidade de material de resíduos orgânicos de plantas que não recebem aplicações foliares de fertilizantes. No entanto, recebem aplicações de Supermagro, que é um produto natural feito pelos próprios agricultores. Isto poderia explicar a não diferença nos teores de nutrientes da matéria seca em ambos os sistemas. No entanto, quando se analisou a quantidade de nutrientes por hectare estocado, o SA foi claramente superior ao SC (Quadro 12).

Na rua foram observados incrementos superiores no SA em relação ao SC, na ordem de 82 % de N; 119 % P; 175% K; 6 % Ca; 34 % de Mg e 75% de S encontradas. Resultados semelhantes foram obtidos para os micronutrientes B, Mn, Zn, Cu e Fe, quando os sistemas agrícolas são comparados.

A linha de cultivo apresentou maiores conteúdos de nutrientes armazenados na manta orgânica no sistema SA, quando comparado ao SC. Incrementos de 46,22; 3,24; 8,84; 2,04; 7,68; 2,48 kg/ha de N, P, K, Ca, Mg e S

Quadro 12 – Conteúdo de nutrientes estocados na manta orgânica presente no Sistema sob Manejo Agroecológico (SA) e no Sistema Convencional (SC) em duas propriedades da Zona da Mata mineira. Média de quatro repetições

Variável Analisada	Rua		Linha	
	SA	SC	SA	SC
	----- kg/ha -----			
MS	9.401,85 A	4.826,2Ba	9.858,89B	5.807,5B
	----- kg/ha -----			
N	120,34 A	66,12B	135,07 A	88,85B
P	8,46 A	3,86B	7,89 A	4,65B
K	38,55 A	14,00B	28,59 A	19,75B
Ca	83,68 A	79,15B	79,86 A	77,82B
Mg	26,33 A	19,79B	28,59 A	20,91B
S	8,46 A	4,83B	8,87 A	6,39B
	----- kg/ha -----			
B	0,43 A	0,24B	0,28 A	0,27B
Mn	1,09 A	0,67B	1,18 A	0,70B
Zn	0,34 A	0,09B	0,29 A	0,11B
Cu	0,23 A	0,12B	0,23 A	0,13B
Fe	105,72 A	49,84A	140,34 A	69,12B

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula numa mesma linha entre os sistemas de manejo não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste F.

foram encontrados no SA em comparação ao SC. Portanto, a implantação do SA implicou em maiores conteúdos de nutrientes por ha, armazenados na manta orgânica e, conseqüentemente, maiores quantidades de nutrientes em circulação, o que deve estar acarretando numa recuperação do solo (Figura 8).

As maiores quantidades de nutrientes presentes na manta orgânica do SA são um reflexo da maneira como o sistema está sendo manejado. Segundo KER (1995), o solo das áreas em estudo são Latossolos, que de maneira geral são profundos, ácidos, sendo normalmente distróficos e intemperizados; existindo nestas condições aumento da adsorção aniônica, diminuição da saturação por bases e baixa contribuição de minerais pelo intemperismo. Nestas condições de solo, a formação de manta orgânica dentro de sistemas manejados sob o enfoque agroecológico imobilizará em toda sua manta orgânica grandes quantidades de nutrientes sendo estes de grande importância para manter o equilíbrio entre os nutrientes ciclados e a planta, tornando o sistema com menos dependência de aporte externo de nutrientes.

O conhecimento do acúmulo e dinâmica da manta orgânica é importante para orientar ou planejar as práticas de manejo destes agroecossistemas. No sistema SA, os dados sobre manta orgânica e nutrientes acumulados devem estar contribuindo para uma maior ciclagem biogeoquímica (retorno de nutrientes via decomposição) e bioquímica (redistribuição interna de nutrientes, dentro da planta). O ciclo bioquímico é importante para nutrientes de maior mobilidade dentro da planta como nitrogênio, fósforo, magnésio, cálcio, enxofre e os micronutrientes em geral (REIS e BARROS, 1990). Vários trabalhos têm focado a importância de deixar o máximo de resíduos orgânicos sobre o solo, porém em povoamentos florestais ou florestas naturais (REIS e BARROS 1990; DELTTI, 1982, MORALES, 1993). Por exemplo, Santana *et al.* (1999), citados por BARROS (2000), explicam que a colheita somente da madeira (*eucalyptus*) em relação à biomassa da parte aérea, levaria uma economia de mais de 60% para a maioria dos nutrientes. Ainda mencionam que considerando-se o sistema convencional de colheita (retirada do tronco e descasque do talhão) representaria uma redução de 11% da biomassa, porém uma economia de 24% de N, 46% de P, 41% de K, 73% de Ca e 65% de Mg. Tendo-se em vista que a maioria dos sistemas sob manejo agroecológico é implementada por pequenos agricultores com limitados recursos financeiros. Isto representa grande potencial para aumentar a capacidade produtiva das áreas ocupadas por estes.

4.3. Efeitos dos sistemas nas propriedades químicas do solo

Os teores de nutrientes do solo não evidenciaram diferenças estatísticas significativas entre os sistemas com Manejo Convencional (SC) e o Sistema Agroecológico (SA). Isto provavelmente pelo curto tempo de estabelecimento do SA (Quadro 13). No entanto, de uma maneira geral, observou-se que a implantação do SA acarretou em mudanças nos valores de pH, Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , P, SB, $CTC_{efectiva}$ e %V, quando comparado com o Sistema Convencional.

Em geral, quanto ao pH, foi observado que no SA² (media de rua+linha) este foi de 5,50, em relação a um pH de 5,36 (media de rua+linha) no SC, acarretando um incremento para o pH do SA, sugerindo indícios de melhores condições químicas neste último. Pois, segundo as classificações agrônômicas da acidez do solo, estes valores seriam adequados para o desenvolvimento da maioria das plantas. No SA, observou-se ainda uma diminuição nos teores de Al³⁺ em relação ao SC, sendo este de 0,43 cmol_c.dm⁻³, enquanto no SC foi de 0,48 cmol_c/dm³, representando uma redução de 10,41%.

Quadro 13 – Valores médios das variáveis químicas do solo obtidos na rua e na linha de cultivo, num Sistema de Manejo Agroecológico (SA) e Convencional (SC) em duas propriedades da Zona da Mata mineira

Variáveis	Rua		Linha	
	SA	SC	SA	SC
pH	5,33Aa	5,50Aa	5,68Ab	5,22Aa
Ca _{cmol_c.dm⁻³}	3,08Aa	3,43Aa	4,07Aa	2,40Bb
Mg _{cmol_c.dm⁻³}	0,99Aa	0,99Aa	1,08Aa	0,75Aa
K _{mg.dm⁻³}	77,25Aa	69,00Aa	87,08Aa	62,08Aa
P _{mg.dm⁻³}	4,43Aa	3,65Aa	5,24Ab	4,44Ba
Al _{cmol_c.dm⁻³}	0,53Aa	0,33Bb	0,33Bb	0,62Aa
H+Al _{cmol_c.dm⁻³}	9,73Aa	7,42Bb	8,03Ab	8,47Aa
SB _{cmol_c.dm⁻³}	5,07Ab	5,33Aa	6,89Aa	3,70Bb
CTC1 _{cmol_c.dm⁻³}	5,60Aa	5,66Aa	7,23Aa	4,31Aa
CTC2 _{cmol_c.dm⁻³}	14,80 Aa	12,75Aa	14,93 Aa	12,17Aa
V%	32,70Ab	39,80Aa	43,78Aa	29,09Ab

CTC1: capacidade de troca cátions; CTC2: capacidade troca de cátions a pH7; SB: soma de bases; (H+AL) = acidez potencial.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula numa mesma linha, para sistemas de manejo entre uma rua vs rua e linha vs linha de cultivo não diferem entre si a 5%; e, médias seguidas pela mesma letras minúscula, para rua vs linha dentro de um mesmo sistema de manejo não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Foi possível observar que a participação de Al trocável na CTC efetiva do SA foram menores, sendo 6,69%, enquanto no SC foi de 9,62%, havendo, portanto, maior probabilidade de absorção de Al³⁺ pelas plantas no SC, e liberação de P no SA. A constante adição de resíduos orgânicos, depositados ou incorporados na superfície do solo no SA estão auxiliando a diminuição da

² Como o resultado das variáveis químicas analisadas não foi significativo estatisticamente, a discussão do Quadro 11, está baseada nas medias de Rua+Linha de cada sistema.

acidez e favorecendo a neutralização da toxidez por Al^{3+} , devido à atuação dos processos químicos de complexação desse elemento pela matéria orgânica (MENDONÇA, 1995).

Maiores teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ foram observados no SA, refletindo, portanto, maiores valores de soma de bases, CTC efetiva e saturação por bases. O teor de Ca^{2+} no SA foi de $3,58 \text{ cmol/dm}^3$ e no SC foi na ordem de $2,92 \text{ cmol/dm}^3$, o que representou um incremento de 22,60% para o SA. O teor de Mg^{2+} no SA foi na ordem de $1,04 \text{ cmol/dm}^3$, enquanto no SC foi de $0,87 \text{ cmol/dm}^3$, indicando um incremento de 19,54% para o SA. No Sistema sob Manejo Agroecológico o teor de K^+ foi de $82,17 \text{ mg/dm}^3$. Já o Sistema Convencional apresentou valor de $65,54 \text{ mg/dm}^3$. A porcentagem de saturação de cálcio, magnésio e potássio na CTC total para o SA foi de 24,07% de Ca^{2+} , 6,99% Mg^{2+} e 1,41% de K^+ . Já no SC, a saturação de cátion na CTC total foi de 23,43% Ca^{2+} , 6,98% Mg e 1,35 %K. Estes maiores valores de porcentagem de saturação de Cálcio, magnésio e Potássio no SA sugerem melhorias na fertilidade do solo. De forma similar a SB, CTC efetiva, CTC total e saturação por bases foi superior no SA, quando comparada com o SC (Figura 8). Os valores de SB, CTC efetiva, CTC total e V no SA foram 32,30%, 28,65%, 19,34%, 11,03%, respectivamente superiores ao SC.

Os teores de P e K, embora não tenham sido encontradas diferenças estatísticas significativas entre os sistemas, foram mais elevados no SA (Figura 9). Os maiores teores e acúmulo de P e K no SA deve estar sendo favorecido pelo acúmulo de matéria orgânica na superfície e maior entrada de serrapilheira. Isto impede que o P fique sujeito às reações de fixação, e o K, a perdas por lixiviação.

Em ambos os sistemas, valores mais elevados de pH, cátion trocáveis, CTC efetiva, CTC total, P e K encontram-se, principalmente, na superfície, provavelmente pelos maiores conteúdos de matéria orgânica e manta orgânica encontrados na superfície (Quadro 14).

Diferenças em experimentos de longa duração têm sido observadas nas propriedades químicas dos solos, pelos efeitos de espécies leguminosas, quando comparadas com aquelas não leguminosas. Estas diferenças têm sido no pH,

alumínio trocável, saturação por alumínio e adsorção de ânion. Em geral, incrementos no pH, diminuição de Al trocável e adsorção de ânion têm sido observadas depois de aplicar grandes quantidades de restos de leguminosas (FERNANDES *et al.*, 1997).

Vários trabalhos relatam resultados similares (MURAGE *et al.*, 1999; ESQUIVEL *et al.*, 2000; ETCHEVERS *et al.*, 2000; MENDONÇA *et al.*, 2001), mostrando que mudanças em variáveis do solo, principalmente químicas, sob sistemas de manejo agroecológico, não ocorrem em curto espaço de tempo. O tempo sugerido para encontrar diferenças pode variar de 10 a 35 anos de manejo do sistema agrícola.

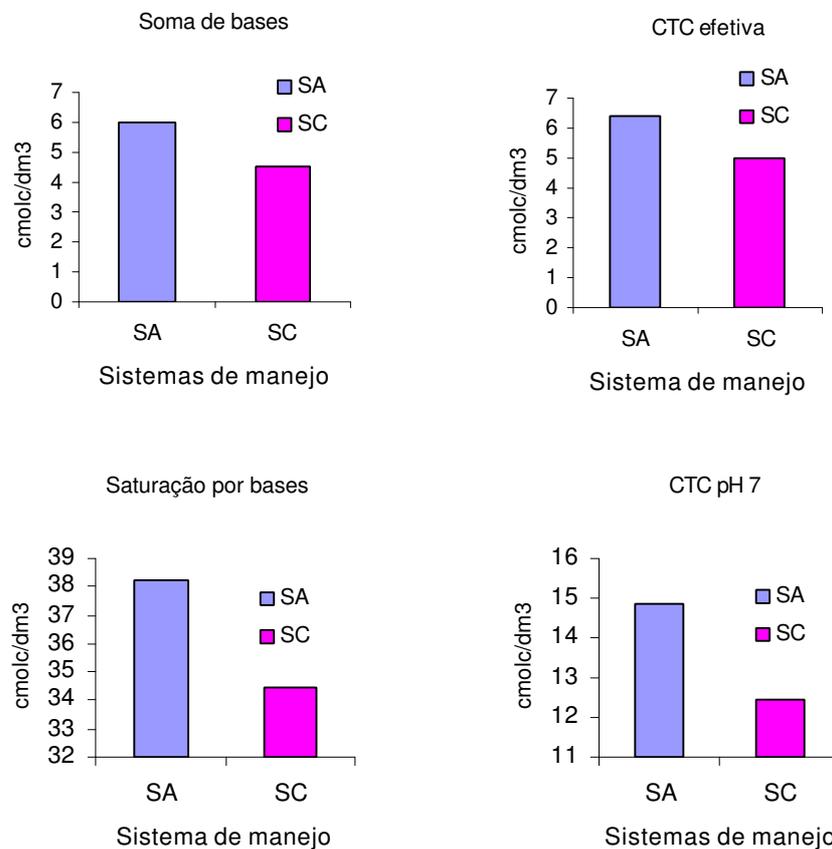


Figura 8 – Comportamento da SB, CTC efetiva, CTC pH7 e V% no Sistema sob Manejo Agroecológico e Sistema Convencional, em duas propriedades da Zona da Mata mineira.

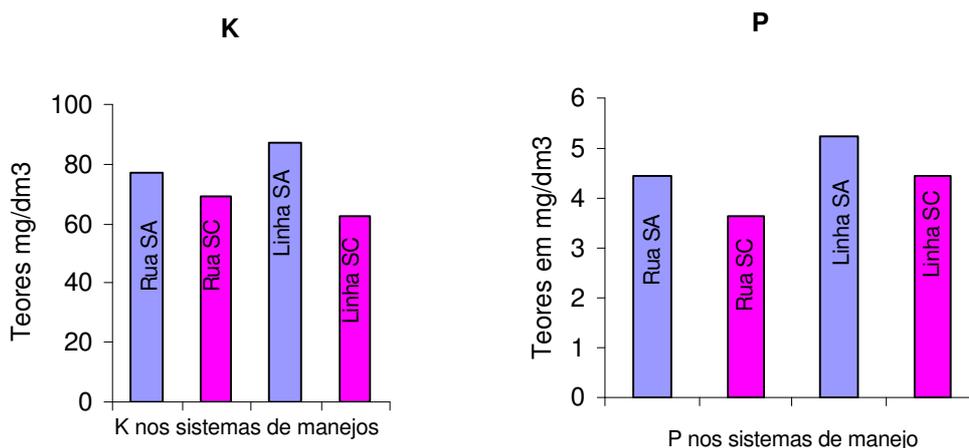


Figura 9 – Teores de K e P (mg/dm^3) na rua e na linha no Sistema Agroecológico (SA) e no Sistema Convencional (SC)

Quadro 14 – Características químicas do solo no Sistema sob Manejo Agroecológico e Manejo Convencional. Média de quatro repetições

Prof. (cm)	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC1	CTC2	V	P	K	
Sistema Agroecológico												
-----cmol _c /dm ³ -----										--%--		----mg/dm ³ ----
0-5	6,14	5,38	1,62	0,22	7,09	9,80	10,02	16,90	57,21	4,96	132,37	
5-15	5,15	2,64	0,85	0,60	10,23	3,79	4,39	14,02	26,99	3,67	56,00	
15-30	5,24	2,69	0,88	0,47	9,32	4,36	4,84	13,68	30,52	2,92	58,00	
Sistema Convencional												
0-5	6,2	4,9	1,54	0,12	6,06	8,07	8,19	14,13	56,7	5,03	111,9	
5-15	5,1	2,2	0,66	0,6	8,79	3,14	3,74	11,93	26,1	3,94	48,12	
15-30	4,9	1,7	0,49	0,7	8,99	2,33	3,03	11,32	20,6	3,15	36,62	

SB: soma de bases; V%: saturação de bases; CTC1 = capacidade de efetiva de troca de cátions; CTC2: capacidade de troca de cátions a pH 7; e H+Al = acidez potencial.

Os solos dos sistemas estudados apresentaram-se eletronegativos, com valores de pH próximos de 5. Esses valores de ΔpH, elevados e negativos, indicam que os solos têm predominância de cargas negativas, adsorvendo maior quantidade de cátion. Embora os teores de matéria orgânica obtidos indiquem um maior acúmulo e ciclagem de nutrientes no Sistema Agroecológico, quando comparado com o sistema convencional, os resultados não estão refletindo, por enquanto, diferenças estatísticas em relação a nutrientes disponíveis na fase mineral do solo entre os dois sistemas. No entanto, o acúmulo de matéria

orgânica em condições de mineralização lenta dos resíduos orgânicos é uma alternativa para estocar nutrientes e garantir a ciclagem de nutrientes. Contudo, os dados mostram o maior poder de resiliência dos solos sob Manejo Agroecológico, que daquele manejado convencionalmente.

4.4. Percepção e caracterização qualitativa dos impactos ambientais dos sistemas de manejo

4.4.1. Sistema sob Manejo Agroecológico (SA)

A percepção e caracterização qualitativa dos impactos foram feitos utilizando-se apenas um método de avaliação de impactos ambientais – matriz de interação – devido à sua potencialidade de aplicação para avaliar e analisar impactos ambientais. Esta metodologia tem sido utilizada muito em estudos de impactos ambientais e seus respectivos relatórios (EIA-RIMA). No entanto, deve-se ressaltar que, além do método empregado neste trabalho, existem outros que também apresentam potencialidades e limitações.

A matriz de interação relativa à identificação e caracterização qualitativa dos impactos ambientais do SA, referente à fase de transição agroecológica, é apresentada na Quadro 15. As características apresentadas nesta figura são: valor, ordem, espaço, tempo, dinâmica e plasticidade.

Pode-se observar, na fase de implantação, 10 atividades impactantes (linhas), que multiplicadas pelo número de 35 fatores ambientais relevantes (colunas), perfazem 350 possíveis relações de impacto ambientais para toda a matriz.

Para cada um dos compartimentos ambientais analisados, foram contabilizados no Meio Físico (MF) 160 (45,71%), Meio Biótico (MB) 140 (40%) e Meio Antrópico 50 (14,28 %) possíveis relações de impacto. Os MF e MB juntos apresentaram 300 (85,71%), possíveis relações de impacto, 71,43% a mais de possíveis relações de impactos que no MA.

Com relação ao número efetivo de relações de impactos ambientais, a matriz permitiu identificar e caracterizar qualitativamente 215 relações de impacto ambiental, correspondendo aproximadamente a 61,43% de sua capacidade total. Dentre essas relações efetivas, 84 foram identificadas no MF (52,5% da sua capacidade total), sendo que seus compartimentos ambientais ar, água e solo apresentaram 19, 23 e 42 dessas relações, correspondendo,

respectivamente, a 11,87, 14,37 e 26,25% da capacidade total do compartimento (MF). No meio biótico foram identificadas 84 relações de impacto (60% da sua capacidade total), sendo que 24, 30 e 30 destas relações foram identificadas nos compartimentos ambientais: flora, fauna e microrganismos, respectivamente, equivalendo a 17,14, 21,43 e 21,43% da capacidade total de cada um destes compartimentos. No meio antrópico (compartimento homem), por sua vez, registraram-se 46 relações correspondentes a 92% da sua capacidade total, sendo que 40% destas relações de impactos positivos foram encontradas no aspecto de saúde pública e vulnerabilidade tecnológica.

Quanto ao critério valor, foram identificadas, em toda a matriz, 215 (100%) relações de impacto positivo e nenhuma relação de impacto negativo nos diferentes componentes e compartimentos analisados. Distribuindo-as nos componentes ambientais analisados, tem-se que 39; 39 e 21,40% destes impactos foram identificados no MF, MB e MA, respectivamente.

Quanto ao critério ordem, identificaram-se em toda a matriz, 179 relações de impactos diretos e 39 relações de impacto indireto, ou seja, 83,25 e 16,74%. Sendo que 32,09, 38,14 e 13,49% dos impactos diretos 6,04, 2,32 e 8,37% dos impactos indiretos foram identificados no MF, MB e MA, respectivamente. Distribuindo-as nos compartimentos ambientais analisados dentro de cada meio, têm-se dez relações de impactos diretos e nove relações de impactos indiretos no ar (14,49 e 69,23%), 20 relações de impactos direto e três relações de impactos indiretos na água (27,53 e 40%), sendo que no solo identificaram-se um total 40 impactos diretos e dois indiretos (57,97 e 11,11%). No MB foram identificadas 82 relações de impactos diretos e cinco relações de impactos indiretos, correspondendo a 32,13 e 2,32% do total das relações identificadas, respectivamente, distribuindo-as nos compartimentos ambientais analisados no referido meio tem-se maior quantidade de relações de impactos diretos. No compartimento flora foi 20:1 relações de impactos diretos e indiretos, macro-vida, com 30 e 0 relações de impactos diretos e indiretos e micro-vida com 30:0 diretos e indiretos, respectivamente. Dos 35 fatores ambientais componentes da matriz, todos mantiveram pelo menos uma relação de impacto com as 15

atividades impactantes. O MF e MB foram os que mais apresentaram relações efetivas de impacto, de acordo com os diferentes critérios.

4.4.2. Sistema sob Manejo Convencional (SC)

A matriz de interação, relativa à identificação e caracterização qualitativa dos impactos ambientais do SC, é apresentada no Quadro 16.

Pode-se observar, na fase de implantação, nove atividades impactantes, que multiplicadas pelo número de 35 fatores ambientais relevantes, perfazem 315 possíveis relações de impactos ambientais para toda a matriz.

Para cada um dos compartimentos ambientais analisados, foram obtidos no Meio Físico (MF) 144 (45,71%), Meio Biótico (MB) 126 (40%) e Meio Antrópico 50 (14,86 %) possíveis relações de impactos. Os MF e MB, juntos apresentaram 270 (85,71%) possíveis relações de impactos, 70,85% a mais de possíveis relações de impactos que no MA.

Com relação ao número efetivo de relações de impactos ambientais, a matriz permitiu identificar e caracterizar qualitativamente 136 relações de impactos ambiental, correspondendo a, aproximadamente 43,17% de sua capacidade total. Dentre essas relações efetivas, 64 foram identificadas no MF (44,44% da sua capacidade total), sendo que seus compartimentos ambientais ar, água e solo apresentaram 13, 17 e 34 dessas relações, correspondendo, respectivamente, a 9,03; 11,80 e 23,61% da capacidade total do compartimento (MF). No meio biótico foram identificadas 53 relações de impactos (42,06% da sua capacidade total), sendo que 13, 20 e 20 destas relações foram identificadas nos compartimentos ambientais: flora, fauna e microrganismos, respectivamente, equivalendo a 10,32; 15,87 e 15,87% da capacidade total de cada um destes compartimentos. No meio antrópico (compartimento homem), por sua vez, registraram-se 19 relações correspondentes a 42,22% da sua capacidade total,

sendo que 23,6% destas relações de impactos positivos foram encontradas no aspecto de saúde pública e vulnerabilidade tecnológica.

Quadro 16 – Matriz de interação para identificação e caracterização qualitativa de impactos ambientais em sistemas de manejo sob enfoque convencional. Fonte: Adaptado de ARRUDA (2000)

Fase	Atividades Impactantes	Componentes Ambientais																																			
		Meio Físico												Meio Biótico										Meio Antrópico													
		Ar				Água				Solo				Flora				Macro-Fauna-Vegeta				Micro-Vida															
		Intercâmbio gasoso	Temperatura	Erosão eólica	Umidade relativa	Radiação solar	Retenção-estoque	Erosão hídrica	Impactos das gotas-chuva	Interação-água-nutrient	FL-Livre-MOS	FL-Oclusa-MOS	S. Húmicos	Citagem de nutrientes	Resiliência	CTC	SB	Espécies epifitas	Base genética	Diversidade de espécies	Espécies terrestres	Raízes	mamíferos	Artrópodes	Moluscos	Lambrises	Amebas	Algas	Fungos	Bactérias	Diversidade populacional	Saúde pública	Emprego	Paisagismo	Vulnerabilidade tecnológica	Estrutura fundiária	
Já Implantado	Capina e queima dos resíduos vegetais	NDLCYS	NDROTV	-	NDLCAV	NDLOAS	NDLOYV	NDLOAV	NDLOAV	NDLOAV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	
	Eliminação das plantas espontâneas	NDLCYV	-	NDLCYV	NILCYV	-	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	NDLCYV	
	Fertilizações periódicas com adubos sintéticos							PNDLCYV	PNDLCYV	PNDLCYV	PNDLCYV	PNDLOYV		NDLOAV	PDLCTV	PDLCTV																					
	Ocorrências de intoxicações																																				
	Estabelecimento de café sem estratos arbóreos	NILOAV	NILOAV	NDLCAS	NILOAV	-	NDLECAV	NDLCAS	NDLYV	NILCCV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCAS	NDLCVAV	NDLCAS	NDLCVAV	NDLCAS	NDLCVAV	NDLCAS	NDLCVAV	NDLCAS	NDLCVAV	NDLCAS	NDLCVAV	NDLCAS	NDLCVAV	NDLCAS	-	-	NILCAV	NDLCAS	
	Não cobertura do solo e produção de biomassa	NDLCVAV		NDLCYS			NDLCVAV	NDLCAS	NDLCYV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV				NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV	NDLCVAV
	Estabilidade laboratorial no campo e fixação do núcleo familiar																																				NDLECAV
	Seguridade alimentar e proteção da saúde dos consumidores																																				NDLECAV
	Independência tecnológica																																				NDLECAV

Valor:

Positivo (P)
Negativo (N)

Ordem:

Direto (D)
Indireto (I)

Espaço:

Local (L)
Regional (R)
Estratégico (E)

Características dos impactos:

Tempo:

Curto Prazo (C)
Médio Prazo (M)
Longo Prazo (L)

Dinâmica:

Temporário (T)
Cíclico (C)
Permanente (A)

Plástica:

Reversível (V)
Irreversível (S)

Quanto ao critério valor, foram identificadas, em toda a matriz, 136 (100%) relações de impactos negativos em relação às atividades impactantes identificadas. Distribuindo-as nos componentes ambientais analisados, têm-se que 64 (47,05%); 53 (38,97%) e 19 (13,01%) destes impactos foram identificados no MF, MB e MA, respectivamente. Destes impactos negativos, um total de 34 (25%) foram observados no solo e 17 impactos no meio água.

Quanto ao critério ordem, identificaram-se em toda a matriz, 125 relações de impactos diretos e 12 relações de impactos indiretos. Sendo que 47,2, 43,2 e 9,60% dos impactos diretos 4,8; e 4,8% dos impactos indiretos foram identificados no MF e MA, respectivamente. Dos 35 fatores ambientais componentes da matriz, todos mantiveram pelo menos uma relação de impactos direto-negativo ou indireto-negativo com as atividades impactantes do sistema de manejo convencional. O MF e MB foram os que mais apresentaram relações efetivas de impactos de acordo com os diferentes critérios, o qual é explicada pelo maior número de fatores ambientais identificados.

A percepção e identificação qualitativa dos impactos ambientais descritos, usando o método da matriz de interação, se deu quando, a critério do autor, foi possível estabelecer alguma relação de impacto entre uma ação prevista (linha) e um determinado fator ambiental (coluna), a partir de sua percepção e caracterização qualitativa com base nos critérios de valor (impacto positivo ou negativo), ordem (impacto direto ou indireto), espaço (impacto local, regional e estratégico), tempo (impacto a curto, meio e longo prazo), dinâmica (impacto temporário, cíclico ou permanente) e plástica (impacto reversível ou irreversível). A idéia foi realizar uma avaliação qualitativa dos impactos ambientais decorrentes das atividades impactantes na fase de transição agroecológico para o sistema SA e operação para o sistema SC. Com base nesse suporte qualitativo, pode-se realizar uma quantificação dos impactos, uma vez que os conhecimentos quali-quantitativos são importantes. Através de processos participativos, a técnica usada pode permitir incorporar as opiniões dos atores sociais envolvidos em processos de desenvolvimento local e assim, contribuindo para compreensão,

sensibilização e conscientização dos problemas ambientais, uma vez que eles mesmos estarão envolvidos no processo e identificando os impactos.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de avaliar a potencialidade do manejo de um sistema agrícola sob enfoque agroecológico na melhoria da qualidade do solo, por meio de indicadores associados à matéria orgânica; duas propriedades da Zona da Mata de Minas Gerais tiveram os solos amostrados e analisados. As amostras foram coletadas em três profundidades 0–5, 5–15 e 15–30 cm. Coletas da manta orgânica foram também realizadas em cada um dos sistemas, usando um gabarito de madeira de 0,16 m² lançado ao acaso em dez pontos de cada parcela de ± 0,5 ha. Avaliações das propriedades químicas, matéria orgânica Leve-Livre, matéria orgânica Leve-Oclusa, frações de carbono orgânico extraídas em um gradiente de oxidação decrescente, substâncias húmicas, conteúdo de nutriente na manta orgânica e uma percepção qualitativa dos impactos ambientais foram realizadas. Diferenças estatisticamente significativas foram encontradas no teor de MOS; FL-Livre, substâncias húmicas, as frações de carbono orgânico sob um gradiente de oxidação e manta orgânica. As FL-Livre, assim como as F1, F2 e F3 do gradiente de oxidação, indicaram ser avaliações mais sensíveis das mudanças do carbono orgânico do solo como resultado das práticas de manejo. A manta orgânica mostrou ser outro recurso que pode ser otimizado no SA, pois grandes quantidades de nutrientes foram encontradas, como reflexo do manejo deste sistema. A FL-Oclusa foi quantitativamente menor que a FL-Livre em ambos os sistemas. Isto provavelmente por perdas no peneiramento para a obtenção de

TFSA, ou que ela esteja sendo alocada nas frações argila e silte. Houve aumentos, embora não significativos, nos valores de matéria orgânica oclusa, CTC a pH 7, CTC_{efetiva}, SB, %V, P e K disponíveis. Decréscimo do Al³⁺ e (H+Al) foram também observados. O exercício de percepção e caracterização de impactos ambientais permitiu identificar no SA, 215 relações efetivas de impactos positivos, diretos e indiretos para meio físico, biótico e antrópico. Sendo que um total de 42% das relações dentro do meio físico foi observado no solo. Com base neste suporte qualitativo, pode-se quantificar os impactos ambientais, o que pode gerar, ao final, um conhecimento quali-quantitativo dos impactos, facilitando assim, a implementação de programas de monitoramento dos mesmos. O Sistema de Manejo sob Enfoque Agroecológico, em geral, apresentou uma melhoria da qualidade do solo em relação às propriedades químicas e matéria orgânica lábil, quimicamente protegida, indicando um maior poder de recuperação do solo. Isto deve ser promovido, o que pode resultar em uma boa alternativa em solos acidificados e pobres, além da sua contribuição como um mecanismo de seqüestro de carbono e participar na redução das concentrações de CO₂ na atmosfera, contribuindo assim com o novo conceito de cidadania planetária. A implementação do sistema agroecológico aumentou os conteúdos de matéria orgânica e conseqüentemente, potencializou a recuperação, conservação do solo e disponibilidade de nutrientes para as plantas, aspectos de grande relevância para manter a produtividade do solo a longo prazo, principalmente em sistemas agrícolas que são manejados com poucos recursos externos por agricultores descapitalizados e assentados em solos distróficos, com relevos ondulados e montanhosos; que são obrigados a explorar suas terras, além da capacidade de suporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABER, J.D.; MELILO, J.M. **Terrestrial ecosystem**. Orlando: Reinhart Winston, 1978. 428p.
- ACSELRAD, H. Desenvolvimento sustentável: a luta por um conceito. **Proposta**, Rio de Janeiro, n.56, p.5-8, 1993.
- ADRIAANSE, A. Environmental policy performance indicators: a study on the development of indicators for environmental policy in the Netherlands. The Hague: Ministry of Housing, Physical Planning and Environment. **Resumo na base de dados do CNPMA**, Jaguariúna. 1993. 175p.
- AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para cultura em sucessão. In: FRIES, M.R. e DALMOLIN, R.S.D. (Coord.) **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Pallotti. p.76-111, 1997.
- ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. New York: John Wiley, 1977. 467p.
- ALMEIDA, J.; NAVARRO, Z. Reconstruindo a agricultura: ideais na perspectiva de um desenvolvimento rural sustentável. Porto Alegre: Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p.243-289. 1998.

- ALTIERI, M A. **Agroecologia: a bases científicas da agricultura alternativa.** Edição em Língua Portuguesa. Federação de órgãos para Assistência Social e Educacional. Projeto Tecnologia Alternativa. Rio de Janeiro. 1989. 237p.
- ALTIERI, M.A. **Biodiversidad, agroecología y manejo de plagas.** Valparaíso: CETAL Ediciones, 1992. não paginado.
- ANDERSON, J.M.; SWIFT, M.J. Decomposition in tropical forests. In: SUTTON, S.L. et al. (Ed.) **Tropical Rain Forest: ecology and management.** London: Blackwell Scientific, p.287-309. 1983
- ANDRADE, A.G. **Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas.** Seropédica: UFRRJ, 1997, 182p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, 1997.
- ARRUDA, P.R.R. **Avaliação qualitativa de impactos ambientais decorrente de empreendimentos hidrelétricos.** Viçosa: UFV, 2000. 147p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- ARSHAD, M.A; MARTIN, S. **Identifying critical limits for soil quality indicator in agro-ecosystems.** Elsevier. Agricultura, Ecosystems and Environment 88, p.153-160, 2002
- ATTIWILL, P.M. Nutrient cycling in *Eucalyptus obliqua* (L'Herit.). III. Growth, biomass and net primary production. **Australian Journal of Botany**, v.27, p.439-458, 1979.
- BAILLIE, I.C. Soils of the humid tropics. In: Richards, P.W. (Ed.) **The tropical rain forest: an ecological study.** Cambridge: Cambridge University Press, p.256-286, 1996.
- BAILLIE, I.C. Soil characteristics and classification in relation to the mineral nutrition of tropical wooded ecosystems. In: Proctor, J. (Ed.) **Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems.** Oxford: Blackwell Scientific Publications, p.15-26, 1989.
- BARROS, N.F.; REIS, M.G.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS; N.R.F (Ed.). **Relação solo-eucalipto.** Viçosa, p.265-302, 1990
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Aspectos da nutrição florestal em solos tropicais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO: SOLO SUELO, 13. Águas de Lindóia, CD Rom Águas de Lindóia: SLCS, 1996.

- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. 430p.
- BARROS, N.M.; BRAYN C. **Sustentabilidade de produção de florestas plantadas na região tropical**. UFV-University of Florida. Gainesville, Florida, Fevereiro, 2000. 130p.
- BENBROOK, C.M.; GROTH III, E. **Indicators of the sustainability and impacts of pest managements systems**. Disponível on-line em <http://www.pmac.net/aaas.htm>. 1996.
- BENITES, V.M., KER, J.C; MENDOÇA, E.S. Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas como auxiliar na identificação de diferentes solos da região Sul do Brasil – VI RCC. In: Curcio et al. (Ed.). **Guia de excursão de estudos de solo nos estados de Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. EMBRAPA Florestas, Colombo, p.184-192, 2000.
- BLAIR, G.J.R., LEFROY, D.B.; LISLE, L. Soil carbon fraction based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.46, p.1459-1466, 1995.
- BOUNI, C. **Indicateurs de développement durable: l'enjeu d'organiser une information hétérogène pour préparer une décision multicritère**. Paris: AScA. 14p. 1996. Trabalho apresentado em: Colloque International. 9-11/set 1996. Abbay de Fontevraud - Indicateurs de développement durable.
- BRINDER. U. **Manual de leguminosas de Nicaragua**. Tomo I y II. PASOLAC-EAGE. Estelí, Nicaragua. Marzo, 1997. 528 p.
- BROWN JR., K.S. Insetos como rápidos e sensíveis indicadores de uso sustentável de recursos naturais. In: MARTOS, H.L.; MAIA, N.B. (Coord.). **Indicadores ambientais**. Sorocaba: ESALQ/PUC, p.143-145. 1987
- CAMINO, R.; MÜLLER, S. **Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales: bases para establecer indicadores**. San José: IICA. 134p. 1993 (Série Documentos de Programas IICA, 38).
- CAMPANELLA, L. Biosensors and bioindicators. In: INTERNATIONAL CONGRESS: ENERGY, ENVIRONMENT AND TECHNOLOGICAL INOVATION, 3, 1995, Caracas. Proceedings... Caracas: Univ. Central de Venezuela, v.3, p.225-231. 1995

- CARTER, L. **Environmental impact assessment**. Oklahoma-USA: Mcgraw Hill, 1977. 331p.
- CARVALHO, H.M. **Desenvolvimento sustentável e padrões de sustentabilidade: contextualização para o Estado do Mato Grosso**. Cuiabá: PRODEAGRO/PNUD BRA/91/015. Cap. 2: Desenvolvimento sustentável e sustentabilidade. 1993
- CARVALHO, H.M. **Padrões de sustentabilidade: uma medida para o desenvolvimento sustentável**. Curitiba, 1993. 26p.
- CASTRO, S.F. **Conservación de suelos**. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas. Março, 1997. 315p.
- CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO E INVESTIGACION AMBIENTAL Y TERRITORIAL (CIDIAT). **Metodologías de evaluación de impactos ambientales**. Universidad Centroamericana de Nicaragua, CIDIAT, PRODESARROLLO. Managua, Nicaragua, 1999. 70p.
- CHAN, K.Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture ley. **Soil Science**, v.166, n.1, p.61-67, 2001.
- CHRISTENSEM, B.T. Organic matter in soil – structure, function and turnover. DIAS Report nº 30. **Plant Production**, Tjele, 2000. p.95.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação. Antonio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito Gontijo Guimarães, Victor Hugo Álvares V., editores. – Viçosa, MG. p.1541-160. 1999.
- CORREIA, M.E.F.; ANDRADE, A.G. Formação de serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese. 1999. 508p.
- DANIEL, O., COUTO, L., SILVA, E. GARCIA, R., PASSOS, M.C.A.; JUCKSCH, I. Propostas de um conjunto mínimo de indicadores socioeconômicos para o monitoramento da sustentabilidade em sistemas agroflorestais. **R. Árvore**, Viçosa, v.24, n.3, p.283-290, 2000.

- DELITTI, W.B.C. Aspectos dinâmicos da serapilheira de uma floresta implantada de *Pinus elliottii* Engelm. var *elliottii*. (Tese de Mestrado). Instituto de Biociências. USP. 130p. 1982.
- DORAN, J.W. SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, v.56, p.1-54, 1996.
- DORAN, J.W.; JONES, A.J.; ARSHAD, M.A.; GILLEY, J.E. Determinants of soil quality and health. In: Lal, R. (ed) Soil Quality and Soil Erosion. Boca Raton, CRC Press. Ediciones, Valparaíso, p.17-36, 1999.
- DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Ed.) **Dinamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: Niftal, Project, p.33-67, 1989.
- ESQUIVEL, J.; IBRAHIM, M.; JIMENEZ, F.; PEZO, D. **Distribución de nutrientes en el suelo en asociaciones de poró (*Erytrina berteroana*), madero negro (*Gliricidia sepium*) e *Arachis pintoï* con *Brachiaria brizantha*. Finca experimental “Los Diamantes”**. Ministerio de Agricultura y Ganaderia de Costa Rica. 2000. 5p.
- ETCHEVERS D.J.; FISCHER R.A.; VIDAL, I.; SAYRE, K.; SANDOVAL, M.A.; OLESCHKO K.; ROMAN, S. Labranza de conservación, índices de calidad del suelo y captura de carbono. Colegio de Posgraduados. CIMNYT. Universidad Autónoma de México. Simposium Internacional de Labranza de conservación, Culiacán-Mazatlán, Sinaloa. 24 – 27 de enero 2000.
- FASSBENDER, H.W. **Modelos edafológicos de sistemas agroforestales**. 2.ed. Turrialba: Centro Agronômico Tropical de Investigacion y Enseñanza. 491p. 1993
- FAVERO, C. **Potencial de plantas espontâneas e de leguminosas para adubação verde**. Viçosa: UFV, 1998. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- FELLER, C. Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Application aux sols tropicaux à textures grossières très pauvres en humus. **Science du Sol**, Paris, v.4, p.339-346, 1979.

- FERNANDES, E.C.M.; MOTAVALLI, P.P.; CASTILLA, C. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. ELSEVIER. **Geoderma**, v.79, p.49-67, 1997.
- FERREIRA, M.G.M. **An analysis of the future productivity of *Eucalyptus grandis* plantations in the cerrado region in Brazil: a nutrient cycling approach.** Vancouver: University of British Columbia, 230p. (Tese Ph.D.). 1984.
- FRANCO, F.S. **Sistemas agroflorestais: uma contribuição para a conservação dos recursos naturais da Zona da Mata de Minas Gerais.** Viçosa: UFV, 2000. 147p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- FREITAS, V.H. **Leguminosas para cobertura do solo e produtividade das culturas em sucessão.** Porto Alegre: UFRGS, 1987. 59p.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Demográfico 1996. Rio de Janeiro, 1997.
- GOLCHIN, A.; BALDOCK, J.A.; OADES, J.M. A model linking organic matter decomposition, chemistry, and aggregate dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F.; STEWART, B.A. (Ed.) **Soil processes and the carbon cycle.** Avd. in Soil Sci. Boca Raton, CRC Press, p.245-266. 1997
- GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state ¹³C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. **Aus. J. Soil Res.**, v.32, p.285-309, 1994.
- GONZALEZ, M.I.M.; GALLARDO, J.F. El efecto hojarasca: una revisión. **Anales de edafología y Agrobiología**, Madrid, v.41, p.1129-1157, 1982.
- GREGORICH, E.G.; ELLERT, B.H. Light fraction and macroorganic matter in mineral soils. In: CARTER, M.R. (Ed.) **Soil sampling and methods of analysis.** Canadian Society of Soil Science, Boca Raton, Lewis Publ. p.397-407, 1993.
- GRILLO, A.V., GUIMARÃES C.M, MACHADO P.O.A., PORTOCARRERO H. Agregados e sua relação com estoque de carbono orgânico de um latossolo de cerrado, sob diferentes sistemas de preparo do solo e rotações de culturas. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HUMICAS; 19 a 22 de novembro de 2001. Viçosa: UFV, Departamento de Solos. p.52-55. 2001.

- HAAG, H.P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas: Fundação Cargill. 1985. 114p.
- HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E. et al. **Environmental Indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development**. Washington: WRI. 53p. 1995.
- HATCHUEL, G.; POQUET, G. **Indicateurs sur la qualité de vie urbaine et sur l'environnement**. Paris: Credoc. 58p. 1992. (Document intermédiaire).
- HAYNES, R.J. Labile organic matter fractions and aggregate stability under short-term, grass-based ley. **ELSEVIER. Soil Biology and Biochemistry**, v.31, p.1821-1830, May, 1999.
- INSTITUTO MIXTO DE AYUDA SOCIAL (IMAS). **La agricultura Orgánica: Una alternativa a la economía para mejorar la calidad de vida rural**. San José, Costa Rica: Instituto Mixto de Ayuda Social. 1998. 98 p.
- IZAC, A.M.N. Developing policies for soil carbon management in tropical regions. **Geoderma**, Amsterdam, v.79. p.261-276, 1997.
- KAUR, B.; GRUPTA, S.R.; STINGH, G. Soil carbon, microbial activity and nitrogen availability in agroforestry systems on moderately alkaline soils in northern India. **ELSEVIER. Applied Soil Ecology**, v.15, p.283-294, 2000.
- KER, J.C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil**. Viçosa: UFV, 1995. 181p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- KOLMANS, E.; VASQUEZ, D. **Manual de agricultura ecológica: una introducción a los principios básicos y su aplicación**. Servicio de Información Mesoamericano sobre Agricultura Sostenible-MEALA. Managua, Nicaragua. 1.ed., 1996. 219p.
- LEE, K.E.; CORRELL, R.L. Litterfall and its relationship to nutrient cycling in a South Australian dry sclerophyll forest. **Aust. J. Ecol.**, v.3, p.243-252, 1978.
- LEKHA, A.; GUPTA, S.R. Decomposition of *Populus* and *Leucaena* leaf litter in an agroforestry system. **Environmental Science and Forestry**, New York, v.15, p.97-108, 1989.

- LOGINOW, W.; W WISNIEWSKI, S.S.; CONET AND B. CIESCINKA. Fractionation organic carbon based on susceptibility to oxidation. **Pol. J. Soil Sci.**, v.20, p.47-52, 1987.
- MACHADO, L.M.C.P. Qualidade ambiental: indicadores quantitativos e perceptivos. In: MARTOS H.L.; MAIA, N.B. (Coord.). **Indicadores ambientais**. Sorocaba: ESALQ, p.15-21, 1987
- MADEIROS, M.L. **Carbono orgânico extraído por soluções de KNO₃, K₂SO₄ e NaHSO₄ e sua relação com outras formas de carbono do solo**. Viçosa: UFV. 1999. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- MARQUES, D.M. **Indicadores de sustentabilidade**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, 17.11.1998
- MARTOS, H.L.; MAIA, N.B. (Coord.). **Indicadores ambientais**. Sorocaba: ESALQ USP/PUCSP, 1997. 266p.
- MARZALL, K. **Indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas**. Universidade Federal de Rio Grande do Sul. (Tese de Doutorado). 1998. 201p.
- MAZZA, J.A.; SILVA, M.M; PRATA, N.P; SAMAIA, A. O manejo racional dos solos e a sustentabilidade na cafcultura irrigada. **Informações agrônômicas**, n.94, Junho 2001, POTAFOS.
- MENDOÇA, E.S. Oxidação da matéria orgânica e sua relação com diferentes formas de alumínio de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.925-30, 1995.
- MENDONÇA E.S.; OLIVEIRA T.H.F. Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., Ponta Grossa, 2000. **Anais...** Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais. p.70-81. 2000.
- MENDONÇA, E.S; LEITE C.L.F.; NETO F. P.S. Cultivo do café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.25, n.3, p.375-383, 2001.
- MILLER, H.G. The influence of stand development on nutrient demand, growth and allocation. **Plant Soil**, v.168/169, p.225-232, 1995.

- MITCHELL, G. Problems and Fundamentals of Sustainable Development Indicators.1997. Disponível on-line em <http://www.lec.leeds.ac.uk/people/gordon.html>
- MOLLOY, L.F.; SPEIR, T.W. Studies on a climosequence of soil in tussock grasslands. 12. Constituents of the soil light fraction. **N. Z. J. Soil Sci.**, v.20, p.167-177, 1997.
- MONEGAT, C. **Plantas de cobertura del suelo: características y manejo en pequeñas propiedades.** Chapecó: CIDICCO. 1991. 337p.
- MORALES, R.M. **Ciclagem de nutrientes minerais em mata atlântica de encosta e mata sobre restinga, na Ilha do Cardoso. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes.** Departamento de Ecologia da I.B.U.S.P. 1993.
- MOREIRA, I.V.D. **Avaliação de impacto ambiental.** Rio de Janeiro-RJ: FEEMA/RJ. 1985. 34p.
- MURAGE, W.E.; KARANJA, N.K.; SMITHSON P.C.; WOOMER P.L. **Diagnostic indicator of soil in productive and non-productive smallholders fields of Kenya's Central Highlands.** ELSEVIER. Agriculture, Ecosystems and Environment 79, p.1-8, 2000.
- NACIONES UNIDAS. **Programa 21: un plano de acción en pro del desarrollo sustentable - Programa 21: un programa de acción de las Naciones Unidas de Rio - Declaracion de Rio sobre el medio ambiente y el desarrollo.** New York: Naciones Unidas, 1998. 325p.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, J.T. **A natureza não tem palito de fósforo!: Quiema rápida ou queima mineralização lenta de resíduos florestais?** Opinião. (Sem data e ano de publicação).
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, J.T. **Fósforo em solo e planta em condições Tropicais.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos. 1999. 399p.
- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M. Aspectos nutricionais e ambientais do eucalipto. **Revista Brasileira Silvicultura**, v.18, p.10-17, 1996.
- PASSOS, R.R. **Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho sob duas coberturas vegetais.** Viçosa: UFV, 2000. Tese

(Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.

PERES, J.R.R.; SUHET, A.R.; VARGAS, M.A.T.; DROZDOWICZ, A. Produção de resíduos vegetais em áreas de cerrados do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, p.1037-1043, 1983.

PINHEIRO E.F.M., PEREIRA, G.M, ANJOS, L.H.C, EBELING, G.A. Frações da matéria orgânica em diferentes sistemas de cultivo de oleráceas e cobertura do solo, após seis anos de cultivo em Latossolo Vermelho Amarelo. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTANCIAS HUMICAS, **Anais...** 19 a 22 de novembro de 2001. Viçosa: UFV, Departamento de Solos. p.126-127. 2001.

POGGIANI, F.; STAPE, J.L.; GONÇALVES, M.J.L. Indicadores de sustentabilidade das plantações florestais. ESALQ/USP. **Série Técnica IPEF**, v.12, n.31, p.33-44, abr., 1998.

PROCTOR, J. Tropical Forest litterfall. I. Problems of data comparison. In: SUTTON, S.L. et al. (Ed.) **Tropical rain Forest: ecology and management**. London: British Ecological Society, p.267-273. 1983

RECURSOS MUNDIALES - GLOSAD 2000-2001. **La gente y los ecosistemas: Se deteriora el tejido de la vida**. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente; Banco Mundial; Instituto de Recursos Mundiales. septiembre 2000. Elsevier Science. ISBN0 080437818. <http://www.elsevier.com/locate/worldsources>.

REIJNTJES, C. **Agricultura para o futuro: uma introdução à agricultura sustentável e de baixo uso de insumos externos**. Rio de Janeiro: SA-PTA, 324p. 1994

REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: Barros, N.F. e Novais, R.F. (Ed.) **Relação solo-eucalipto**. Vinosa: Ed. Folha de Viçosa, p.265-301,1990.

RESTREPO J. **El suelo, la vida y los abonos orgánicos**. Managua, Nicaragua: SIMAS, Marzo, 1998. 86p.

RIBEIRO, A.C; GUIMARÃES, G.P.T.; ALVAREZ, V.V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa-MG, Brasil. 359p. 1999

- ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E.J.; PEREIRA, J.A.A. effects of fire on soil organic matter in “Cerrado sensu-stricto” from Southeast Brazil as revealed by changes in $\delta^{13}C$. **Geoderma**, v.95, p.141-160, 2000
- ROSCOE, R., BUURMAN, P., VELTHORST, E.J., VASCOCELLOS, C.A. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by the $^{13}C/^{12}C$ isotope ratio in a Cerrado’s oxisol. **Geoderma**, v.104, p.185-202, 2001.
- SANCHES, P.A. Science in agroforestry. **Agroforestry Systems**, v.30, p.5-55, 1995.
- SANCHEZ, P.A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Wiley e Sons. 1976. 618p.
- SANTOS A.G.; CAMARGO, F. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 508p.
- SCHERR, S.J., YADACV, S. **Degradación de tierras en el mundo en desarrollo: asuntos de interés y opciones de política para el año 2000**. Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias. 2000. 15p.
- SCHOLES, M.C.; SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; SANCHEZ, P.A.; INGRAM, J.S.I.; DALAL, R. Soil fertility research in response to the demand for sustainability. In: WOOMER, P.L., SWIFT, M.J. (Ed.) **The Biological Management of Tropical Soil Fertility**. Chichester: John Wiley e Sons, p.1-14, 1994.
- SHANG, C.; TIESSEN H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. **Soil Sci.**, v.162, n.11, p.795-807, 1997.
- SHANG, C.; TIESSEN, H. Sequential versus parallel density fractionation of soil-sized organo-mineral complexes of tropical soils using metatungstate. **Soil Biol. Biochem.**, v.33, p.259-262, 2001.
- SILVA, C.A; MACHADO, P.L.O.A. **Seqüestro de carbono em ecossistemas agrícolas: estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solo tropicais**. EMBRAPA-SOLOS. Documentos No. 19. ISSN 1517 – 2627. Nov. 2000.
- SILVA, E. **Técnicas de avaliação de impactos ambientais**. Centro de Produções Técnicas. Viçosa, MG, Brasil, 1999. 64p.

- SIQUEIRA J.O., MOREIRA F.M.S. **Microbiologia do solo e a sustentabilidade agrícola: Enfoque em fertilidade do solo e nutrição vegetal: Reunião de fertilidade do solo e nutrição de plantas.** Universidade de Amazonas; Faculdade de Ciências Agrárias; Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental; Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia. p.1-36. 1997.
- SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biol. Biochem.**, v.32, p. 2099-2103, 2000.
- SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K.; DORAN, J.W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.62, p.1367-1377, 1998.
- SOHI. S.P., MAHIEU, N.; ARAH, J.R.M.; POWLSON, D.S.; MADARI, B e GAUNT, J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.65, n.4, p.1121-1128, Jul-Aug, 2001.
- SPOSITO, G. **The chemistry of soil.** New York: Oxford Press, 1989. 227p.
- SWAMY, H.R.; PROCTOR, J. Litterfall and nutrient cycling in four rain forests in the Sringeri of the Indian Western Ghats. **Global Ecology and Biogeography Letters**, Oxford, v.4, p.155-165, 1994.
- SWIFT, M.J.; WOOPER, P. Organic matter and the sustainability of agricultural systems: definition and measurement. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. (Ed.) **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture.** Chichester: John Wiley e Sons, p.3-18. 1993.
- SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. **Decomposition in terrestrial ecosystems.** Berkeley: University of Califórnia Press, 1979. 372p.
- TANK-TORNISELO, S.M. Microrganismos como indicadores de impactos ambientais. In: MARTOS, H.L.; MAIA, N.B. (Coord.). **Indicadores ambientais.** Sorocaba: ESALQ-USP; PUCSP, p.157-165, 1997
- THE WORLD BANK (Washington, D.C.). **The forest sector.** Washington, D.C., 1991. 52p.
- THENG, B.K.G. Clay-humic interactions and soil aggregate stability. In: RENAGASAMY, P. ed. Soil structure and aggregate stability. Seminar Proceeding, Institute of Irrigation and Salinity Research, Tatura, Australia, 1987.

- TOUTAIN, F. Lês litières: siège de systèmes interactifs et moteur de ce interactions. **Revue du Ecologie et Biologie du Sol**, Paris, v.24, p.231-242, 1987.
- UNITED NATIONS. **Agenda 21** (Conference on Environment and Development). Geneva: United Nations, 1992, 510p., com várias numerações.
- WAKSMAN, S. **Principles of soil microbiology**. 2. ed. Baltimore: Williams,. 894p. 1952
- WHITMORE, T.C. Tropical forest nutrients, where do we stand? In: Proctor, J. (Ed.) **Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems**. Oxford: Blackwell Scientific Publications..Westview Press, Boulder, p.1-13, 1989.
- WOODS, P.V.; RAISON, R.J. Decomposition of litter in subalpine forests of *Eucalyptus delegatensis*, *E. pauciflora*, and *E. dives*. **Aust. J. Ecol.**, v.8, p.289-29, 1989.
- YOEMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Commun. in Soil Sci. Plan Anal.**, v.19, p.1467-1476, 1988.