

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS**

CARMEN REGINA PEZARICO

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL

2009

INDICADORES DE QUALIDADE EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS

CARMEN REGINA PEZARICO

Engenheira Agrônoma

Orientador: Professor Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como requisito do Programa de Pós Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Dourados

Mato Grosso do Sul

2009

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD

634.998171	Pezarico, Carmen Regina
P521i	Indicadores de qualidade em sistemas agroflorestais. / Carmen Regina Pezarico. – Dourados, MS : UFGD, 2009.
	67f.
	Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Tadeu Vitorino
	Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados.
	1. Sistema agroflorestal – Manejo – Mato Grosso do Sul. 2. Biomassa microbiana. 3. Solos- Atributos físicos. I. Título.

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS**

por

Carmen Regina Pezarico

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
MESTRE EM AGRONOMIA.

Aprovada em: 31/0702009

Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino

UFGD - FCA

Orientador

Pesquisador Dr. Fábio Martins Mercante

Embrapa Agropecuária Oeste

Co-orientador

Prof. Dr. Omar Daniel

UFGD – FCA

Co-orientador

Dr. Rogério Ferreira da Silva

UEMS

Membro titular

“Tudo quanto fizerdes, por palavra ou por obra, fazei-o em nome do Senhor Jesus, dando por ele graças a Deus Pai.”

Colossenses 3,17

À minha querida avó, Carmina Teixeira Dias, exemplo de amor, força, coragem e determinação.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as provações que fizeram parte desta caminhada, pois todas as vitórias me fortaleceram diante da fé;

À Universidade Federal da Grande Dourados e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia - Produção Vegetal, pela oportunidade;

À FUNDECT, pela concessão da bolsa de estudos que possibilitou a realização deste trabalho;

À AGRAER, em especial ao Engenheiro Agrônomo Osmar Lioji Tsurumaki, pela amizade que muito estimo e por tornar essa realização possível;

À *Embrapa Agropecuária Oeste*, por disponibilizar os materiais, condições e instalações para que este trabalho pudesse ser realizado, aos funcionários e estagiários do Laboratório de Microbiologia do Solo e Laboratório de Solos pelo auxílio;

Ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino e meu co-orientador Pesquisador Dr. Fábio Martins Mercante, pela amizade, apoio e dedicação que tiveram comigo nesta jornada;

À minha família, meus pais Milton Luiz Pezarico e Maria Salete Pezarico, minha irmã Giovanna Pezarico e meu cunhado Roger Pinto Siqueira, pelo amor, apoio e confiança;

À minha tia Marilete Felix Dias, por acreditar e torcer por esta vitória;

Ao querido Frei Nelson Rabelo, pela luz que a sua presença sempre trouxe para toda minha família;

Ao Rodrigo, por me fazer acreditar que as melhores conquistas são aquelas que menos esperamos e que a felicidade é um presente que dividimos;

À família De Pelegrin, Sr. Flori José e Sra. Lucilena, por me acolherem no seu convívio com tanto carinho;

Às minhas amigas Fernanda, Anelise, Cinthia, Denise e Janaina por tornarem meus momentos mais alegres nas suas companhias;

A todos os amigos que conquistei e que me conquistaram neste período em que passamos juntos pelas mesmas aflições e conquistas, em especial ao Anderson Cristian Bergamin, pela colaboração dispendida;

Aos colegas da Embrapa, Dr. Claudio, Suelma, Mauro, Euclides, Anderson, Érica, Clarice, Kadajah, Klemia, Claudia e Bianca, pela compreensão e pelo apoio.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Sistemas Agroflorestais	3
2.2 Qualidade do Solo	7
2.3 Indicadores de Qualidade do Solo	7
2.3.1 Indicadores Físicos	9
2.3.2 Indicadores Microbiológicos	11
2.3.3 Matéria Orgânica	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Caracterização da Área Experimental	16
3.2 Amostragens de Solo	22
3.3 Determinações Analíticas	23
3.4 Delineamento Experimental	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 Indicadores Físicos	25
4.2 Indicadores Biológicos- Biomassa Microbiana e Índices Derivados	32
5. CONCLUSÕES	43
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.	Caracterização das espécies florestais presentes nos SAFs A e B. Adaptado de Daniel et al. (2006).....	20
Quadro 2.	Atributos físicos em função dos diversos sistemas de uso do solo nas profundidades 0-5 cm e 5-10 cm	25
Quadro 3.	Distribuição de partículas por tamanho e carbono orgânico na camada de 0-10 cm para os diferentes ambientes estudados	30
Quadro 4.	Atributos microbiológicos em função uso do solo nos sistemas avaliados, na profundidade 0-10cm e 10-20cm	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	(a) SAF A com diversas espécies, com destaque para citrus (à esquerda), banana (ao fundo) e feijão guandu (à direita). (b) Vista da cobertura do solo e camada de serapilheira no SAF A.....	17
Figura 2.	(a) Plantas de bananeira com outras espécies arbóreas no SAF B. (b) Vista interna do SAF B com banana e outras espécies. (c) Camada superficial do solo e serapilheira no SAF B.....	18
Figura 3.	(a) Vista do local de amostragem do solo (entrelinha) na área de Lavoura de soja. (b) Lavoura ao centro, área de Mata (direita) e Eral (esquerda).....	18
Figura 4.	(a) Superfície do solo e serapilheira na área de Eral. (b) Sistema silvicultural com plantio de erva-mate (Eral).....	19
Figura 5.	(a) Área de vegetação natural (Mata) ao fundo, à frente plantio de soja (Lavoura). (b) Aspecto de mata fechada com densa camada de serapilheira	19
Figura 6.	Volume total de poros em função da Densidade do solo na profundidade 0-10cm.....	28
Figura 7.	Microporosidade em função do VTP para SOS sistemas avaliados na profundidade 0-5 cm	29
Figura 8.	Dendograma dos diferentes usos do solo, mostrando a distância euclidiana, de acordo com os atributos físicos avaliados nas profundidades de 0-5cm e 5-10cm.....	32
Figura 9.	Carbono da Biomassa microbiana (CBMS) do solo em função do teor de matéria orgânica (MO), considerando áreas sob diferentes vegetações e sistemas de uso do solo.....	34
Figura 10.	(a) Carbono da Biomassa, (b) Respiração Basal (C-CO ₂) e (c) Quociente metabólicos (<i>q</i> CO ₂) comparado em diferentes sistemas nas profundidades 0-10cm e 10-20cm	35

Figura 11.	Dendograma dos diferentes usos do solo, mostrando a distância euclidiana, de acordo com os atributos microbiológicos e matéria orgânica, avaliados na profundidade de 0-10cm.....	39
Figura 12.	Dendograma dos diferentes usos do solo, mostrando a distância euclidiana, de acordo com os atributos microbiológicos e matéria orgânica, avaliados na profundidade de 10-20cm.....	40
Figura 13.	Dendograma dos diferentes usos do solo, mostrando a distância euclidiana, de acordo com os atributos físicos, microbiológicos e matéria orgânica, na profundidade de 0-10cm e 10-20cm.....	41

RESUMO

Pezarico, Carmen Regina, MSc. Universidade Federal da Grande Dourados, julho de 2009. **Bioindicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais.** Orientador: Antonio Carlos Tadeu Vitorino. Co-orientadores: Fábio Martins Mercante e Omar Daniel

A utilização de sistemas agroflorestais para viabilizar a produção de alimentos, proporcionando melhoria nos aspectos voltados para conservação dos recursos naturais é atualmente considerada uma alternativa possível e eficaz para garantir a sustentabilidade, tanto nos aspectos ambientais como econômicos e sociais. Nesse sentido, objetivou-se avaliar atributos físicos, microbiológicos e matéria orgânica em diferentes sistemas de manejo agroflorestais, comparados a outros sistemas de produção. O estudo foi realizado na propriedade denominada Sítio da Mata, localizado no Município de Amambai, MS. Foram avaliados dois Sistemas Agroflorestais (SAFs), sendo descritos como SAF A e SAF B, comparados a uma área de lavoura, um sistema silvicultural com exploração de erva-mate (Eral) e uma área como referência da condição original do solo (vegetação natural-Mata). O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, sendo os tratamentos representados pelos cinco sistemas com cinco repetições. O atributo químico avaliado foi conteúdo de matéria orgânica. Os atributos físicos estudados foram densidade do solo, macroporosidade, microporosidade volume total de poros (VTP) e textura. Os atributos microbiológicos estudados foram carbono da biomassa microbiana (CBMS), atividade microbiana (C-CO₂), carbono orgânico (Corg), quociente metabólico (*q*CO₂) e quociente microbiano (Cmic/Corg). Dentre os sistemas avaliados, o SAF A foi o que apresentou os índices de qualidade do solo mais próximos comparados à área de vegetação nativa (mata), o que implica afirmar que a diversificação das espécies, como também o tipo de solo mais argiloso, promoveram melhores resultados neste sistema. A rapidez de resposta que algumas espécies utilizadas como adubos verdes (feijão, guandu e crotalaria) e gramíneas, como o napier, apresentaram melhoria das condições, químicas, físicas e biológicas do solo, podem explicar algumas relações observadas no SAF A e com menos intensidade no SAF B e erval. A área de lavoura indicou ser o ambiente mais afetado nas condições avaliadas, sendo possível identificar que os sistemas agroflorestais são sistemas mais conservacionistas sob o ponto de vista da sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: biomassa microbiana, atributos físicos, agroecossistema

ABSTRACT

Pezarico, Carmen Regina, MSc. University Federal da Grande Dourados, July 2009. **Soil quality indicators in agroforestry systems.** Promoter: Antonio Carlos Tadeu Vitorino. Co-promoter: Fábio Martins Mercante e Omar Daniel

The utilization of agroforestry systems to enable food production possible, providing improvement in the aspects that deal with the conservation of natural resources is nowadays considered a possible and effective alternative to guarantee the sustainability of the environmental, economic and social aspects. Therefore, it objectified to evaluate physical, chemical and microbiological attributes in different agroforestry management systems compared to other production systems. The assignment has been done in the property Sitio da Mata, situated in the municipality of Amambai, MS. Two distinct agroforestry systems were evaluated, being described as SAF A and SAF B, compared to a crop area, a silvicultural system with exploration of mate herb (Herbal) and a yardstick area of natural vegetation. The design was entirely randomized, being the treatments represented by the five systems and with five repetitions. The chemical attribute evaluated was organic matter. The physical attributes identified were soil density, macroporosity, microporosity, total volume of pores (TVP) and texture. The microbiological attributes studied were microbial biomass carbon (MBC), microbial activity (C-CO₂) organic carbon, microbial and metabolic quotient (*q*CO₂). Among the evaluated systems, SAF A was the one which presented the closest indices compared to the native vegetation, which implies the claim that the diversity of species as well as the most clayey type of soil provided better results in this system. The quickness of answer that some species such as green manure (*dwarf pigeon pea*, *crotalaria spectabilis*) and grasses, like the Napier grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) have in the improvement of the chemical, physical and biological soil conditions, may explain some relations observed in the SAF A and with less intensity in the SAF B and herbal. The crop area was indicated as the most affected environment in the evaluated conditions. It was possible to identify that the agroforestry systems are conservational systems from the soil quality perspective.

Key words: microbial biomass, physical attributes, agroecosystem.

1. INTRODUÇÃO

O crescente interesse da sociedade por um modelo sustentável de agricultura, baseado em aspectos ambientais, econômicos e sociais vem direcionando um novo cenário com demandas por tecnologias apropriadas. A preocupação com as novas gerações e o modelo de sustentabilidade proposto para ser economicamente viável, ecologicamente correto e socialmente justo, compõem um dos grandes desafios para as políticas públicas, para a ciência e também para a produção de alimentos. Nesse sentido, a agricultura precisa estar devidamente preparada para estas mudanças. O manejo do solo é um componente fundamental do sistema de produção e um valioso instrumento para garantir a viabilidade das atividades agrícolas de forma sustentável. Em vista destas demandas e analisando a emergência de se reconstruir ou mudar a forma de pensar um ecossistema agrícola é que os conceitos de Qualidade do Solo passaram a tomar importância perante a comunidade científica e acadêmica. Os indicadores de qualidade do solo são ferramentas importantes e eficientes, que permitem conhecer as alterações resultantes da interferência humana sob áreas agrícolas e não agrícolas. Nesse sentido, destaca-se a importância e necessidade de estudos voltados para monitorar e/ou avaliar as respostas destes ambientes às solicitações impostas pelos sistemas de manejo e uso da terra.

Trabalhos avaliando os benefícios do Sistema Plantio Direto na qualidade do solo avaliada por meio de atributos físicos do solo já são conhecidos. No entanto, estudos voltados para avaliar os atributos biológicos são mais recentes, visto que a mensuração destas informações são particularmente delicadas e envolvem o componente vivo presente no sistema. Isso trouxe um grande avanço para entendermos a influência que o homem exerce sobre o ambiente a curto prazo e as medidas que podem ser tomadas para minimizar estes impactos, seja sob o ponto de vista do solo propriamente e dos elementos vivos que fazem parte deste processo. Contudo, outras alternativas de produção têm sido evidenciadas atualmente, como o modelo conservacionista que utiliza os Sistemas Agroflorestais (SAFs).

Os SAFs visam otimizar a produção de alimentos, utilizando a área com culturas anuais associadas a espécies arbóreas, podendo ou não serem envolvidas com a criação e

exploração de ambiente agrícola de maneira geral e animais. Sendo assim, conhecer o impacto deste modelo na qualidade do solo é primordial, já que sua concepção busca aproximar o sistema produtivo de um sistema mais equilibrado sob o ponto de vista ambiental, principalmente. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto de Sistemas Agroflorestais (SAFs), utilizando-se de parâmetros físicos, químicos e biológicos como indicadores para aferir a qualidade do solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Sistemas Agroflorestais

Os sistemas agroflorestais constituem uma alternativa de produção agropecuária que busca minimizar o efeito da intervenção humana. A consorciação de várias espécies dentro de uma área aumenta a diversidade do ecossistema, onde as interações benéficas são aproveitadas entre as plantas de diferentes ciclos, portes e funções (SANCHEZ, 1995). O termo Sistema Agroflorestal (SAF) é um nome relativamente recente dado para práticas antigas, desenvolvidas em grande parte por comunidades tradicionais em várias partes do mundo, especialmente nos trópicos. São sistemas e tecnologias de uso da terra onde espécies lenhosas e perenes são manejadas, seja com cultivares agrícolas e/ou animais, em um arranjo de espaço e sequencia temporal, interagindo econômica e ecologicamente (NAIR, 1993).

Os sistemas agroflorestais combinam de forma integrada árvores, arbustos, cultivos agrícolas e/ou animais em uma mesma área. Essa ocupação pode ser simultânea ou sequencial. Desse modo, busca-se agregar os fatores e recursos em uma mesma área para otimizar valores de produção, econômicos, sociais, culturais e ambientais como alternativa para um modelo sustentável de uso e manejo deste sistema (ASSIS JÚNIOR et al., 2003). Este modelo planejado sob bases agroecológicas apresenta resultados eficientes que promovem o equilíbrio do ambiente através de suas complexas relações, como também proporciona melhoria nos atributos do solo (ALTIERI, 2002).

A utilização de sistemas agroflorestais na recuperação de áreas degradadas tem apresentado resultados atribuídos à melhoria das propriedades físico-químicas destes solos, assim como da atividade dos microorganismos, considerando o grande aporte de matéria orgânica (MENDONÇA, et al., 2001). Contudo, esses SAFs não restauram aspectos importantes dos sistemas originais, como estrutura e biodiversidade florestais, mas garantem a recuperação de muitas funções essenciais para a manutenção e sustentabilidade deste novo ambiente, além de disponibilizar alimentos para garantir o consumo de subsistência ou mesmo a comercialização da produção pelo agricultor (FRANKE et. al, 2001). Desse modo, os resultados apresentados pelos sistemas agroflorestais para minimizar os problemas de baixa produtividade, escassez de alimentos e recuperação da

degradação ambiental são cada vez mais atrativos e promissores (REINERT, 1998; SANTOS, 2002).

Outras vantagens ou atribuições dos SAFs podem ser destacados, como elevada capacidade de produção de biomassa, a ocupação de diferentes estratos aéreos com plantas de diferentes portes, proporcionando maior eficiência no aproveitamento da radiação solar e a exploração de espaço em diferentes profundidades. Nessas condições, as culturas anuais são beneficiadas pelo enriquecimento da camada superficial do solo resultante da reciclagem mineral feita pelas culturas arbustivas e arbóreas (KHATOUNIAN, 2001).

Os SAF constituem opção ou alternativa que objetiva melhorar e conservar os recursos produtivos. Isso pode ocorrer com aumento da oferta de madeira, alimentos e de outros bens e serviços explorados em uma mesma unidade de área (MONTROYA; MAZUCHOWSKI, 1994).

Os SAF podem ser categorizados em três modos distintos, com base estrutural, funcional e socioeconômica e, ecológica (DANIEL et al., 1999a). Portanto, estruturalmente e com base na natureza dos componentes dos SAF, Daniel et al. (1999b) propõem a seguinte terminologia de: i) Sistemas Agrissilviculturais, que envolvem cultivos agrícolas e árvores, incluindo arbustos e (ou) trepadeiras; ii) Sistemas Silvipastoris, que referem-se à associação de pastagens e (ou) animais e árvores; iii) Sistemas Agrissilvipastoris aqueles que combinam cultivos agrícolas, pastagens e (ou) animais e árvores.

Os sistemas agroflorestais (SAF), como técnica alternativa de uso da terra, tenta proporcionar um rendimento sustentável ao longo do tempo, introduzindo espécies anuais nos primeiros anos, seguidas de frutíferas semi-perenes e perenes e por fim as madeiráveis, os quais podem ainda, ser consorciadas com animais em uma mesma área (FERREIRA, 2005). Tem sido preconizado padrões de sustentabilidade que garantem a capacidade destes sistemas produzir para o presente momento, mantendo os fatores ambientais, econômicos e sociais, em condições de serem utilizados pelas gerações futuras (VIEIRA et al, 2006). Além disso, podem servir como alternativa para a recuperação de áreas degradadas, envolvendo não só a reconstituição das características do solo, como também a recuperação do agroecossistema, o qual envolve todos os fatores responsáveis pela produção em harmonia como o solo, a água, o ar, o microclima, a paisagem, a flora e a fauna (VIEIRA et al, 2006).

Um dos aspectos positivos e que garantem a sustentabilidade dos SAFs é a presença do componente arbóreo, que têm a capacidade de capturar nutrientes de camadas mais profundas do solo, reciclando com uma maior eficiência e uma cobertura maior da terra (VIEIRA et al, 2006). De acordo com Lunz e Melo (1998), a presença de um componente arbóreo, a diversidade de espécies e a grande produção de fitomassa favorecem sua sustentabilidade pela ciclagem direta de nutrientes entre a vegetação e o solo. Esses autores salientam também que, se bem planejados, os SAF podem apresentar, entre outras, as vantagens de melhor utilização dos recursos naturais disponíveis (luz, água e nutrientes), menor incidência de pragas e doenças, maior diversificação da produção, diminuição dos riscos econômicos, melhor distribuição temporal do uso da mão-de-obra familiar e maior estabilidade.

Os tipos de SAF são os mais diversos possíveis de acordo com Dantas (1994), os SAF resultam da imaginação, da experiência, do conhecimento, da tradição, da cultura, das aspirações e das condições particulares (tipos de solo e clima, disponibilidade de material) de cada produtor, sendo encontrada uma infinidade de sistemas pelo mundo.

Os sistemas agroflorestais (SAF), que incluem uma opções de cultivo simultâneo ou sequencial de árvores com cultivos agrícolas e (ou) animais, tem sido apontados como alternativas de uso agrícola da terra, principalmente para regiões tropicais, por apresentarem capacidade potencial para aumentar o nível de sustentabilidade do agroecossistema, quanto aos aspectos agrônômicos, sociais, econômicos e ecológicos.

Além disso, podem ser uma opção à monocultura agrícola e assim serem capazes de manter a fertilidade dos solos e a sustentabilidade. No Cerrado, o aumento e melhoria nas condições da fertilidade do solo nestes sistemas é atribuído à maior produção de fitomassa. Junto a este parâmetro, a avaliação da biota do solo em modelos agroflorestais constatou que os sistemas contribuem para a recuperação dos solos degradados de pastagem de forma mais rápida e eficiente do que a regeneração natural, observando-se também uma relação positiva entre densidade, porosidade total e umidade do solo, sugerindo que o papel da macrofauna do solo como um forte componente dos sistemas agroflorestais (VIEIRA et al, 2006).

Como vantagem econômica dos SAFs, destaca-se a possibilidade de produção de madeira, alimentos e outros bens em áreas utilizadas em terras já ocupadas com sistemas

de monocultivos, seja agrícola ou florestal (PAULA e PAULA, 2003). Tecnicamente, as principais vantagens seriam a redução do custo de implantação e de manutenção inicial de seus povoamentos, mediante a receita produzida pela cultura intercalar, e, para os agricultores e pecuaristas, a garantia de condições ambientais mais adequadas para suas lavouras ou animais e um suprimento adicional de madeira, para uso próprio ou para comércio (PAULA e PAULA, 2003). Diante disso, o plantio de árvores em lavouras e pastagens constitui uma forma de reposição, embora pequena, da cobertura florestal destruída pelo avanço da fronteira agrícola (PAULA e PAULA, 2003).

Ao longo do tempo, os SAFs acumulam carbono, que pode auxiliar na recuperação das quantidades perdidas durante a derrubada e queima de florestas primárias, podendo funcionar como banco de estoque de carbono, recuperando entre 54% e 82% do carbono contido na floresta, num período de 15 anos.

As vantagens para o uso deste tipo de sistema de cultivo em relação aos convencionais, tanto econômicas, como ambientais, são várias, entre as quais a combinação de produtos de mercado e de subsistência que permite limitar os riscos assumidos pelos agricultores familiares, sejam eles riscos climáticos ou riscos de mercado; a diversidade de espécies permite a obtenção de um número maior de produtos e/ou serviços a partir de uma mesma unidade de área, tanto para a subsistência da família quanto para o mercado; a área com sistema agroflorestal pode ser usada permanentemente, minimizando a necessidade de derrubada e queima de novas áreas e melhorando a qualidade de vida do homem no campo; além do aproveitamento de áreas já alteradas ou degradadas. Também diminui a demanda de fertilizantes em razão da eficiente ciclagem e da adubação orgânica, melhora as propriedades físicas e biológicas do solo e permite a preservação da biodiversidade (VIEIRA et al, 2006).

Como desvantagens, os SAFs podem ocasionar o aumento na competição entre os componentes vegetais, apresentar potencial para perda de nutrientes, provocar danos mecânicos durante a colheita ou tratos culturais, ou ainda, provocar danos oriundos do componente animal, alelopatia, servir de habitat ou hospedeiros para pragas e doenças, além de dificultar a mecanização e o planejamento (DANTAS (1994); FERNANDES et al. (1994); CASTRO et al. (1996); DANIEL et al. (1999a), MEDRADO (2000), MACEDO (2000a e 2000b).

2.2 Qualidade do Solo

A preocupação com o uso dos recursos naturais tem priorizado cada vez mais a busca de alternativas de produção que visem sobretudo a sustentabilidade e qualidade desses recursos (ARAÚJO et al., 2007). Sendo, portanto, o solo um recurso natural, é importante que a sua qualidade seja avaliada através de indicadores que possuem a capacidade de detectar as variações na sua capacidade de funcionar dentro dos limites dos ecossistemas para: i) sustentar a produtividade biológica; ii) manter a qualidade do ar e da água, e iii) promover a saúde humana, de plantas e animais (DORAN & PARKIN, 1994). A avaliação dessa qualidade por meio de atributos do solo é complexa, pois leva em conta o uso aplicado a este solo, bem como as relações físico-químico-biológicas e suas variações no tempo e no espaço (DORAN et al., 1996).

O entendimento sobre a capacidade do solo em suprir e reciclar nutrientes para as plantas, bem como suportar o crescimento e desenvolvimento das raízes proporcionando uma adequada atividade biológica entre outros fatores são aspectos observados para avaliar a qualidade do solo (CASALINHO et al., 2007). A capacidade de um sistema em manter a produção sustentável depende também da manutenção ou viabilização da qualidade do solo. Segundo Santana e Bahia Filho (1998), a qualidade do solo pode ser avaliada pelo monitoramento de seus atributos ou características físicas, químicas e biológicas, sendo que os indicadores mais recomendados para essa avaliação da qualidade são aqueles que respondem às variações do manejo e podem sofrer mudanças em curtos e médio prazos. Portanto, o monitoramento da qualidade do solo deve ser orientado a detectar as alterações que podem ser medidas ao longo do tempo. Para isso, as práticas de manejo e conservação devem ser planejadas a fim de manter ou melhorar os atributos do solo, minimizando os efeitos dos impactos gerados e aumentando a capacidade do solo em sustentar a produtividade biológica (ARAÚJO, 2007).

2.3 Indicadores de Qualidade do Solo

Indicadores são referências que servem para facilitar a mensuração da qualidade do solo. Podem ser utilizados índices numéricos, similares àqueles de salinidade, erodibilidade, estabilidade dos agregados, ou ainda utilizar uma linha de modelagem, gráfica ou matemática (ARAÚJO et al., 2007).

Alguns atributos do solo podem ser destacados para avaliar sua qualidade em relação à erosão hídrica, tais como: teores de matéria orgânica, densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total (MARTINS et al., 2002). Os atributos físicos porosidade e densidade do solo apresentaram bom desempenho como indicadores da qualidade, distinguindo os efeitos proporcionados pelos sistemas de manejo do solo. Assim, contribuem para o monitoramento do manejo de solos da região dos cerrados (BEUTLER et al., 2001). O aumento na densidade do solo da camada subsuperficial é comum nos Latossolos dos cerrados do Brasil. A utilização incorreta de máquinas e equipamentos agrícolas, que leva ao aumento na densidade do solo destas camadas, tem sido apontada como uma das principais causas da deterioração da estrutura do solo e do decréscimo da produtividade das culturas da região (CAMPOS et al., 1995). Neste contexto, tem sido verificado que o solo sob sistema agroflorestal apresenta menor densidade aparente, maior porosidade, menor resistência à penetração e maior estabilidade de agregados, quando comparado ao mesmo solo sob sistema de plantio convencional (CARVALHO, et al., 2004).

A análise de indicadores bioquímicos e microbiológicos de qualidade do solo é relevante para avaliar as atividades funcionais do solo, como a capacidade de ciclar e armazenar nutrientes. No entanto, ainda são poucas as informações referentes ao impacto de práticas de manejo florestais sobre indicadores microbiológicos em solos sob sistemas agroflorestais em regiões tropicais, uma vez que as análises de rotina comumente adotadas para se avaliar o potencial produtivo de solos em florestas plantadas consideram apenas um número limitado de indicadores físicos e químicos. Os resultados dessas análises podem ser adotados para se definir em curto prazo as demandas por nutrientes e algumas limitações de ordem física, mas eles são insuficientes para avaliar em médio e longo prazo o efeito das práticas de manejo em uso sobre a qualidade destes solos. Além de constituírem informação complementar na avaliação qualitativa dos solos, os indicadores microbiológicos têm sido frequentemente sugeridos como mais sensíveis aos impactos causados pelo manejo do solo, quando comparados àqueles de caráter físico ou químico (BENDING, 2004). Essa característica pode ser de grande importância na distinção de sistemas avaliados que utilizam diferentes práticas de manejo, ou na avaliação precoce de eventuais efeitos adversos do manejo sobre a qualidade do solo. Isso permitiria a adoção

antecipada de medidas corretivas ou de controle para minimizar ou evitar a degradação destas áreas.

Os métodos de avaliação da qualidade do solo e do ambiente visto as interferências ocasionadas pela ação humana são os grandes desafios dos estudos voltados para a sustentabilidade. A busca por indicadores de qualidade que possam traduzir com eficiência possíveis alterações no solo podem ser conforme TÓTOLA & CHAER (2002), uma variável mensurável (temperatura do solo), um processo (taxa de mineralização do N) ou um índice, no qual se incluem inúmeras medidas de atributos do solo (densidade, porosidade, matéria orgânica e os indicadores microbiológicos, como biomassa microbiana e índices derivados).

2.3.1 Indicadores Físicos

Do ponto de vista das atividades agrícolas, os indicadores físicos assumem importância por estabelecerem relações diretas nos processos hidrológicos, como taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão. Outra função essencial está ligada ao suprimento e armazenamento de água, de nutrientes e de oxigênio no solo. Entre os principais indicadores físicos de qualidade de solo sob o ponto de vista agrícola, estão a textura, estrutura, resistência à penetração, profundidade de enraizamento, capacidade de água disponível, percolação ou transmissão da água e sistema de cultivo (GOMES e FILIZOLA, 2006).

Os sistemas de manejo que promovem menor revolvimento do solo, aliado ao acúmulo de resíduos na superfície, promovem a recuperação e a manutenção das características físicas do solo (DA ROS et al., 1997). No entanto, quando submetidos a alguns tipos de manejo, tendem a um novo estado de equilíbrio, refletindo nas condições dos atributos físicos, que podem ser desfavoráveis à produção das culturas e à própria conservação do solo (SILVA et al., 2005).

Dos componentes do manejo do solo, o seu preparo talvez seja a atividade que mais influi no seu comportamento físico, pois atua diretamente na estrutura do solo (OLIVEIRA et al., 2001). De modo geral, o solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas, como permeabilidade, estrutura, densidade do solo e porosidade, adequadas ao desenvolvimento normal de plantas (ANDREOLA et al., 2000).

À medida que essas áreas vão sendo incorporadas ao processo produtivo os atributos físicos e químicos do solo sofrem alterações (SPERA *et al.*, 2004), cuja intensidade varia com as condições de clima, natureza do solo, uso e manejos adotados. A utilização intensiva de equipamentos agrícolas em todas as operações de cultivo do solo (semeadura, tratos culturais e colheita) tem promovido aumento da compactação, principalmente na zona de exploração do sistema radicular (ASSIS e LANÇAS, 2005).

Considerando que manejo das propriedades físicas do solo é dependente, sobretudo da mineralogia e textura, que influenciam a resistência e resiliência deste solo a determinadas práticas agrícolas (SEYBOLD, 1999), em geral, o aumento da intensidade de práticas para o cultivo alteram o tamanho dos agregados do solo, aumentam a densidade e reduzem a porosidade total do solo, aumentando assim a resistência do solo à penetração (SILVA & MIELNICZUK, 1997).

Nesse contexto, a estrutura é um dos atributos mais importantes do solo sob o ponto de vista agrícola, tendo participação substancial nas relações solo-planta, sendo efetivamente influenciada pelo clima, atividade biológica, práticas de manejo e, ainda, vulnerável a forças de natureza mecânica e físico-química. Embora não seja considerado em si um fator de crescimento para as plantas, exerce influência na disponibilidade de água e ar às raízes das plantas, e no desenvolvimento radicular (CRUZ *et al.*, 2003).

A redução do volume de poros e da taxa de difusão de oxigênio e aumento da densidade, da resistência física e da energia com que a água é retida no solo caracteriza a compactação do mesmo (MÜLLER *et al.*, 2001). Assim, a compactação é um processo importante, principalmente quando atinge limites críticos, ou seja, quando diminui a quantidade de água disponível e prejudica o crescimento radicular, confinando as raízes acima da camada compactada ou em partes do perfil (UNGER e KASPAR, 1994). Isso diminui o volume de solo explorado pelas raízes, a quantidade de ar, água e nutrientes disponíveis e limita a produtividade das culturas (MORAES *et al.*, 1995). O grau de compactação é dependente do sistema de manejo do solo utilizado, que reflete a intensidade de preparo e a espessura da camada mobilizada, e do histórico de uso, como as pressões exercidas, da umidade no momento das operações de cultivo e do número de passadas dos equipamentos em cada safra (SECCO *et al.*, 2005). Por isso, atributos físicos do solo têm sido utilizados para quantificar as alterações provocadas pelos diferentes sistemas de manejo, ou até mesmo, como indicadores de qualidade do solo. A densidade

do solo é usada na estimativa da estrutura do solo com relação ao potencial de lixiviação, produtividade e aspectos erosivos (DORAN e PARKIN, 1994), sendo afetada por vários fatores, como sistema de manejo, tipo de cobertura vegetal, quantidade de resíduos à superfície e teor de matéria orgânica do solo (CAVENAGE *et al.*, 1999; CRUZ *et al.*, 2003; SPERA *et al.*, 2004). O volume total de poros depende da composição granulométrica e da estruturação, cujos limites são muito amplos, porém, valores de macroporos inferiores a 0,10 m³m⁻³ podem ser restritivos às trocas gasosas e ao crescimento das raízes da maioria das culturas (TAYLOR e ASHCROFT, 1972). Valores superiores de porosidade total e macroporosidade em superfície, decorrentes do preparo do solo, têm sido relatados (CRUZ *et al.*, 2003; TORMENA *et al.*, 2004; BERTOL *et al.*, 2004). Aumentos no teor de matéria orgânica, notadamente na camada superficial do solo, têm sido associados a sistemas com o mínimo revolvimento do solo (TORMENA *et al.*, 2004).

2.3.2 Indicadores Microbiológicos

A análise de indicadores bioquímicos e microbiológicos de qualidade do solo é relevante para o desempenho de atividades funcionais do solo, como a capacidade de ciclar e armazenar nutrientes. No entanto, ainda são poucas as informações referentes ao impacto de práticas de manejo florestais sobre indicadores microbiológicos em solos sob sistemas agroflorestais em regiões tropicais, uma vez que as análises de rotina comumente adotadas para se avaliar o potencial produtivo de solos em florestas plantadas consideram apenas um número limitado de indicadores físicos e químicos (BENDING *et al.*, 2004). De acordo com estes autores, os resultados das análises mencionadas podem ser adotados para se definir em curto prazo as demandas por nutrientes e algumas limitações de ordem física, mas eles são insuficientes para avaliar em médio e longo prazo o efeito das práticas de manejo em uso sobre a qualidade destes solos. Além de constituírem informação complementar na avaliação qualitativa dos solos, os indicadores microbiológicos têm sido frequentemente sugeridos como mais sensíveis aos impactos causados pelo manejo do solo, quando comparados àqueles de caráter físico ou químico (MATSUOKA *et al.*, 2003; BENDING *et al.*, 2004). Essa característica pode ser de grande importância na distinção de sistemas avaliados que utilizam diferentes práticas de manejo, ou na avaliação precoce de eventuais efeitos adversos do manejo sobre a qualidade do solo. Isso permitiria a adoção

antecipada de medidas corretivas ou de controle para minimizar ou evitar a degradação destas áreas.

Em regiões tropicais, as condições de temperaturas elevadas e os altos índices pluviométricos intensificam a atividade microbiana, propiciando a rápida decomposição dos materiais orgânicos depositados no solo (SILVA e MACHADO, 2000). Segundo Zinn et al. (2008), as maiores taxas de decomposição da matéria orgânica (MO) observadas em áreas sob cultivo ocorrem devido às perturbações físicas do solo, que implicam rompimento dos macroagregados, reduzindo a proteção física da MO, que exposta aos processos microbianos, contribuem para aumentar as taxas de emissão de CO₂ para a atmosfera. No entanto, sistemas mais conservacionistas que reduzem o revolvimento do solo e permitem o acúmulo de resíduos na superfície favorecem a ciclagem de nutrientes, diminui a taxa de decomposição e favorece a liberação gradual dos nutrientes de acordo com a necessidade da cultura. Além disso, promove a diversificação biológica e melhora a qualidade do solo (BALOTA et al., 1998).

A biomassa microbiana constitui a maior fração ativa da MO do solo e por isso responde sensivelmente às mudanças iniciais causadas por práticas de cultivo (ROSCOE et al., 2006). Fatores como alterações no ambiente e interações entre microorganismos também são relevantes para promover modificações na biomassa microbiana, no entanto, o sistema de cultivo e as rotações de culturas adotadas tem grande influência nesse aspecto (BALOTA et al., 1998). Nesse sentido, a biomassa microbiana desempenha papel de destaque como indicador de qualidade do solo e pode ser estimada por métodos relativamente simples, por meio da quantificação de componentes extraídos do solo. A medida da taxa respiratória ou atividade microbiana, determinada pela evolução de CO₂ oriundo da respiração de microorganismos heterotróficos aeróbicos durante a oxidação de compostos orgânicos, é uma das mais utilizadas (TÓTOLA & CHAER, 2002). A respiração basal pode ainda, estar relacionada com a disponibilidade de carbono da biomassa (ROSCOE et al., 2006).

No campo, as mensurações da respiração basal são amplamente usadas para avaliar a atividade geral da biomassa microbiana do solo, sob a influência do clima, das propriedades físicas e químicas e de práticas agrícolas ou silviculturais, como rotação de culturas, adição de matéria orgânica ou cobertura morta, além do plantio direto (BALOTA et al., 1998; GAMA-RODRIGUES et al., 1997; MERCANTE et al., 2008). O tipo de solo

e espécies de árvores (BAUHUS et al., 1998), como também a mistura de espécies (KAUTZ & TOPP, 1998) e presença de animais e excrementos no solo (BARDGET et al., 1998), que normalmente aumentam a biomassa e a atividade da microbiota do solo (ASSIS JUNIOR, 2003). A inclusão de componentes arbóreos pode contribuir para manter ou aumentar a produtividade de determinado local, tendo em vista a melhoria nos processos que aumentam a entrada de matéria orgânica ou que reduzem as perdas no solo. Os cultivos que promovem o revolvimento do solo, além de afetar a química e a estrutura deste solo, diminuem a atividade biológica. Assim sendo, o teor e a dinâmica da matéria orgânica podem ser alterados de acordo com as práticas de manejo adotadas (ROSCOE et al., 2006), ou seja, a respiração do solo pode ser utilizada como indicador de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas (BALOTA et al., 1998; MERCANTE et al., 2008).

Dessa forma, as alterações provocadas em ecossistemas naturais ou cultivados podem comprometer a qualidade do solo na sua biodiversidade e sustentabilidade pelos efeitos da ação antrópica sobre as propriedades do solo (LONGO, 1999). Portanto, os efeitos causados pela natureza e pela ação antrópica sobre as propriedades do solo constituem importantes recursos para avaliações ou previsões sobre os danos ambientais, servindo como subsídios para discussões sobre a manutenção da qualidade desses solos (LONGO et al., 1999).

2.3.3 Matéria Orgânica

A atuação da matéria orgânica nas propriedades do solo é de muita importância, uma vez que atua como fonte de energia para a massa microbiana e nutrientes para as plantas (MARIN, 2002). A capacidade de troca de cátions é bastante influenciada pelo conteúdo de carbono orgânico do solo, principalmente nos horizontes superficiais (CANELLAS *et al.*, 2000). A mineralização da matéria orgânica resulta na liberação de nutrientes essenciais à planta, tais como N, P, S, K, Ca, Mg e micronutrientes (MARIN, 2002). O autor ressalta ainda que, de 15 a 80% do P total encontrado no solo pode ser proveniente da matéria orgânica.

Diferentes manejos de uma mesma cultura, sob condições equiparáveis, propiciam modificações também na matéria orgânica do solo, com reflexos diretos sobre sua qualidade (BAYER et. al, 2002). Em áreas onde não são adotadas práticas de manejo conservacionista, têm sido verificadas perdas de até 50% do C original do solo, em menos de 10 anos de cultivo (MIELNICZUK et. al, 2003). A introdução de um manejo conservacionista pode auxiliar na recuperação da qualidade do solo, sobretudo daqueles degradados (CONCEIÇÃO et. al, 2005). Em relação às perdas de matéria orgânica em solo cultivado, quase sempre, o fluxo de C para a atmosfera ocorre em detrimento do C armazenado nas camadas mais superficiais do solo. Tendo em vista esse padrão de fluxo, em áreas de cultivo o carbono orgânico total do solo (COT) é pouco sensível para detectar mudanças químicas de curto prazo na matéria orgânica do solo, em função de diferentes manejos. Assim, além do COT, devem ser adotadas outras frações para monitorar, em menor tempo, mudanças nos compartimentos da matéria orgânica do solo e fluxos de C entre esses compartimentos. Alguns compartimentos de C expressam adequadamente as alterações na qualidade do solo em função do manejo adotado (MIELNICZUK, 2003).

O teor de matéria orgânica apresenta uma grande amplitude de variação entre os diferentes tipos de solos, oscilando desde menos de 1% em solos de deserto até altas percentagens em solos orgânicos (OLIVEIRA et al, 2001). Nos Latossolos e Argissolos tropicais, muito intemperizados, os atributos físico-químicos da matéria orgânica são essenciais para a manutenção da saúde dos ecossistemas dos quais fazem parte onde algumas propriedades das substâncias húmicas como a alta capacidade de retenção de água tem papel regulador essencial para evitar processos erosivos bem como para armazenamento de água para os seres vivos. Além disso, o fornecimento de nutrientes a partir de sua mineralização e a alta capacidade de troca catiônica (CTC), sendo que na maioria das situações, a matéria orgânica é a principal reguladora da CTC do solo (SILVA et. al, 1999).

A matéria orgânica do solo fornecida pelos sistemas agroflorestais é de fundamental importância para a recuperação das áreas degradadas, as quais podem ser assim resumidas tendo como importâncias principais boas condições físicas do solo, incluindo a capacidade de retenção de água; provem um balanceado do suprimento de nutrientes, protegendo-os contra a lixiviação até serem liberados pela mineralização; permite o melhor uso de fertilizantes por meio do melhoramento da capacidade de troca

catiônica. Até o momento, as pesquisas têm demonstrado que a produção de biomassa que retorna ao solo, em sistemas agroflorestais é equiparada àquela produzida sob vegetação natural, quando se considera a mesma zona climática (VIEIRA et al, 2006).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi realizado no ano agrícola 2007/2008, na propriedade Sítio da Mata, no Município de Amambai – MS, localizado, em solo classificado como Nitossolo Vermelho, embora os Latossolos sejam os solos dominantes na região (DANIEL, 2006).

Foram avaliados dois sistemas agroflorestais, aqui denominados SAF A e SAF B. O SAF A (Figura 1) foi implantado há cerca de sete anos, ocupa uma área de aproximadamente 2.800m², em local onde não havia espécie arbórea plantada anteriormente. O sistema foi iniciado com plantio de café e, posteriormente, foram introduzidas espécies cítricas. Está localizado entre dois terraços e as plantas estão dispostas em linhas. Nas entrelinhas, há cultivo de adubos verdes, entre os quais predomina o feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.). Outras espécies arbóreas também compõem o sistema, conforme relacionadas na Tabela 1. Observa-se que o menor porte destas plantas no SAF A possibilita maior incidência de luz, quando comparado ao SAF B. No sistema SAF B (Figura 2), pode-se observar plantio de bananeiras dispostas em fileiras, junto a outras espécies arbóreas (Tabela 1). Este sistema está instalado há nove anos numa área de cerca de 1,0 ha próximo à estrada. Das 61 das espécies que compõe este SAF, 61 são originárias da flora local. Nos dois SAFs, o produtor realiza podas a fim de evitar o sombreamento que espécies de porte mais alto interferem nos extratos inferiores. Estas podas são feitas no sentido transversal da declividade e os materiais são picados e depositados na superfície. Os resíduos que permanecem sobre o solo incrementam a camada de serapilheira.

Dois sistemas agrícolas estabelecidos próximos aos SAFs, aqui denominados de Lavoura e erva mate (Erval), foram avaliados para comparação. Além destes sistemas, um fragmento de vegetação nativa (MATA) também foi utilizado como ecossistema de referência, para comparação.

A área de Lavoura (Figura 3) é explorada com cultivo de soja convencional na safra de verão e milho 2^a safra (safrinha), há pelo menos quatro anos, não sendo realizado, portanto, rotação de culturas. Anteriormente aos últimos quatro anos, a área havia sido

ocupada com pastagem. A área com cultivo de erva mate (Erval) (Figura 4) se mantém há 20 anos. Parte do material resultante da sua poda permanece no sistema, favorecendo a cobertura do solo. O material sobre o solo é oriundo das próprias árvores e da poda destas plantas. A poda feita nas árvores é classificada como tipo taça e permite maior incidência de luz no sistema. O espaçamento entre plantas é de 2m e entre linhas, 4m.



Figura 1. (a) SAF A com diversas espécies, com destaque para citrus (à esquerda), banana (ao fundo) e feijão guandu (à direita). (b) Vista da cobertura do solo e camada de serapilheira no SAF A.





Figura 2. (a) Plantas de bananeira com espécies arbóreas no SAF B. (b) Vista interna do SAF B, com banana e espécies arbóreas. (c) Camada superficial do solo e serapilheira no SAF B.



Figura 3. (a) Vista do local de amostragem do solo (entrelinha) na área de Lavoura de soja. (b) Lavoura ao centro, área de Mata (direita) e Erval (esquerda).



Figura 4. (a) Superfície do solo e serapilheira na área de Erval. (b) Sistema silvicultural com plantio de erva-mate (Erval).



Figura 5. (a) Área de vegetação natural (Mata) ao fundo, à frente plantio de soja (Lavoura). (b) Aspecto de mata fechada com densa camada de serapilheira.

A área com vegetação nativa (MATA) (Figura 5) é classificada como Floresta Estacional Semidecidual, e o clima caracterizado como Cfa (Köppen), sub tropical úmido com precipitação anual de 1.450mm (DANIEL, 2006).

Quadro 1. Caracterização das espécies florestais presentes nos SAFs A e B. Adaptado de Daniel et al. (2006).

SAF	Nomes comuns	Nomes botânicos	Família
A	Taioba	<i>Acontia sp.</i>	Araceae
B	Bocaja	<i>Acrocomia sp.</i>	Areaceae
A	Angico	<i>Anadenanthera sp.</i>	Mimosasceae
A, B	Abacaxi	<i>Ananas sp.</i>	Bromeliaceae
A	Fruta do conde	<i>Annona squamosa</i>	Annonaceae
B	Araucaria	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bert.) Kuntze	Araucariaceae
A	Peroba	<i>Aspidosperma sp.</i>	Apocynaceae
A	Guatambu	<i>Aspidosperma sp.</i>	Apocynaceae
A, B	Pata de vaca	<i>Bauhinia spp.</i>	Cesalpiniaceae
B	Urucum	<i>Bixa sp.</i>	Bixaceae
A	Feijão guandu	<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.	Papilionaceae
B	Mamão	<i>Carica sp.</i>	Caricaceae
A	Jequitibá	<i>Cariniana sp.</i>	Lecythidaceae
A, B	Cedro	<i>Cedrela sp.</i>	Meliaceae
A, B	Paineira	<i>Chorisia speciosa</i> St.Hil	Bombacaceae
A, B	Limão Taiti	<i>Citrus sp.</i>	Rutaceae
B	Ponkan	<i>Citrus sp.</i>	Rutaceae
A, B	Laranja (4 espécies)	<i>Citrus spp.</i>	Rutaceae
A	Café	<i>Coffea arábica</i> L.	Rubiaceae
B	Louro	<i>Cordia sp.</i>	Boraginaceae
A, B	Crotalaria	<i>Crotalaria sp.</i>	Papilionaceae
A	Capixingui	<i>Croton sp.</i>	Euphorbiaceae
B	Tamboril, Timbauba	<i>Enterolobium sp.</i>	Mimosaceae
B	Mulungu	<i>Erythrina sp.</i>	Papilionaceae
B	Eucalipto	<i>Eucalyptus sp.</i>	Myrtaceae
A	Grumixama	<i>Eugenia brasiliensis</i> Lam.	Myrtaceae

SAF	Nomes comuns	Nomes botânicos	Família
A	Cereja	<i>Eugenia involucrata</i> DC.	Myrtaceae
B	Jamelão	<i>Eugenia</i> sp.	Myrtaceae
B	Uvaia	<i>Eugenia</i> sp.	Myrtaceae
A, B	Pitanga	<i>Eugenia uniflora</i> L.	Myrtaceae
B	Juçara	<i>Euterpe edulis</i> Mart.	Areaceae
B	Genipapo	<i>Genipa americana</i> L.	Rubiaceae
B	Gliricidia	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Steudel	Papilionaceae
B	Cambara	<i>Goschnatia polimorpha</i> (Less.) Cabrera	Asteraceae
A	Grevilha	<i>Grevillea robusta</i> A. Cunn	Proteaceae
A	Marinheiro	<i>Guarea</i> sp.	Meliaceae
B	Mangaba	<i>Honcornia</i> sp.	Apocynaceae
B	Quiabo	<i>Hibiscus esculentus</i> L.	Malvaceae
A	Alecrim	<i>Holoca/vx</i> sp.	Caesalpinaceae
B	Uva japonesa	<i>Hovenia dulcis</i> Thumb	Rhamnaceae
B	Jatobá	<i>Hymenaea</i> sp.	Cesalpinaceae
A, B	Ingá (3 espécies)	<i>Inga</i> sp.	Mimosaceae
A, B	Jaracatiá	<i>Jaracatia</i> sp.	Caricaceae
B	Amoreira	<i>Maclura</i> sp.	Moraceae
A	Acerola	<i>Malpighia glabra</i> L.	Malpighiaceae
A	Manga	<i>Mangifera</i> sp.	Anacardiaceae
A	Mandioca	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Euphorbiaceae
A, B	Cinamomo	<i>Melia azedarach</i> L.	Meliaceae
A	Banana	<i>Musa</i> sp.	Musaceae
B	Banana (7 espécies)	<i>Musa</i> spp.	Musaceae
B	Aroeira	<i>Myracrodium urundeuva</i> Fr.	Anacardiaceae
A	Jabuticaba	<i>Myrciaria jabuticaba</i> (Vell.) O.	Myrtaceae
A, B	Canela	<i>Nectandra</i> sp.	Lauraceae
A	Guajuvira	<i>Patagonula americana</i> L.	Boraginaceae

SAF	Nomes comuns	Nomes botânicos	Família
A, B	Canafístula	<i>Peltophorum dubium</i>	Caesalpinaceae
A	Napier	<i>Pennisetum purpurium</i> Schum.	Poaceae
A, B	Abacate	<i>Persa sp.</i>	Lauraceae
B	Forquilha	<i>Peschiera sp.</i>	Apocynaceae
B	Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Papilionaceae
A	Cebolão	<i>Phytolacca spp.</i>	Phytolaccaceae
B	Jaca	<i>Polyphena jaca</i> Lour.	Moraceae
A, B	Abiu	<i>Pouteira sp.</i>	Sapotaceae
A, B	Ameixa	<i>Prunus salicina</i> Lindl.	Rosaceae
A, B	Goiaba	<i>Pisidium spp.</i>	Myrtaceae
B	Amendoim	<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	Cesalpinaceae
A, B	Araticum	<i>Rolinia sp.</i>	Annonaceae
B	Cana de açúcar	<i>Saccharum sp.</i>	Poaceae
B	Sapieira	<i>Sapindus sp.</i>	Sapindaceae
A, B	Aroeira pimenta	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	Anacardiaceae
A, B	Manduirana	<i>Sema macranthera</i> (Collad.)	Caesalpinaceae
A	Limão bravo	<i>Siparuna sp.</i>	Monimiaceae
A	Fumo bravo	<i>Solanum sp.</i>	Solanaceae
A, B	Ipê	<i>Tabebuia spp.</i>	Bignoniaceae

3.2 Amostras de solo

As amostras de solo foram realizadas em 18 de janeiro de 2008. Para avaliação dos atributos físicos, foram coletadas amostras indeformadas, nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm, utilizando anéis volumétricos devidamente identificados. Para avaliação dos atributos químicos e microbiológicos, foram coletadas amostras nas profundidades de 0-10cm e 10-20 cm, utilizando-se um trado holandês. Nesse caso, cada amostra foi composta

de 5 subamostras. Após homogeneização, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e armazenadas em câmara fria.

3.3 Determinações analíticas

As análises químicas e físicas do solo foram realizadas no Laboratório de Solos da *Embrapa Agropecuária Oeste*, de acordo com Claessen (1997).

Os atributos relacionados às determinações físicas foram: textura do solo, densidade do solo, volume total de poros (VTP), microporosidade e macroporosidade, pelo método da mesa de tensão (CLAESSEN, 1997).

As análises do carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) foram realizadas pelo método de fumigação-extração (VANCE et al., 1987), adotando-se o fator de correção para eficiência de extração (K_{ec}) igual a 0,33). A respiração basal (C-CO₂) foi obtida através do método da respirometria (evolução de CO₂). Determinou-se, a respiração basal (C-CO₂), obtida pela incubação das amostras com captura de CO₂, em NaOH, durante sete dias, pela adaptação do método da fumigação-incubação, proposto por Jenkinson e Powlson (1976). O quociente microbiano (q_{MIC}) foi expresso em porcentagem, calculado pela fórmula $(CBMS/C_{org}) \times 100$ e o quociente metabólico (q_{CO_2}) foi obtido pela razão entre os valores da respiração basal e do carbono microbiano ($\mu CO_2/\mu g \text{ C-BMS h}^{-1}$).

Para determinação do carbono orgânico (C_{org}) foi utilizado o método de Mebius, modificado por Yeomans & Bremner (1989).

3.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com cinco repetições, sendo os tratamentos representados pelos cinco sistemas, sendo eles Lavoura, Ercal, SAF A e SAF B e vegetação nativa (Mata), como referencial.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). As variáveis também foram comparadas pela análise de agrupamentos por meio da distância euclidiana. Análise de correlação foi utilizada entre biomassa microbiana e matéria orgânica, volume total de poros e densidade do solo, bem

como macro e microporosidade. Realizou-se uma análise fatorial para relacionar os dados microbiológicos às profundidades avaliadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Indicadores Físicos

Os maiores valores de Volume Total de Poros (VTP), na profundidade de 0 a 5 cm, foram verificados no fragmento de mata e no SAF A, não diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) da lavoura. Por outro lado, o SAF B e erval apresentaram os menores valores para esse atributo. Na profundidade de 5-10 cm, os resultados de VTP para SAF A e Ercal diferem significativamente, condição observada também na profundidade 0-5 cm (Quadro 2).

Quadro 2. Atributos físicos em função dos diversos sistemas de uso do solo nas profundidades 0-5cm e 5-10cm.

Sistemas de uso do solo ⁽¹⁾	Volume total de poros (m ³ m ⁻³)	Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	Microporosidade (m ³ m ⁻³)	Densidade do solo (Mg m ⁻³)
Profundidade 0 – 5 cm				
SAF A	0,64 a	0,27 ab	0,37 a	1,05 ab
SAF B	0,58 b	0,20 c	0,38 a	1,19 a
LAVOURA	0,62 ab	0,27 ab	0,34 ab	1,16 a
ERVAL	0,57 b	0,23 bc	0,34 ab	1,16 a
MATA	0,64 a	0,33 a	0,32 b	0,93 b
Profundidade 5 – 10 cm				
SAF A	0,61 a	0,22 a	0,42 a	1,16 b
SAF B	0,56 ab	0,16 a	0,41 ab	1,31 a
LAVOURA	0,57 ab	0,19 a	0,37 bc	1,29 a
ERVAL	0,55 b	0,20 a	0,38 ab	1,31 a
MATA	0,56 ab	0,15 a	0,34 c	1,13 b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (0,05 de probabilidade). (1) MATA: mata nativa; SAF A: sistema agroflorestal A; SAF B: sistema agroflorestal B; ERVAL: plantio de erva-mate e LAVOURA: plantio convencional.

Tem sido verificado que alterações na estrutura original do solo decorrentes do manejo incorreto durante o uso agrícola, pisoteio de animais, ou por qualquer outra força externa, diminuem o espaço poroso do solo, especialmente a macroporosidade (PENA et al., 1996). Isso é evidenciado nas condições da área de Erval, que difere da Mata, considerado o referencial de equilíbrio, ou seja, quanto menor a interferência externa pelo uso de maquinário ou revolvimento do solo, mais próximo um ecossistema está da condição original.

Observando ainda os resultados apresentados no Quadro 2, verifica-se que os valores de macroporosidade na camada de 0 a 5 cm seguem a mesma tendência daquela encontrada para o VTP, ou seja, os valores no SAF B foram semelhantes ao Erval. Serafin et al. (2008) encontraram importante redução de macroporosidade em ambientes sob integração lavoura pastagem, relatando o papel do pisoteio animal em promover compactação nos primeiros centímetros do solo. Na camada de 0-5cm, observa-se diferença significativa do SAF B em relação aos SAF A, Mata e Lavoura para macroporosidade. Na camada de 5 a 10 cm de profundidade, os valores de macroporosidade não diferiram estatisticamente ($p < 0,05$), entre os sistemas. No estudo de Silva et al. (2002), valores de macroporosidade para lavoura em plantio convencional e vegetação nativa também apresentaram valores superiores em relação a outros sistemas com cobertura de mucuna e sorgo. A tendência de aumento da macroporosidade está relacionada ao revolvimento do solo, como ocorre nas condições da Lavoura, contudo, com o passar do tempo, a tendência é que ocorra o adensamento natural das partículas do solo (MARCOLAN et al., 2007).

Martins (2002), estudando diferentes povoamentos florestais com eucalipto observou também que a área de vegetação nativa apresentou valores de macroporosidade superiores. Suzuki et al. (2006) atribuíram a similaridade entre um sistema com preparo convencional após 9 meses e uma área de vegetação do Cerrado à influência do sistema radicular das leguminosas que foram implantadas na área de lavoura. Nesse sentido, as várias espécies de adubos verdes incorporadas no SAF A podem explicar a similaridade para macroporosidade entre este sistema e as áreas de vegetação nativa (Mata) e Lavoura.

Amado et al. (2005) observaram que a compactação do solo está diretamente relacionada com redução da macroporosidade, ou seja, quanto maiores os valores de

densidade do solo, maior a redução observada para valores de macroporosidade, como observado no Quadro 2, para os sistemas avaliados na camada de 0-5cm.

Os valores de densidade do solo na profundidade de 0-5 cm foram menores no fragmento com mata, que foi menor que os valores de densidade do solo para SAF B, Lavoura e Eral. O SAF A não se diferenciou dos outros ambientes (JAKELAITIS et al., 2008), que sofreram algum tipo de ação antrópica para implantação de culturas ou pastagem. Não houve diferença significativa ($p < 0,05$), entre os demais sistemas. Na profundidade de 5-10 cm, o SAF A diferiu estatisticamente dos outros sistemas, apresentando o menor valor para densidade do solo (Quadro 2). A densidade do solo é afetada pela cobertura vegetal, teor de matéria orgânica e uso e manejo do solo (SILVA et al., 2002). O aumento excessivo da densidade do solo provoca diminuição do volume total de poros, redução da permeabilidade e da infiltração de água, quebra dos agregados e aumento da resistência mecânica à penetração, ocasionando prejuízo ou comprometendo a qualidade física do solo. Desse modo, valores de Densidade entre $1,27$ e $1,57 \text{ g cm}^{-3}$ são restritivos ao crescimento radicular e à infiltração de água no solo (ALVARENGA et al., 1996; CORSINI & FERRAUDO, 1999). Considerando os valores de densidade para o presente estudo, na camada 0-5 cm, pode-se observar que estão abaixo dos índices restritivos, enquanto que na camada 5-10 cm, os valores absolutos de densidade para os sistemas SAF B, Lavoura e Eral podem comprometer o adequado desenvolvimento das plantas.

Considerando o valor de D_s (densidade do solo) $1,37 \text{ Mg m}^{-3}$, obtido por Beutler et al. (2001), em Latossolo Vermelho Distrófico, como limitante à produção das plantas, observa-se que os valores de densidade do solo não atingiram índices que possam ser considerados críticos à produção vegetal. Fato esse que indica que o uso praticado no SAF A, em ambas as profundidades, pode ser considerado como sistema conservacionista de uso da terra.

Analisando ainda as relações entre a densidade do solo e o VTP (Figura 6), pode-se observar que o aumento da densidade provoca diminuição no VTP. O SAF A e SAF B diferiram estatisticamente entre si quanto aos valores de densidade apenas na camada de 5-10 cm, no entanto, os valores de VTP variaram nestes sistemas apenas na camada de 0-5cm. Tendência semelhante foi observada por Da Ros et al. (1997) e Cavenage et al.

(1999) e Almeida (2008), que relataram aumento de volume total de poros, principalmente de macroporos com a diminuição da densidade do solo.

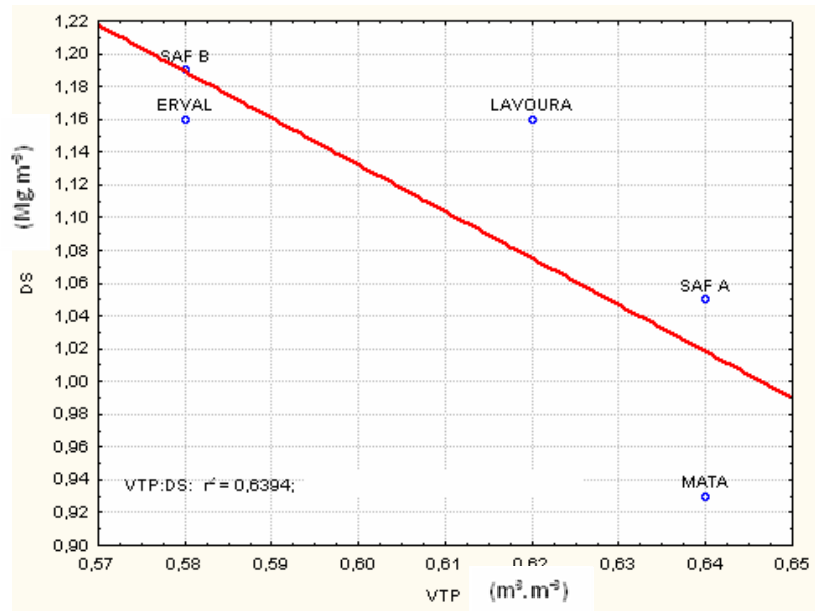


Figura 6. Volume total de poros em função da Densidade do solo na profundidade de 0-10 cm. MATA: mata nativa; SAF A: sistema agroflorestal A; SAF B: sistema agroflorestal B; ERVAL: plantio de erva-mate e LAVOURA: plantio convencional.

O VTP, na camada 0-5 cm de profundidade, nos sistemas SAF A e Mata foram superiores ($p < 0,05$) ao SAF B e Erval. O VTP verificado no SAF A mostrou-se superior ao Erval, que não diferenciou da Mata, na camada de 5-10 cm de profundidade. Comportamento semelhante ocorreu para os índices de macroporosidade na camada 0-5cm, ou seja, com o aumento da macroporosidade houve também acréscimo no volume total de poros (VTP) (Figura 7).

Tormena et al. (1998) verificaram redução de até 28% na quantidade de macroporos quando comparado uma área cultivada com uma área não cultivada. A redução na macroporosidade tem grande efeito sobre o desenvolvimento radicular das plantas e sobre a velocidade de infiltração de água, já que nestas condições o solo possui pouca aeração (Cintra et al., 1983), principalmente em solos argilosos. De acordo com Tormena

et al. (1998), valor de aeração inferior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ limita o crescimento radicular, porém esse valor varia segundo a espécie vegetal e o nível de atividade biológica do solo. Feng et al. (2002) citam que para solos argilosos valores de macroporosidade menores que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ já causam inibição ao suprimento adequado de oxigênio às plantas, sendo necessários valores mais altos que este referido para uma adequada porosidade de aeração. Mas, de maneira geral, o valor dado como crítico às plantas é $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (PAGLIAI et al., 1992). No presente estudo, os valores observados no Quadro 2 são superiores à $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, na profundidade de 0-5 cm, e superiores à $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, na profundidade 5-10 cm, o que não implica comprometimento quanto ao suprimento de oxigênio adequado às plantas.

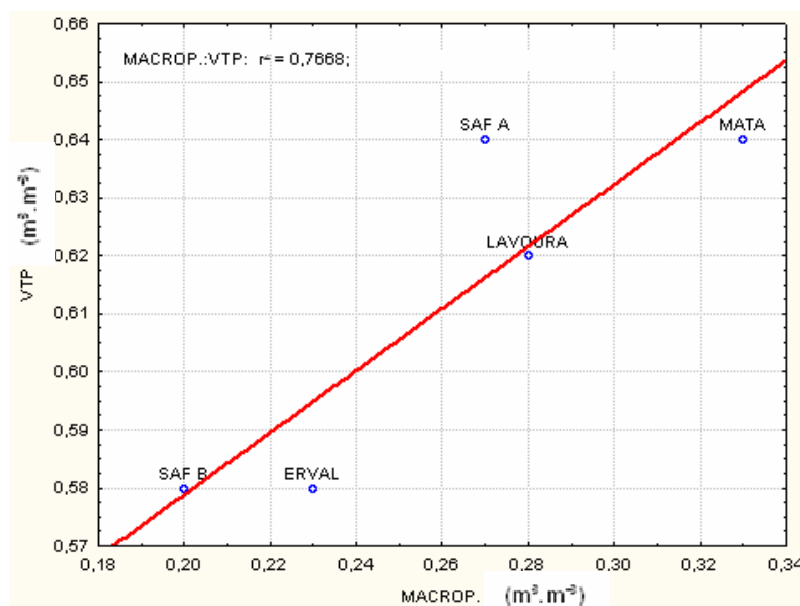


Figura 7 . Macroporosidade em função do volume total de poros (VTP) para os sistemas avaliados na profundidade de 0-5 cm. MATA: mata nativa; SAF A: sistema agroflorestal A; SAF B: sistema agroflorestal B; ERVAL: plantio de erva-mate e LAVOURA: plantio convencional.

Quanto aos valores de microporosidade, na profundidade de 0-5 cm, os SAFs A e B não apresentaram diferença significativa entre si, mas foram superiores à Mata ($p < 0,05$). Lavoura e Erval não diferiram estatisticamente dos SAFs A e B, como também da Mata. Entretanto, na profundidade 5-10 cm, a Mata apresentou microporosidade inferior ao SAF

A, SAF B e Erval (Quadro 2). Os valores de microporosidade encontrados nos SAFs foram maiores que os valores encontrados para a Mata nas duas profundidades, enquanto os valores observados na Lavoura não diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) da Mata, em ambas as profundidades. O SAF B diferiu estatisticamente apenas da área de mata, quanto ao atributo microporosidade. O volume de microporos semelhantes nos SAFs não era esperado uma vez que o solo apresentou menores teores de argila para o SAF B em relação ao SAF A (Quadro 3). No entanto, os valores mais elevados de silte podem ter propiciado um maior ajuste de partículas face a face, promovendo maior microporosidade neste sistema (RESENDE et al., 2003). Possivelmente, a microporosidade foi influenciada pela estrutura menor e pela textura do solo. Nesse sentido, destaca-se também, a diferenciação nos teores de argila, onde, no SAF A, o valor mostrou-se superior a 60% e, para SAF B pouco mais de 40% de argila. Estudos realizados por Ferreira et al. (1999), em latossolos brasileiros, mostraram que os solos mais argilosos podem não apresentar maior microporosidade, fato que é justificado pelos autores pelo importante papel da mineralogia em determinar a estrutura. Além disso, em estudos realizados por Vitorino et al. (2003), observar-se que é possível encontrar solos com argila agregada em tamanho de silte, fato que aumenta a microporosidade e a funcionalidade das partículas.

Quadro 3. Distribuição de partículas, por tamanho, e carbono orgânico na camada de 0-10 cm para os diferentes ambientes estudados.

Uso do Solo ⁽¹⁾	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (mg/g)
SAF A	26,20	8,20	65,60	27,25 bc
SAF B	36,20	23,20	40,60	23,38 cd
LAVOURA	44,50	21,50	34,00	20,35 d
ERVAL	28,60	20,80	50,60	24,06 cd
MATA	34,35	23,20	42,30	30,64 ab

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (0,05 de probabilidade). ⁽¹⁾ MATA: mata nativa; SAF A: sistema agroflorestal A; SAF B: sistema agroflorestal B; ERVAL: plantio de erva-mate e LAVOURA: plantio convencional.

Quanto aos teores de carbono orgânico (Corg), os valores para SAF A e Mata diferiram dos valores encontrados na Lavoura, na camada 0-10 cm, o que pode estar relacionado à redução nos teores de carbono nas camadas mais superficiais, que segundo Silva et al.(1999), ocorre não só pela exposição das frações orgânicas aos microrganismos, mas também pela quebra dos macroagregados com o revolvimento do solo. Altieri (2002) ressalta que a fonte de Corg do solo em sistemas naturais é a própria vegetação nativa, enquanto que em agroecossistemas, o maior aporte de Corg tem na sua origem, além da mata nativa, a decomposição dos resíduos vegetais de outras culturas que compõe o sistema. Pérez et al.(2004) identificaram sistemas agroecológicos com maiores teores de carbono, quando comparado a sistemas convencionais de cultivo. Isso se deve ao aumento nos níveis de Corg do solo em função do maior acúmulo de resíduos. Isso pode explicar os resultados obtidos para o SAF B, tendo em vista o menor acúmulo de material sob a superfície do solo em relação ao SAF A. Menezes et al.(2008) verificaram que, em sistemas com culturas anuais e sob pousios de curta duração, as porcentagens de C estão entre 50 a 60%, respectivamente, enquanto nos sistemas agroflorestais, esses valores podem chegar a 100%.

Observando o dendograma de similaridade dos indicadores físicos do solo (Figura 9), verifica-se que a Mata constitui-se num grupo independente dos demais, com características que diferiram este sistema de todos os outros avaliados. Num segundo nível, a Lavoura destacou-se do agrupamento formado pelos SAFs A e B e Ercal. Isso condiciona os resultados obtidos pela Lavoura a uma menor similaridade em relação aos obtidos para SAF A, SAF B e Ercal. Nesse sentido, a análise indica que os sistemas de cultivo com utilização de espécies arbóreas, como é o caso do SAF A, SAF B e Ercal, apresentaram resultados que diferiram tanto da Mata, considerado o sistema natural e, portanto, o referencial de ambiente em equilíbrio, como também da Lavoura, sistema menos conservacionista, sem cobertura do solo e com utilização de máquinas no manejo do sistema.

Nesse sentido, evidencia-se que a vegetação arbórea melhora a qualidade do solo, pois é responsável por benefícios como proteção do solo contra o impacto das gotas da chuva e mantém os teores de matéria orgânica, melhorando assim as propriedades físicas do solo (ALTIERI, 2002). Desse modo, os resultados obtidos indicam que os sistemas que possuem componentes arbóreos, total ou parcialmente, (Mata, SAFs e Ercal) minimizam

os impactos aos atributos físicos, contrário ao que ocorre no sistema de manejo com revolvimento e ausência de cobertura do solo (Lavoura).

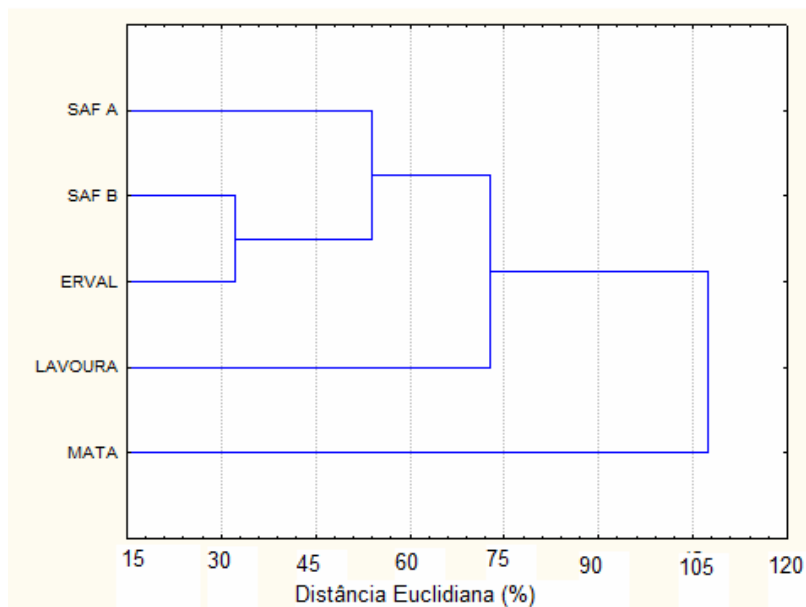


Figura 8. Dendrograma dos diferentes usos do solo, mostrando a distância euclidiana, de acordo com os atributos físicos avaliados nas profundidades de 0-5cm e 5-10cm. MATA: mata nativa; SAF A: sistema agroflorestal A; SAF B: sistema agroflorestal B; ERVAL: plantio de erva-mate e LAVOURA: plantio convencional.

4.2 Indicadores Biológicos - Biomassa microbiana do solo e índices derivados

Os teores de carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS), na camada 0-10cm, nos sistemas sob diferentes usos do solo variaram entre 758,02 e 388,71 $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco (Quadro 4). Valores obtidos no SAF A e SAF B não diferiram dos demais sistemas, enquanto que os valores atribuídos à Mata foram significativamente maiores do que os resultados encontrados para Lavoura na camada 0-10cm. Na camada 10-20 cm,

verificaram-se resultados de CBMS para SAF A, SAF B e Lavoura similares ($p < 0,05$) entre si, sendo menores em relação aos valores atribuídos à Mata e Ercal (Quadro 4).

Quadro 4. Atributos microbiológicos e matéria orgânica (MO) em função do uso do solo, nas profundidades de 0-10cm e 10-20cm.

Uso do Solo ⁽¹⁾	Carbono da BMS	Respiração Basal	Quociente Metabólico	Cmic/Corg ⁽²⁾	MO
	$\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco	$\mu\text{g C-CO}_2\text{g solo}^{-1}\text{dia}^{-1}$	$\mu\text{g C-CO}_2\cdot\mu\text{Cmic}^{-1}\text{h}^{-1}$	%	gkg^{-1}
Profundidade 0-10 cm *					
SAF A	557,87 ab	12,74 b	9,81 c	2,08 a	46,98 ab
SAF B	567,42 ab	24,67 a	19,07 a	2,43 a	40,31 bc
LAVOURA	388,71 b	16,67 b	18,35 ab	1,93 a	35,08 c
ERVAL	629,24 ab	15,76 b	11,39 bc	2,66 a	41,48 bc
MATA	756,63 a	24,44 a	13,51 abc	2,48 a	52,83 a
Profundidade 10-20 cm **					
SAF A	505,38 b	21,75 a	12,40 b	2,37 a	40,86 a
SAF B	452,40 b	21,86 a	20,20 a	2,17 a	27,31 b
LAVOURA	435,95 b	12,81 b	12,75 b	2,99 a	26,55 b
ERVAL	527,48 ab	11,04 b	9,4 b	2,70 a	33,98 ab
MATA	758,02 a	21,53 a	11,91 b	3,22 a	40,31 a

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$) na coluna correspondente à profundidade 0-10cm. ** Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$) na coluna correspondente à profundidade 10-20cm. (1) MATA: mata nativa; SAF A: sistema agroflorestal A; SAF B: sistema agroflorestal B; ERVAL: plantio de erva-mate; LAVOURA: plantio convencional. (2) Cmic/Corg = carbono da biomassa microbiana/carbono orgânico total do solo.

Os valores de CBMS obtidos na Mata (756,63 e 758,02 $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco) estão na faixa daqueles observados em diversas regiões do país, sob condições edafoclimáticas diversas, de acordo com uma compilação de dados apresentada por Roscoe et.al. (2006). Estes autores relacionam os maiores valores de CBMS encontrados nos sistemas naturais, os quais variaram entre 101 e 1.520 mg C.kg^{-1} de solo, aos teores mais elevados de carbono orgânico total. No entanto, ressaltam que somente em ambientes com teores muito baixos de carbono foram identificados valores abaixo de 350 mg C kg^{-1} de solo.

Na Figura 9, foram identificados três grupos distintos relacionados à MO e CBMS. As correlações indicam a aproximação do SAF A com a Mata, que apresentou maiores teores de MO em relação ao SAF B, Ercal e Lavoura, na camada 0-10 cm (Quadro 4). Nesse sentido, o SAF B apresentou valores que melhor se correlacionaram com a Lavoura. O sistema com Ercal diferiu apenas da Mata, na profundidade 0-10cm. Em outros estudos, envolvendo vários tipos de solo e ambientes, também foi observada correlação positiva para MO e CBMS (ROSCOE et al., 2006).

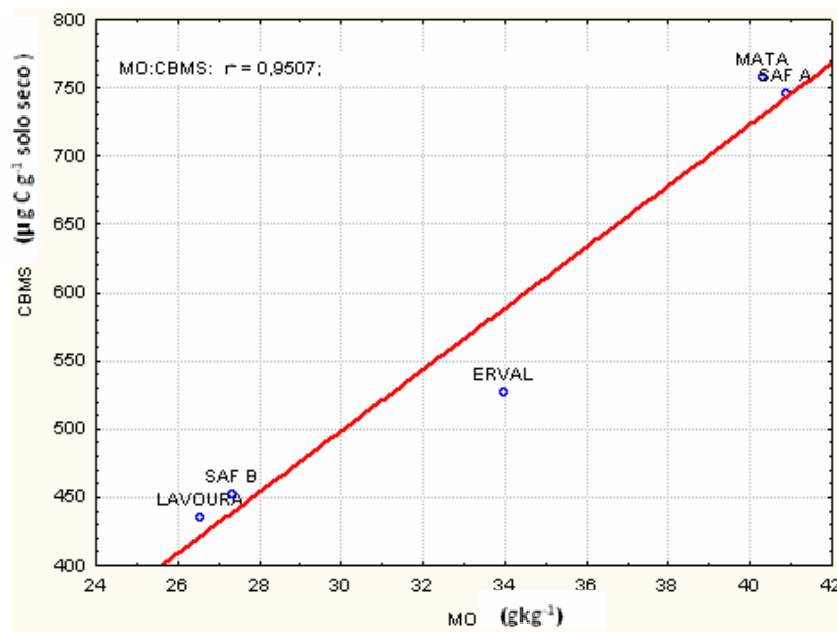


Figura 9. Carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) em função do teor de matéria orgânica (MO), considerando áreas sob diferentes sistemas de uso do solo. MATA: mata nativa; SAF A: sistema agroflorestal A; SAF B: sistema agroflorestal B; ERVAL: plantio de erva-mate e LAVOURA: plantio convencional.

Os valores de CBMS variaram em profundidade no SAF A, SAF B e Ercal (Figura 11), apresentando reduções significativas ($p < 0,05$) nas camadas inferiores do solo. A maior concentração de CBMS na camada 0-10cm pode ser explicada pelo acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo, assim como da matéria orgânica e o carbono orgânico do solo, como observado por Fialho et al. (2005). Ao longo do tempo, os métodos de preparo do solo, como no caso da lavoura, podem interferir na quantidade de carbono orgânico total e sua distribuição no solo (Geraldes et al., 1995).

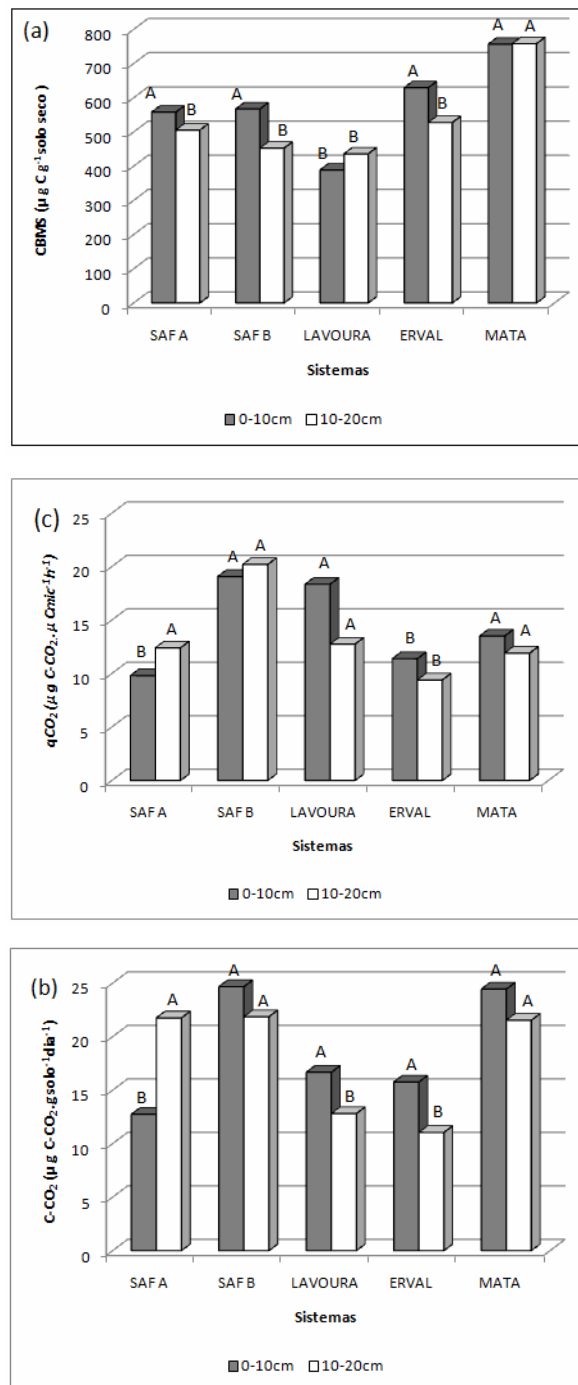


Figura 10. Carbono da Biomassa (a), Respiração basal (b) e Quociente metabólico (c) comparados em diferentes profundidades nos sistemas avaliados. MATA: mata nativa; SAF A: sistema agroflorestal A; SAF B: sistema agroflorestal B; ERVAL: plantio de erva-mate; LAVOURA: plantio convencional.

A ausência do preparo do solo em sistemas mais próximos das condições naturais, como SAFs, resulta em maior presença de raízes, que são responsáveis pela entrada de

substratos carbonados, promovem a diversidade de espécies e favorecem o desenvolvimento microbiano (MENDES et al., 2001). Para Amado et al. (2001), a utilização de plantas com sistema radicular bem desenvolvido como os adubos verdes, propiciam resultados que indicam o aumento dos estoques de CO e N total no solo.

Esta opção de uso de adubos verdes com leguminosas são fundamentais para melhoria da qualidade ambiental, já que são responsáveis pela reciclagem de nutrientes, tendo em vista a grande produção e acúmulo de fitomassa por unidade de área, além de conter concentrações elevadas de nutrientes na parte aérea. Isso demonstra a alta capacidade e eficiência destas espécies em recuperar os nutrientes lixiviados para as camadas mais profundas do solo (TANAKA, 1981). Além disso, a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais retornados ao solo proporcionam a ocorrência de menor variação de temperatura e umidade, que contribuem para o desenvolvimento microbiano (OLIVEIRA et al., 2001).

Os valores mais significativos de respiração basal, na profundidade de 0-10cm, foram para SAF B e Mata (24,67 e 24,44 μ g C-CO₂ .g solo⁻¹.dia⁻¹). Entre as profundidades (0-10cm e 10-20cm) não houve diferença estatística tanto para SAF B como Mata (Figura 11). Mercante et al. (2008) também observaram maior liberação de C-CO₂ em mata nativa, contudo, entre os outros sistemas de manejo avaliados com diversas coberturas de solo e plantio convencional, não foram verificadas diferenças significativas.

Ainda na camada de 0-10 cm, a respiração basal no SAF A não diferiu significativamente da área de Erval e Lavoura; enquanto que na camada de 10-20cm, os valores de SAF A foram similares à SAF B e Mata. Na camada de 10-20cm, os menores valores foram obtidos nos sistemas Erval e Lavoura. Em estudo realizado por Moreira e Costa (2004), os valores verificados para atividade respiratória em sistemas de reflorestamento em clareiras na Amazônia, com idades entre 0 e 4 anos, também foram menores em relação à área de mata nativa. A partir do décimo ano, a respiração basal foi similar, equiparando-se aos sistemas de floresta primária. Essa resposta, apresentando uma menor taxa de liberação de CO₂ nos primeiros anos, é um indicativo da diminuição da atividade metabólica, que está diretamente relacionada aos níveis de C na matéria orgânica (FERNANDES, 1999).

Segundo Balota et. al. (1998), a respiração basal tende a diminuir em agrossistemas mais estáveis, porém, com a substituição da cobertura vegetal, a deposição dos resíduos orgânicos também é mais acelerada, aumentando assim o quociente metabólico. Por outro

lado, a incorporação de resíduos ao solo no momento do preparo para plantio das culturas aumenta o quociente metabólico, que sugere, em casos onde os valores de C são menores, que ocorra um aumento da biomassa microbiana e diminuição da atividade metabólica.

Gama-Rodrigues et al. (1997) observaram valores de respiração microbiana maiores em sistemas com diferentes espécies florestais. No sistema cultivado com eucalipto e pinheiro, os valores foram menores em comparação com angico e capoeira. Esses resultados sugerem que há uma maior taxa de decomposição quanto maior a taxa de respiração específica da biomassa microbiana.

Os valores do quociente metabólico na camada de 0-10 cm para o SAF A diferiram estatisticamente de SAF B e Lavoura (Quadro 4). Além disso, SAF A foi o sistema que apresentou maiores valores para este índice na profundidade 10-20 cm, quando comparada com a camada superior (Figura 11). Os resultados para Mata foram iguais estatisticamente em relação aos demais sistemas analisados. Os valores no SAF B para respiração basal foram elevados, assim como foi observado também para o quociente metabólico (qCO_2). Baretta et. al. (2005) verificaram, em campo nativo e mata natural, os menores valores para quociente metabólico em relação a monocultivos e áreas submetidas a queima. Estes maiores valores de qCO_2 indicam maiores perdas de carbono no sistema na forma de CO_2 por unidade de carbono microbiano. Considera-se, portanto, que os sistemas naturais, com menores valores de qCO_2 e, portanto, menores perdas de carbono, possuem características que os tornam mais estáveis ou equilibrados.

Estudos conduzidos por Santos et al. (2004) indicaram que o quociente metabólico apresentou variação significativa entre diferentes sistemas de manejo do solo com cultivos anuais na camada de 0-5 cm, sendo os maiores índices encontrados para as condições de mata natural. A incorporação de resíduos, com predominância de gramíneas e leguminosas nativas, resulta em maior atividade dos microrganismos e, portanto, aumento no quociente metabólico.

Os sistemas estudados não apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) quanto à relação C_{mic}/C_{org} (Quadro 4). No entanto, os valores absolutos mais elevados de quociente microbiano foram identificados no Erval, na camada 0-10cm, e Mata, na camada 10-20cm. Behera e Sahani (2003), ao compararem solos de vegetação natural com os de plantio de eucalipto em solos tropicais, observaram maiores valores de quociente microbiano na área de mata. Maiores valores indicam condições mais apropriadas para o desenvolvimento microbiano, as quais podem decorrer da adição de MO de boa qualidade.

A serapilheira é particularmente importante por atuar na superfície do solo como um sistema de entrada e saída, recebendo entradas via vegetação e, por sua vez, decompondo-se e suprindo o solo e as raízes com nutrientes e matéria orgânica, sendo essencial na restauração da fertilidade do solo em áreas em início de sucessão ecológica (ALTIERI, 2002).

A decomposição dos resíduos orgânicos que formam a serapilheira é o principal processo de ciclagem de nutrientes em um ecossistema florestal (MONTAGNINI & JORDAN, 2002). Budowski (1991) comenta que sistemas agroflorestais, diferentemente da silvicultura convencional, podem incluir neste modelo de produção espécies forrageiras, fixadoras de nitrogênio, como também aquelas que possuem sistema radicular profundo e, portanto, contribuem para diminuir a competição com as culturas agrícolas nas camadas mais superficiais do solo, além de espécies cuja serapilheira forneça biomassa adequada para proteção do solo.

Analisando o dendograma de similaridade para os atributos microbiológicos (carbono da biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico e quociente microbiano) e matéria orgânica, na profundidade de 0-10cm, pode-se observar, que houve a formação de um grupo independente formado pela lavoura, que diferiu quanto a esses atributos para os demais sistemas avaliados (Figura 11). Num segundo nível, a Mata apresentou características distintas dos outros sistemas com vegetação arbórea (SAF A, SAF B e Eral).

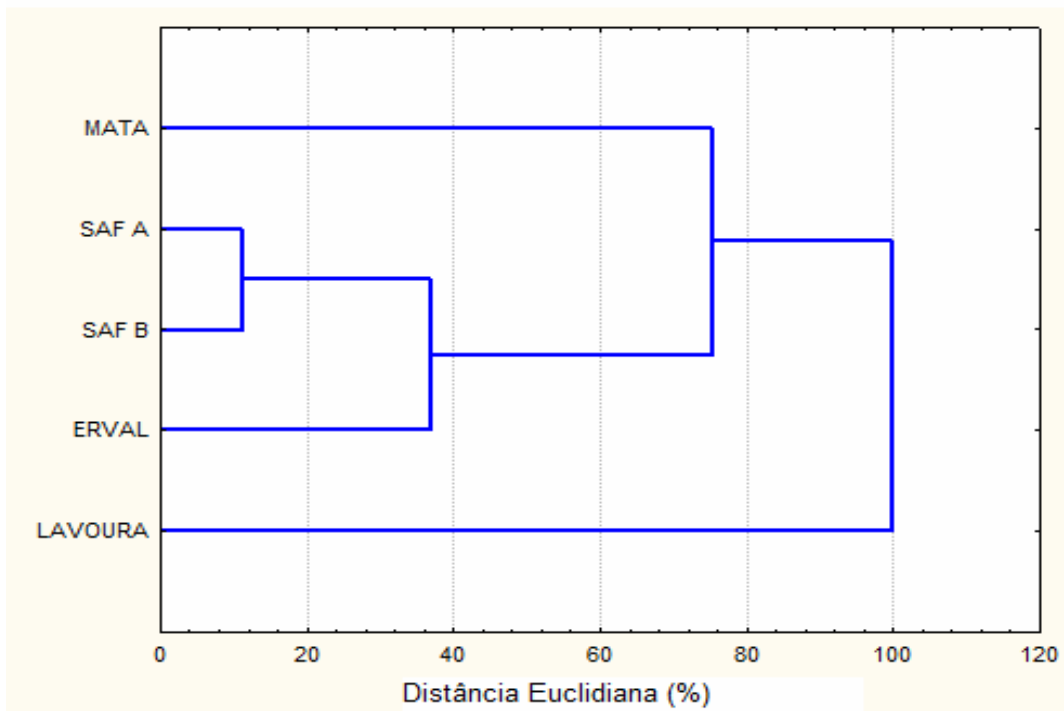


Figura 11. Dendrograma dos diferentes usos do solo, mostrando a distância euclidiana, de acordo com os atributos microbiológicos e matéria orgânica do solo, avaliados na profundidade de 0-10 cm. MATA: mata nativa; SAF A: sistema agroflorestal A; SAF B: sistema agroflorestal B; ERVAL: plantio de erva-mate e LAVOURA: plantio convencional.

Na figura 12, pode-se observar, na profundidade de 10-20 cm, que a área de Mata e SAF A formaram um grupo com características diferenciadas dos demais, formando um grupo independente. Cabe salientar que os teores de MO na camada de 10-20 cm foram inferiores para SAF B e Lavoura, quando comparados ao SAF A e à Mata (Quadro 4). Isso demonstra a importância deste atributo em relação aos indicadores microbiológicos, evidenciado por esta condição que influenciou no agrupamento.

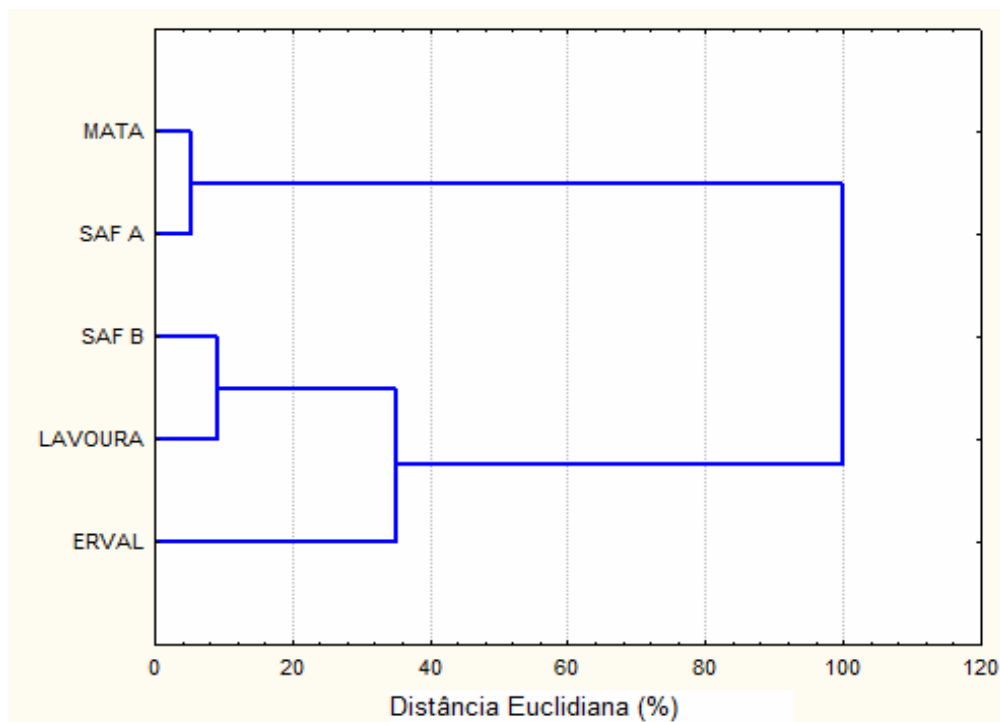


Figura 12. Dendrograma dos diferentes usos do solo, mostrando a distância euclidiana, de acordo com os atributos microbiológicos e matéria orgânica, avaliados na profundidade de 10-20 cm. MATA: mata nativa; SAF A: sistema agroflorestal A; SAF B: sistema agroflorestal B; ERVAL: plantio de erva-mate e LAVOURA: plantio convencional.

Considerando que os SAFs são sistemas relativamente jovens e diferem quanto à composição das espécies, então pode-se considerar que a sua estabilidade é influenciada pelo tempo de adaptação do sistema, para que o mesmo promova o incremento de matéria orgânica em quantidade e qualidade, favorecendo o desenvolvimento da comunidade microbiana do solo.

Na análise do dendrograma de similaridade nas profundidades de 0-10cm e 10-20cm conjuntamente, considerando os atributos físicos, microbiológicos e matéria orgânica, Lavoura foi o sistema que se apresentou diferente dos demais (Figura 13). Num segundo nível, o sistema com Erval diferiu dos grupos formados pelos SAFs e Mata.

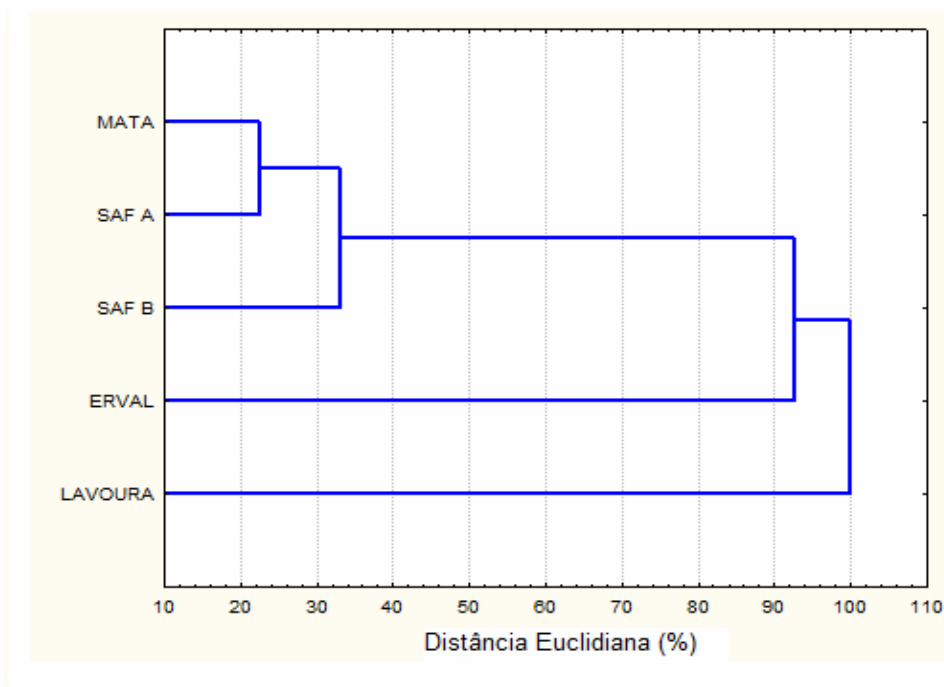


Figura 13. Dendrograma dos diferentes usos do solo, mostrando a distância euclidiana, de acordo com os atributos físicos, microbiológicos e matéria orgânica (profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm). MATA: mata nativa; SAF A: sistema agroflorestal A; SAF B: sistema agroflorestal B; ERVAL: plantio de erva-mate e LAVOURA: plantio convencional.

Tendo em vista os atributos avaliados, entende-se que os sistemas cujo aporte de matéria orgânica é maior e faz uso e manejo destes ambientes não revolvendo o solo, propiciam maior qualidade do solo. Nesse sentido, o SAF A foi o ambiente que mais aproximou-se das características ideais, considerando a mata como referencial comparativo para uma condição de equilíbrio e estabilidade.

Dentre os sistemas avaliados, o SAF A foi o que apresentou os índices mais próximos comparados à área de vegetação natural (Mata), o que implica afirmar que a diversificação das espécies, a qualidade e quantidade da matéria orgânica, como também o solo com maiores teores de argila (Quadro 3), promoveram melhores resultados. A rapidez de resposta que algumas espécies possuem na melhoria das condições, químicas, físicas e biológicas do solo, como adubos verdes (feijão, guandu e crotalaria) e gramíneas, como o napier, podem explicar algumas relações observadas no SAF A e com menos intensidade nos SAF B e Ercal. Isso demonstra que algumas espécies podem favorecer as interações

num ambiente mais rapidamente do que outras, no entanto, o manejo ao longo do período de existência deste ambiente é também um fator implicante para interferir na qualidade do solo, como observado na área de lavoura, que indicou ser o ambiente mais afetado nas condições avaliadas.

Quanto ao tempo de implantação dos sistemas, o Ercal, que também é o sistema mais antigo, apresentou características similares ao SAF B. Mesmo não apresentando diversidades de espécies, apenas erva-mate, o acúmulo de resíduos que favoreceu a cobertura do solo durante mais de 18 anos e o fato de não haver revolvimento do solo nesta área, pode ter contribuído em grande parte para alcançar os resultados obtidos.

CONCLUSÕES

Os parâmetros usados como indicadores de qualidade do solo mostraram potencial nas avaliações para detectar alterações nos sistemas estudados.

O componente arbóreo presente nos sistemas SAF A, SAF B, Ercal e Mata, promoveu a melhoria da qualidade do solo.

A diversidade de espécies no SAF A, incluindo as espécies de adubos verdes, promoveu melhoria na qualidade do solo quando comparado aos demais sistemas de manejo (SAF B, Ercal e Lavoura). Por outro lado, os sistemas de monocultivo (Lavoura e Ercal) foram menos eficientes do que os sistemas com diversidade de espécies na sua composição. O monocultivo, com plantio convencional, apresentou alterações próximas da condição de estresse ou desequilíbrio no sistema, ocasionado pelo manejo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D.L.; GUERRA, J.G.M. **Uma experiência de pesquisa em agricultura orgânica: “fazendinha agroecológica- km 47”**. Disponível em: http://www.pronaf.gov.br/ater/arquivos/27_Experiencia_em_Pesquisa_Agric_Org.pdf. Acesso: 26 mai. 2008.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 592 p.

ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W. & REGAZZI, A.J. Crescimento de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **R. Bras. Ci. Solo**, 20:319-326, 1996.

AMADO, T.J.C., NICOLOSO, R.S., LANZANOVA, M.E., SANTI, A.L. & LOVATO, T. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Ed. 89, Set/Out. Aldeia Norte, Passo Fundo, 2005.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p.189-197, 2001.

ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.857-865, 2000.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1099-1108, 2007.

ASSIS JUNIOR, S.L.; ZANUNCIO, J.C.; KASUYA, M.C.M.; COUTO, L. & MELIDO, R.C.N. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 35-41, 2003.

ASSIS, R.L.; LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho Distroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.515-522, 2005.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 641-649, 1998.

BARDGETT, R. D. et al. Dynamic interactions between soil animals and microorganisms in upland grassland soils amended with sheep dung: a microcosm experiment. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 30, n. 4, p. 531-539, 1998.

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

BAUHUS, J.; PARÉ, D.; CÔTÉ, L. Effects of tree species, stand age and soil type on soil microbial biomass and its activity in a Southern Boreal forest. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 30, 1998.

BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.7, p.677-683, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100204X2004000700009&script=sci_arttext&tln g=en>. Doi: 10.1590/S0100-204X2004000700009. Acesso em 31. Jun. 2008

BEHERA, N. & SAHANI, U. Soil microbial biomass and activity in response to Eucalyptus plantation and natural regeneration on tropical soil. **Forest Ecology and Management**, v. 174, p. 1-11, 2003.

BENDING, G. D.; TURNER, M. K.; RAYNS, F; MARX, M. C.; WOOD, M. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 36, n. 11, p. 1785-1792, Nov. 2004.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JÚNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas à do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.155-163, 2004.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 167-177, 2001.

BUDOWSKI, G. Aplicabilidad de los sistemas agroforestais **In: SEMINÁRIO SOBRE PLANEJAMENTO DE PROJETOS AUTO-SUSTENTÁVEIS DE LENHA PARA AMÉRICA LATINA E CARIBE**, 1991, Turrialba. **Anais ...** Turrialba: FAO, v.1 p. 161-167, 1991.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J. & NICOLODI, R. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.121-125, 1995.

CANELLAS, L. P.; BERNER, P. G.; SILVA, S. G. da; SILVA, M. B. e; SANTOS, G. de A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma toposequência no estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 133 – 143, 2000.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J. & ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 1153-1155, 2004.

CASALINHO, H.D.; MARTIUS,S.R; LOPES, A.S. Qualidade do solo em sistemas de produção de base ecológica: a percepção do agricultor. In: Anais do segundo congresso brasileiro de agroecologia. **Revista brasileira de Agroecologia**, v.2, n1, p. 59-62, 2007.

CASTRO, C. R. T.; LEITE, H. G.; COUTO, L. Sistemas silvipastoris: potencialidades e entraves. **Revista Árvore**, Viçosa, v.20, n.4, p.575-582, 1996.

CAVANAGE, A.; MORAES, M.L.T.; ALVES, M.C.; CARVALHO, M.A.C.; FREITAS, M.L.M. & BUZETTI, S.Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p.997-1003, 1999.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R.; Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.1381-1396, 2007.

CINTRA, F.L.D. & MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 197-201, 1983.

CLAESSEN, M.E.C. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa- NPS, 1997. (Documentos, 1).

CONCEIÇÃO, P.C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributosrelacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.5, p.777-788, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832005000500013&script=sci_arttext>. Doi: 10.1590/S0100-06832005000500013. Acesso em 25 mai. 2008.

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.289-298, 1999.

CRUZ, A.C.R.; PAULETO, E.A.; FLORES, C.A.; SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1105-1112, 2003.

DA ROS, C.O.; SECCO, D.; FLORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A. & PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: Efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 241-247, 1997.

DANIEL, O. ; SILVA, P. P. da ; SANTANA, A. G. ; VIVIANE, C. A. ; GOMES, C. F.; CAROLINO, M. A. . Diagnósticos de sistemas agroflorestais em uma propriedade de Amambai, Mato Grosso do Sul. In: VI Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 2006, Campos. Resumos do Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais. Campos : SBSAF/UENF, 2006. v. CD. p. 1-6.

DANIEL, O.; COUTO, L.; GARCIA, R.; PASSOS, C. A. M. Proposta para padronização da terminologia empregada em sistemas agroflorestais no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.23, n.3, p.367-370, 1999a.

DANIEL, O.; COUTO, L.; VITORINO, A. C. T. **Sistemas agroflorestais como alternativas sustentáveis à recuperação de pastagens degradadas**. In: SIMPÓSIO - SUSTENTABILIDADE DA PECUÁRIA DE LEITE NO BRASIL, 1., 1999, Goiânia. **Anais...** Juiz de Fora: Embrapa-CNPGL, 1999b. p.151-170.

DANTAS, M. **Aspectos ambientais dos sistemas agroflorestais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ECOSSISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., 1994, Porto Velho. **Anais...** Colombo: Embrapa-CNPFL, 1994. p.433-453. (Documentos, 27)

DIAS JUNIOR, M.S.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S.; SILVA, A.R.; FERREIRA, D.F. Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural dos solos em sistemas florestais na região de Aracruz-ES. **Revista Árvore**, v.23, n.4, p.371-380, 1999.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In:Doran, J. W. et al. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. **American society of Agronomy special Publication**, v. 35, p. 3-21, 1994.

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. Soil health and sustainability. In: SPARKS, D.L. (Org.) **Advances in Agronomy**. Academic Press.,p.1-54,1996.

FENG, G.; WU, L. & LETEY, J. Evaluating aeration criteria by simultaneous measurement of oxygen diffusion rate and soil-water regime. **Soil Science**, v. 197, p. 495-503, 2002.

FERNANDES, E. C. M.; MATOS, J. C. S.; ARCO-VERDE, M. F.; LUDEWIGS, T. **Estratégias agroflorestais para redução das limitações químicas do solo para produção de fibra e alimento na Amazônia Ocidental.** In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ECOSSISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., 1994, Porto Velho. **Anais...**, Colombo: Embrapa-CNPQ, 1994. p.207-224. (Documentos, 27)

FERNANDES, S. A. P. **Propriedades do solo na conversão de floresta em pastagem fertilizada e não fertilizada com fósforo na Amazônia (Rondônia).** 1999. 131 f. Tese (Doutorado em Ciências - Energia Nuclear na Agricultura)- Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

FERREIRA, L. M. M. **Sistema Agroflorestal é alternativa sustentável para produção rural.** Agronline.com.br. 2005. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=230>>. Acesso em: 19 de agosto de 2009.

FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 513-524, 1999.

FIALHO, J. S. ; GOMES, V. F. F. ; SILVA JÚNIOR, J. M. T. da . Biomassa microbiana em solo sob cultivo de rotação na Chapada do Apodi - CE. **Caatinga**, v. 18, p. 251-260, 2005.

FRANKE, I.L. & FURTADO, S.C. **Sistemas Silvopastoris: fundamentos e aplicabilidade**, Rio Branco: Embrapa Acre, 2001, 51p. (Embrapa Acre **Documentos**, 74)

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & BARROS, N.F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p.361-365, 1997.

GERALDES, A.P.A.; CERRI, C.C. & FEIGL, B.J. Biomassa microbiana de solo sob pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p.55-60, 1995.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola.** Jaguariúna, 2006. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Gomes_Filizola_indicadoresID-u1keja1HAN.pdf> Acesso em 11 Julho, 2009.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A. da; SANTOS, J.B. dos; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical (UFG)**, v. 38, p. 118-127, 2008.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v. 8, n. 3, p. 209-213, 1976.

KAUTZ, G.; TOPP, W. Sustainable forest management for improving soil quality. **Forstwissenschaftliches Centralblatt**, v. 117, n. 1, p. 23-43, 1998.

KHATOUNIAN, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu: Agroecológica, 2001. 348 p.

LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3.p.209-248.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R.; RIBEIRO, A. I. Modificações na estabilidade de agregados no solo decorrentes da introdução de pastagens em áreas de cerrado e floresta amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 276-280, 1999.

LUNZ, A. M. P., MELO, A. W. F. **Monitoramento e avaliação dos principais desenhos de sistemas agrofloreais multiestratos do Projeto Reça**. Rio Branco: Embrapa-CPAF/AC, 1998. p.1-4. (Pesquisa em Andamento, n.134).

MACEDO, R. L. G. **Fundamentos básicos para implantação e manejo de sistemas agrofloreais**. In: MACEDO, R. L. G. Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agrofloreais. Lavras: UFLA/Faepe, 2000a. p.5-35.

MACEDO, R. L. G. **Sustentabilidade dos sistemas agrofloreais recuperadores de áreas degradadas e conservadores da biodiversidade tropical**. In: MACEDO, R.L.G. Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agrofloreais. Lavras: UFLA/Faepe, 2000b. p.143-157.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I.; FRAGA, T.I & LEITE, J.G.B. Recuperação de atributos físicos de um Argissolo em função do seu revolvimento e do tempo de semeadura direta. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 31:571-579, 2007.

MARIN, A. M. P. **Impactos de um sistema agrofloreais com café na qualidade do solo**. 2002. 83f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2002.

MARTINS, S. G., et al. Avaliação de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Revista Cerne**, v. 8, n. 1, p. 32-41, 2002.

MATSUOKA, M. et al. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas

MEDRADO, M. J. S. Sistemas agroflorestais: aspectos básicos e indicações. In: GALVÃO, A. P. M. (Org.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Colombo, PR Embrapa Florestas, 2000. p.269-312.

MEDRADO, M. J. S.; VILCAHUAMAN, L. J.; DOSSA, D.; RODIGHIERI, H. R.; DEDECEK, R. A. **Cultivo da Erva-Mate**. Embrapa Florestas. Sistemas de Produção, 1. ISSN 1678-8281 Versão Eletrônica. Nov./2005. Disponível em: < http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Erva-mate/CultivodaErvaMate/15_sistemas_agroflorestais.htm>. Acesso em: 19 de agosto de 2009.

MENDES, I.C. & VIVALDI, L.A. Dinâmica da biomassa e atividade microbiana em uma área sob mata de Galeriana região do Distrito Federal. In: RIBEIRO, J.F.; FONSECA, C.E.L. & SOUZA-SILVA, J.C., eds. **Cerrado, caracterização e recuperação de Matas de Galeria**. Planaltina, Embrapa – CPAC, 2001. p.665-687.

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

MENEZES, J. M. T. et al. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. 2008, vol.32, n.2, pp. 893-898.

MERCANTE, F. M. ; SILVA, R.F. ; FRANCELINO, C. S. F. ; CAVALHEIRO, J. C. T. ; OTSUBO, A. A. . Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, p. 479-485, 2008.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.;

MONTAGNINI, F.; JORDAN, C. F. Reciclaje de nutrientes. In: GUARIGUATA, M. R.; KATTAN, G. H. (Eds.). **Ecología y conservación de bosques neotropicales**. Cartago: Ediciones LUR, p. 167-191, 2002.

MONTOYA, L. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Estado da arte dos sistemas agroflorestais na região sul do Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ECOSSISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., 1994, Porto Velho. **Anais...** Colombo: Embrapa-CNPQ, 1994. p.77-96. (Documentos, 27)

MORAES, M.H. et al. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. **Bragantia**, v.54, n.2, p.393-403, 1995.

MOREIRA, A.; COSTA, D.G. Dinâmica da matéria orgânica na recuperação de clareiras da floresta amazônica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** . v.39, n.10, p.1013-1019, 2004.

MÜLLER, M.M.L. et al. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.3, p.531-538, 2001.

NAIR, P. K. R. **An introduction to Agroforestry**. The Netherlands, Kluwer Academic Publishers with ICRAF. 1993. p. 496.

OLIVEIRA, J.O.A.P.; VIDIGAL FILHO, P.S.; TORMENA C.A.; PEQUENO, M.G.; SCAPIM, C.A.; MUNIZ, A.S SAGRILO, E. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.25 p.443-450, 2001.

PAGLIAI, M.; Febo, P.; La Marca, M.; Lucamonte, G. Effetti del compattamento provocato da differenti tipi di pneumatici su porosità e struttura del terreno. **Rivista di Ingegneria Agraria**, Bologna, v.3, n.1, p.168-176, 1992.

PAULA, R. C. de; PAULA, N. F. de. Sistemas Agroflorestais. In: VALERI, S.V.; POLITANO, W; SENO, K.C.A.; BARRETO, A.L.N.M.(EDITORES) **Manejo e recuperação Florestal**. Jaboticabal, Funep. 2003, 180p.

PENA, Y.A.; GOMES, A.S.; SOUZA, R.O. Influência de diferentes sistemas de cultivo nas propriedades físicas de um solo de várzea cultivado com arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.517-523,1996.

PEREZ, K.S.S.; RAMOS, M.L.G.; McMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.567-573, 2004.

REINERT, D. J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V (Eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, SOBRADE, 1998. p. 163-176.

REZENDE, M. O. O. **O ciclo do carbono na natureza e a qualidade do solo no ponto de vista químico: A importância da matéria orgânica do solo no ciclo do carbono**. 2003. p.96.

ROSCOE, R. et al. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R. et al. (Ed.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 163-198.

SANCHEZ, P.A. Science in agroforestry. **Agroforestry Systems**, v.30, p.5-55, 1995.

SANTANA, D.P.; BAHIA FILHO, A.F.C. **Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado**. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16. 1998, Montpellier. Montpellier: ISSS, 1998.

SANTOS, C. A. P. **Qualidade de solos sob eucalipto fertirrigado no vale do Rio Doce-MG**. 2004. 60 f. Tese (Mestrado em Microbiologia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

SANTOS, M. J.; RODRIGUEZ, L. C. E.; WANDELLI, E. V. Avaliação econômica de quatro modelos agroflorestais em áreas degradadas por pastagens na Amazônia Ocidental. **Scientia Forestalis**, n. 62, p. 48-61, 2002.

SECCO, D.; DA ROS, C.O.; SECCO, J.K. & FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas de um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p.407-414, 2005.

SEYBOLD, C.A.; HERRICK, J.E.; BREJDA, J.J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. *Soil Science*, **New Brunswick**, v.164, p.224-234, 1999.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Interval hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal FUNEP, p. 1-18, 2002.

SILVA, C.A. & MACHADO, P.L.O.A. Seqüestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas: Estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2000. 23p. (**Documentos**, 19).

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 313-319, 1997.

SILVA, M.A.S. da; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v.35, p.544-552, 2005.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.533-542, 2004.

SUZUKI, L.E.A.S.; ALVES, M.C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, v.5, p.121-127, 2006.

TANAKA, R.T. Adubação verde. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.7, p.62-67, 1981.

TAYLOR, S.A.; ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology: the physics of irrigated on nonirrigated soils**. San Francisco: W.H. Freeman, 1972. 532p.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 2, p. 301-309, abr./jun. 1998.

TORMENA, C.A. et al. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n. 6, p.1023-1031, 2004.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: VENEGAS, V. H. A. et al. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2. p. 195-276, 2002.

UNGER, W.P.; KASPAR, T.C. Soil compaction and root growth: A review. **Agronomy Journal**, v.86, n.5, p.759-766, 1994.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biol. Biochem.**, v.19, p. 703-707, 1987.

VIEIRA, A.H.; LOCATELLI, M.; MACEDO, R. de S. **Sistemas agroflorestais e a conservação do solo**. Agronline.com.br. 2006. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=322>>. Acesso em: 19 de agosto de 2009.

VITORINO, A.C.T.; FERREIRA, M.M.; CURI, N.; LIMA, J.M.; SILVA, M.L.N. & MOTTA, P.E.F. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da Região Sudeste do Brasil. **Pesq. Agropec. Bras.**, 38:133-141,2003.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analyses**, v.19, p.1467-1476, 1989.

ZINN, Y. L. ; RESCK, D.V.S. ; LAL, R. . Carbono orgânico em solos do cerrado: efeito da textura e plantio de eucalipto. In: XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo, 2008, Rio de Janeiro. **Anais**, 2008.