



ARTIGO ORIGINAL

Carmen Regina Pezarico¹
Antonio Carlos Tadeu Vitorino^{2*}
Fábio Martins Mercante¹
Omar Daniel²

¹Embrapa Agropecuária Oeste, Rod. BR 163, Km 256,3, trecho Dourados-Caarapó, Zona Rural, 79800-000, Dourados, MS, Brasil

²Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Rod. Dourados-Itaum, Km 12, Zona Rural, CP 533, 79804-970, Dourados, MS, Brasil

**Este artigo faz parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, aprovada no Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

Autor Correspondente:

*E-mail: antoniovitorino@ufgd.edu.br

PALAVRAS-CHAVE

Agroecossistema
Atributos físicos
Biomassa microbiana

KEYWORDS

Agroecosystem
Physical attributes
Microbial biomass

Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais**

Indicators of soil quality in agroforestry systems

RESUMO: A utilização de sistemas agroflorestais (SAFs) para viabilizar a produção de alimentos é considerada, atualmente, uma alternativa possível e eficaz para garantir a sustentabilidade, proporcionando melhoria nos aspectos voltados para conservação dos recursos naturais. O objetivo foi avaliar atributos físicos e microbiológicos, e conteúdo de carbono orgânico de dois sistemas de manejo agroflorestais (SAF A e SAF B). Esses sistemas foram então comparados a outros sistemas de produção (Erval em sistema silvicultural e Lavoura com soja), além de uma área sob vegetação natural (Mata), como referência da condição original do solo. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e cinco repetições. Os atributos físicos avaliados foram: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, volume total de poros e textura. Avaliaram-se ainda o carbono da biomassa microbiana do solo, a atividade microbiana e os quocientes metabólico e microbiano. Dentre os sistemas avaliados, o SAF A foi o que apresentou os índices de qualidade do solo mais próximos à área de vegetação nativa (Mata). A área de lavoura foi o ambiente mais afetado quanto à qualidade do solo, indicando tendências de degradação ambiental com o uso continuado do monocultivo. Por outro lado, a diversificação das espécies nos SAFs possibilitou condições mais favoráveis para a melhoria da qualidade do solo, quando comparados aos sistemas sob monocultivo.

ABSTRACT: Nowadays, the utilization of agroforestry systems to enable food production, providing improvement in the aspects that deal with the conservation of natural resources, is considered a possible and effective alternative to guarantee sustainability. Therefore, the objective of this research was to evaluate the physical, chemical and microbiological attributes of two different agroforestry management systems (AMS-A and AMS-B) compared to other production systems: Herbal - silvicultural system with exploration of mate herb; Crop - area with soybean, and Forest - a yardstick (control) area of natural vegetation. The design was entirely randomized with five treatment systems and five replications. Organic matter was the chemical attribute evaluated. The physical attributes identified were soil density, macroporosity, microporosity, total porosity (Pt) and texture. The following soil microbiological attributes were also studied: microbial biomass carbon (MBC), microbial activity (C-CO₂) organic carbon, and microbial and metabolic quotients (qCO₂). Among the systems analyzed, the AMS-A presented the closest quality indexes compared to the native vegetation (Forest). The crop area was the most affected environment regarding soil quality, indicating a tendency to environmental degradation with the continued use of monoculture. On the other hand, the diversification of species in the agroforestry systems, when compared to systems under monoculture, favored the improvement of soil quality.

1 Introdução

Os sistemas agroflorestais (SAFs) constituem uma alternativa de produção agropecuária que busca minimizar o efeito da intervenção humana nos sistemas naturais. A consorciação de várias espécies dentro de uma área aumenta a diversidade do ecossistema, em que as interações benéficas são aproveitadas entre as plantas de diferentes ciclos, portes e funções (FEIDEN, 2009). Os SAFs 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 (SILVEIRA, 2005).

Alguns estudos recentes têm apontado para a redução de estoques de carbono microbiano em sistemas menos estáveis, como pastagem e plantio convencional, quando comparados a áreas de mata nativa ou ambientes similares, como sistemas agroflorestais (ALVES et al., 2011; LIMA et al., 2011; LOURENTE et al., 2011). Estes últimos são responsáveis por promover maior produção de biomassa aérea e subterrânea, assim como a cobertura do solo, favorecendo o acúmulo de carbono e a manutenção da fertilidade do solo por meio de uma ciclagem mais eficiente de nutrientes e da redução de perdas por lixiviação e erosão (GAMA-RODRIGUES et al., 2008; PORTUGAL et al., 2008).

Além desses benefícios, a utilização de SAFs na recuperação de áreas degradadas tem apresentado resultados que contribuem significativamente para a melhoria das propriedades físico-químicas dos solos, assim como propiciam condições mais favoráveis para o estímulo da atividade dos microrganismos; esta é resultante, principalmente, do grande aporte de matéria orgânica ao solo. Outras vantagens ou atribuições dos SAFs destacam-se, como a elevada capacidade de produção de biomassa vegetal e a ocupação de diferentes estratos arbóreos, proporcionando maior eficiência no aproveitamento da radiação solar e na exploração de maior volume de solo (DUBOIS, 2009).

Assim, considerando-se a necessidade de obtenção de sistemas mais equilibrados, com a utilização adequada dos recursos naturais, torna-se essencial a busca de alternativas de sistemas de produção, que visem à sustentabilidade ambiental (ARAÚJO; GOEDERT; LACERDA, 2007). Os atributos físicos de qualidade do solo revelaram grande similaridade entre áreas de pastagem e florestas, enquanto houve grande disparidade entre outros sistemas menos conservacionistas (MELLONI et al., 2008). Outros aspectos relacionados aos atributos químicos foram relatados por Lima et al. (2011), que compararam um SAF com sistemas de queima e corte, e sistemas de base agroecológica, sendo que o SAF obteve resultados mais eficientes no aumento de estoques de carbono orgânico e nitrogênio do solo. Neste contexto, a qualidade do solo é definida como a sua capacidade de funcionar, dentro dos limites do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade da água e do ar, e promover a saúde de plantas e animais.

De modo geral, os indicadores mais recomendados para avaliação da qualidade do solo em função do seu uso e manejo são aqueles que respondem às variações ambientais e podem sofrer mudanças em curtos e médios prazos. Os atributos microbiológicos são eficientes indicadores de alterações nos atributos físicos em função do manejo e do uso do solo (LOURENTE et al., 2011). Para análise qualitativa dos solos, os indicadores microbiológicos – como carbono da biomassa microbiana, respiração microbiana e quociente metabólico – têm sido frequentemente sugeridos como mais sensíveis aos impactos causados pelo manejo, tendo em vista que estes sistemas influenciam constantemente na atividade metabólica dos microorganismos do solo (ALVES et al., 2011).

O objetivo foi avaliar o impacto de sistemas agroflorestais utilizando-se de atributos físicos, químicos e biológicos como indicadores para aferir a qualidade do solo.

2 Material e Métodos

O estudo foi realizado no ano agrícola 2007/2008, no município de Amambai-MS, em solo classificado como Nitossolo Vermelho de textura argilosa em relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2009).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com cinco tratamentos e cinco repetições. Foram avaliados dois sistemas de manejo agroflorestais (SAF A e SAF B), comparados a outros sistemas de produção (Ervál, em sistema silvicultural, e Lavoura, com soja), além de uma área sob vegetação natural (Mata), como referência da condição original do solo. O SAF A foi implantado havia sete anos, com cerca de 45 espécies, sendo as plantas dispostas em linhas. Nas entrelinhas, há cultivo de adubos verdes, entre os quais predomina o feijão-guandu (*Cajanuscajan* (L.) Millsp.). O SAF B foi instalado havia nove anos no local, com aproximadamente 61 espécies, sendo todas originárias da flora local. Nos dois SAFs, o produtor havia realizado podas a fim de evitar o sombreamento que espécies de porte mais alto pudessem promover nos estratos inferiores. Estas podas são feitas no sentido transversal da declividade e os materiais são picados e depositados na superfície. A área de lavoura era explorada com cultivo de soja em plantio convencional na safra de verão e milho segunda safra (safrinha), havia pelo menos quatro anos, não sendo realizada, portanto, rotação de culturas. Anteriormente aos últimos quatro anos, a área havia sido ocupada com pastagem. A área com cultivo de erva mate (Ervál) se mantém há 20 anos. No Ervál, parte do material resultante da poda das árvores permaneceu no sistema, favorecendo a cobertura do solo. O espaçamento entre plantas é de 2 m e, entre linhas, 4 m. A área com vegetação nativa (Mata) é classificada como Floresta Estacional Semidecidual e o clima da região caracterizado como Cfa (Köppen), subtropical úmido, com precipitação anual de 1.450 mm.

Para avaliação dos atributos físicos, foram coletadas amostras com estrutura preservada utilizando-se amostrador de Uhland, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm.

Para avaliação dos atributos químicos e microbiológicos, foram coletadas amostras deformadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. As análises químicas e físicas do solo foram realizadas de acordo com Claessen (1997).

Os atributos relacionados às determinações físicas foram: textura do solo; densidade do solo; porosidade total (Pt); micro e macroporosidade (CLAESSEN, 1997). Para determinação do carbono orgânico (Corg), foi utilizado o método apresentado em Yeomans e Bremner (1989). As análises do carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) foram realizadas pelo método de fumigação-extração (VANACE; BROOKES; JENKINSON, 1987), adotando-se o fator de correção para eficiência de extração (Kec) igual a 0,33. Determinou-se a respiração basal (C-CO₂), obtida pela incubação das amostras com captura de CO₂ em NaOH 0,5 mol L⁻¹, durante sete dias, pela adaptação do método da fumigação-incubação, proposto por Powlson e Jenkinson (1976). O quociente microbiano (qMIC) foi expresso em porcentagem, calculado pela fórmula (CBMS/Corg) × 100, e o quociente metabólico (qCO₂) foi obtido pela razão entre os valores da respiração basal e do carbono microbiano (µg µg⁻¹d⁻¹ de C-CO₂ do CBMS).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) para cada profundidade de amostragem. As variáveis também foram comparadas pela análise de agrupamento, por meio da distância euclidiana.

3 Resultados e Discussão

Os maiores valores de Porosidade total (Pt), na profundidade de 0-5 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 o Erval apresentaram os menores valores para esse atributo (Tabela 1). Os valores de Pt nos SAF A e SAF B variaram nestes sistemas apenas na camada de 0 a 5 cm. Tendência semelhante foi observada por Almeida e Guerra (2008), em sistemas agroecológicos, e por Silva et al. (2008), em cultivo de mandioca em sistema convencional, que relataram aumento de volume total de poros, principalmente de macroporos com a diminuição da densidade do solo.

Os valores de macroporosidade, na camada de 0-5 cm, seguem tendência semelhante àquela encontrada para a Pt,

ou seja, os valores no SAF B foram semelhantes ao Erval e ambos menores do que os valores encontrados nos demais ambientes (Tabela 1). Áreas de manejo florestal apresentaram redução dos índices de qualidade do solo em relação a sistemas agrossilvipastoris (pastagem+arroz+eucalipto+soja), quando comparadas a sistemas nativos (mata) (FREITAS et al., 2012). Na camada de 0-5 cm, observa-se diferença significativa do SAF B em relação aos sistemas SAF A, Mata e Lavoura. Na camada de 5-10 cm de profundidade, os valores de macroporosidade não diferiram ($p < 0,05$) entre os sistemas. No estudo de Silva et al. (2011), os valores de macroporosidade encontrados em áreas de mata nativa foram superiores em relação aos demais sistemas avaliados, como lavoura em sistema plantio direto e pastagem. 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). Collares et al. (2011) observaram redução de macroporosidade em ambientes sob integração lavoura e pastagem, relatando o papel do pisoteio animal em promover compactação nos primeiros centímetros do solo.

Os valores de densidade do solo, na profundidade de 0-5 cm, foram menores no fragmento com mata, os quais, por sua vez, foram menores do que os valores encontrados no SAF B, na Lavoura e no Erval. O SAF A não diferiu dos demais ambientes que sofreram algum tipo de ação antrópica para implantação de culturas ou pastagem, porém estes diferiram da Mata. O aumento excessivo da densidade do solo provoca diminuição da porosidade total, 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 (JAKELAITIS et al., 2008). Pignataro Netto, Kato e Goedert (2009) observaram que a densidade é um dos principais atributos que influenciam a qualidade do solo com diferentes níveis de degradação em pastagens.

Tabela 1. Atributos físicos em função dos sistemas de uso do solo nas profundidades 0-5 e 5-10 cm.

Sistemas de uso do solo ⁽¹⁾	Porosidade total (m ³ m ⁻³)	Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	Microporosidade (m ³ m ⁻³)	Densidade do solo (Mg m ⁻³)
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
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, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$) em cada profundidade. ⁽¹⁾MATA: mata nativa; SAF A: sistema agroflorestal A; SAF B: sistema agroflorestal B; ERVAL: plantio de erva-mate; LAVOURA: plantio convencional.

Analisando-se, ainda, as relações entre a densidade do solo e a Pt (Figura 1), observa-se que o aumento da densidade provoca diminuição na Pt. Os valores de densidade diferiram estatisticamente entre si nos SAF A e SAF B apenas na camada de 5-10 cm; no entanto, os valores de Pt variaram nestes sistemas apenas na camada de 0-5 cm.

Quanto aos valores de microporosidade, na profundidade de 0-5 cm (Tabela 1), 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 aos sistemas SAF A, SAF B e Erval (Tabela 1). Os valores de microporosidade encontrados nos SAFs foram maiores do 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. Esse resultado é atribuído à presença de matéria orgânica na superfície do solo, que favorece a formação de agregados, ocasionando melhoria na qualidade estrutural com aumento de macroporosidade na camada superficial; essa maior macroporosidade, em muitos casos, pode ser considerada uma vantagem, pois favorece as trocas gasosas e a infiltração de água.

Os teores de carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS), na camada de 0-10 cm, nos sistemas sob diferentes usos do solo, variaram entre 388,7 e 756,6 $\mu\text{g g}^{-1}$ de C no solo (Tabela 2). Valores obtidos nos SAF A e 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 de 10-20 cm, o valor de CBMS encontrado na mata foi superior aos demais sistemas, exceto ao Erval, do qual não diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) (Tabela 2).

Os valores de CBMS obtidos na Mata (756,6 e 758,0 $\mu\text{g g}^{-1}$ de C do solo seco) estão dentro dos limites observados em diversas regiões do País, sob condições edafoclimáticas diversas, de acordo com uma compilação de dados apresentada por Roscoe et al. (2006).

Na Figura 2, foram identificados três grupos distintos relacionados ao CBMS e ao Corg, sendo possível observar a aproximação do SAF A com a Mata, a qual apresentou maiores teores de Corg em relação ao SAF B e à Lavoura, ficando o Erval numa posição intermediária a estes dois grupos, na camada 0-10 cm (Tabela 2).

Nesse sentido, o SAF B apresentou valores mais próximos aos determinados na área de Lavoura. O sistema com Erval diferiu apenas da Mata, na profundidade 0-10 cm. Em outros estudos, envolvendo vários tipos de solos e ambientes, foi observada correlação positiva para Corg e CBMS (ROSCOE et al., 2006).

Os valores de CBMS diminuíram, em profundidade, nos sistemas SAF A, SAF B e Erval (Tabela 2). A maior concentração de CBMS, na camada 0-10 cm, pode ser explicada pelo acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo. Ao longo do tempo, os métodos de preparo do solo, como no caso da lavoura, podem interferir na quantidade de

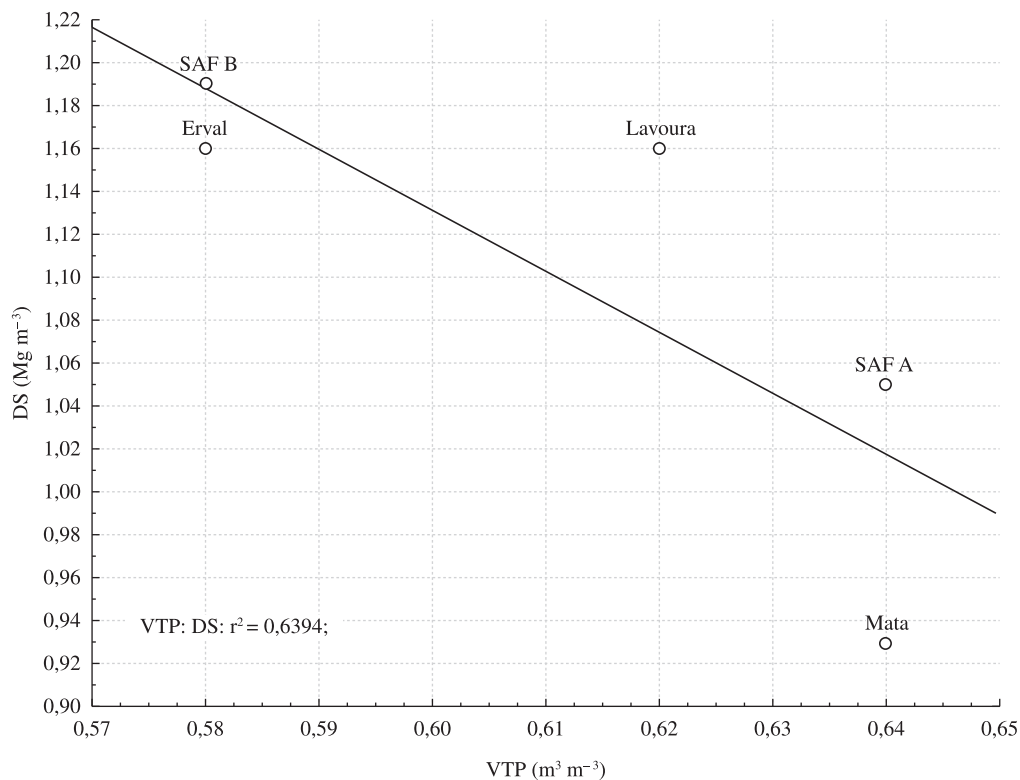
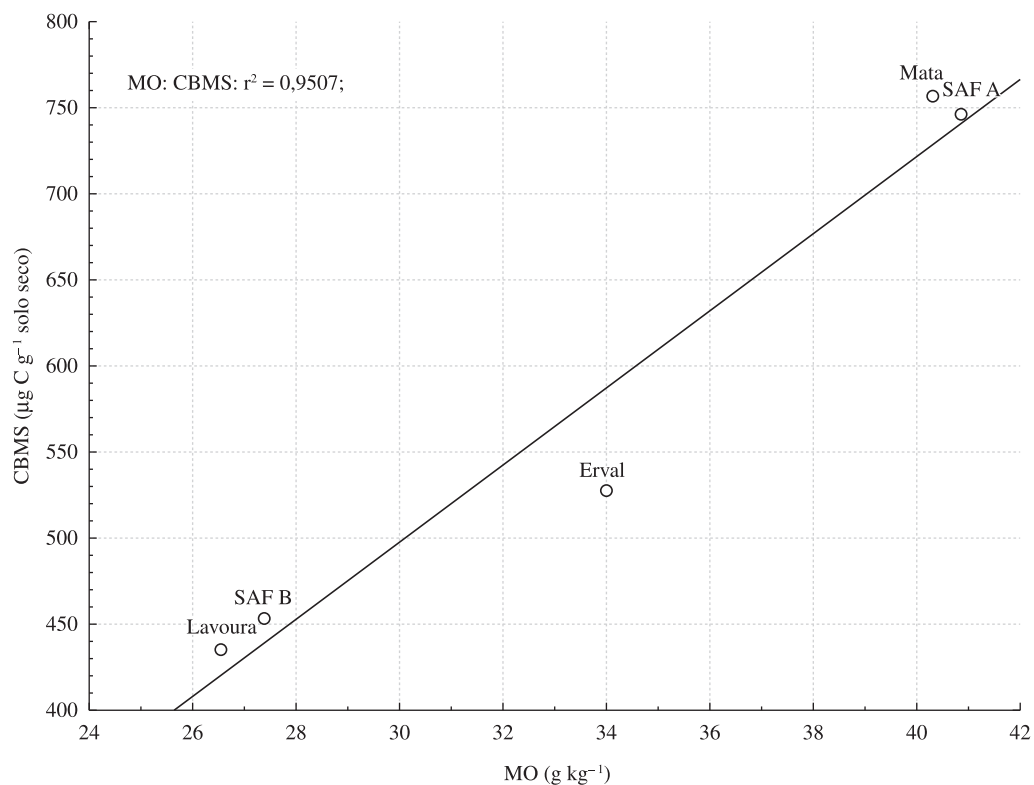


Figura 1. Porosidade total em função da densidade do solo, na profundidade de 0-10 cm, nos diversos sistemas de uso estudados. MATA: mata nativa; SAF A: sistema agroflorestal A; SAF B: sistema agroflorestal B; ERVAL: plantio de erva-mate; LAVOURA: plantio convencional.

Tabela 2. Atributos microbiológicos e carbono orgânico (Corg) em função do uso do solo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, para os diferentes sistemas avaliados.

Uso do solo ⁽¹⁾	Carbono da BMS	Respiração basal	Quociente metabólico - q_{CO_2}	Quociente microbiano - $q_{MIC}^{(2)}$	Corg G kg ⁻¹
	μg g ⁻¹ de C	μg g ⁻¹ dia ⁻¹ de C-CO ₂	μg.μg ⁻¹ d ⁻¹ de C-CO ₂ da CBMS	%	
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
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, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$) em cada profundidade. ⁽¹⁾MATA: mata nativa; SAF A: sistema agroflorestal A; SAF B: sistema agroflorestal B; ERVAL: plantio de erva-mate; LAVOURA: plantio convencional. ⁽²⁾ q_{MIC} = relação entre carbono da biomassa microbiana/carbono orgânico total do solo.

**Figura 2.** Carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) em função do teor de carbono orgânico (Corg), 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; LAVOURA: plantio convencional.

carbono orgânico total e na sua distribuição no solo. Além disso, espécies leguminosas como opções nestes sistemas tendem a favorecer o CBM pela adição de resíduos com uma relação C/N menor e pela fixação biológica de N₂ (KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010). A ausência de preparo do

solo em sistemas mais próximos das condições naturais, como os SAFs, resulta em maior presença de raízes, que são responsáveis pela entrada de substratos de compostos com carbono, promovendo a diversidade de espécies e favorecendo o desenvolvimento microbiano. Em geral, isso ocorre em

função do não revolvimento da camada superior, provendo suprimentos de carbono orgânico constantes à biomassa microbiana do solo. Para Torres, Pereira e Fabian (2008), a utilização de plantas com sistema radicular bem desenvolvido, como os adubos verdes, propicia resultados que indicam o aumento dos estoques de carbono orgânico e N total no solo.

Os maiores valores de respiração basal, na profundidade de 0-10 cm, foram para SAF B e Mata (24,67 e 24,44 $\mu\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ de C-CO₂) (Tabela 2). Mercante et al. (2008) também observaram maior liberação de CO₂ em mata nativa, quando comparada à dos outros sistemas de manejo avaliados, envolvendo diversas espécies de cobertura do solo, em plantio direto e plantio convencional. Na camada de 0-10 cm, a respiração basal no SAF A não diferiu significativamente das áreas de Erval e Lavoura, enquanto na camada de 10-20 cm, os valores de SAF A foram similares aos de SAF B e Mata. Na camada de 10-20 cm, os menores valores foram verificados nos sistemas Erval e Lavoura. A diferença destes sistemas em relação aos SAFs pode ser explicada pela atividade microbiana mais intensa em áreas com elevada ciclagem de nutrientes, que pode ser atribuída à adição de compostos orgânicos (MERCANTE et al., 2008). Fialho et al. (2006) também identificaram que, em sistemas naturais, a emissão de CO₂ foi maior quando comparada a sistemas com cultivo de bananeiras.

Os valores do quociente metabólico, na camada de 0-10 cm no SAF A, diferiram estatisticamente de SAF B e Lavoura (Tabela 2). Os resultados para Mata foram similares em relação aos demais sistemas analisados. Nas duas profundidades avaliadas, os valores no SAF B para

respiração basal e quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) foram elevados. Maiores valores de $q\text{CO}_2$ indicam maiores perdas de carbono no sistema na forma de CO₂ por unidade de carbono microbiano (MERCANTE et al., 2008). Além disso, outras situações de desequilíbrio ambiental podem interferir no aumento ou diminuição do $q\text{CO}_2$, como matéria orgânica de baixa qualidade ou comunidades microbianas submetidas a condições de estresse, como deficiência de nutrientes, acidez e déficit hídrico (RAMOS et al., 2010).

Os sistemas estudados não apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) quanto ao quociente microbiano ($q\text{MIC}$) nas duas profundidades (Tabela 2). Considerando-se que os SAFs estudados são sistemas relativamente jovens e diferem quanto à composição das espécies, 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 dendograma de similaridade no conjunto das profundidades, considerando-se os atributos físicos, microbiológicos e carbono orgânico, a Lavoura foi o sistema que se diferenciou dos demais (Figura 3). No segundo nível, o sistema com Erval diferiu dos grupos formados pelos SAFs e pela Mata. Esses resultados evidenciam que, embora o Erval – pelo tempo de implantação, por ser uma planta nativa perene e pela modalidade de uso – possa ser considerado um sistema equilibrado, ele tende a apresentar resultados semelhantes aos de uma monocultura.

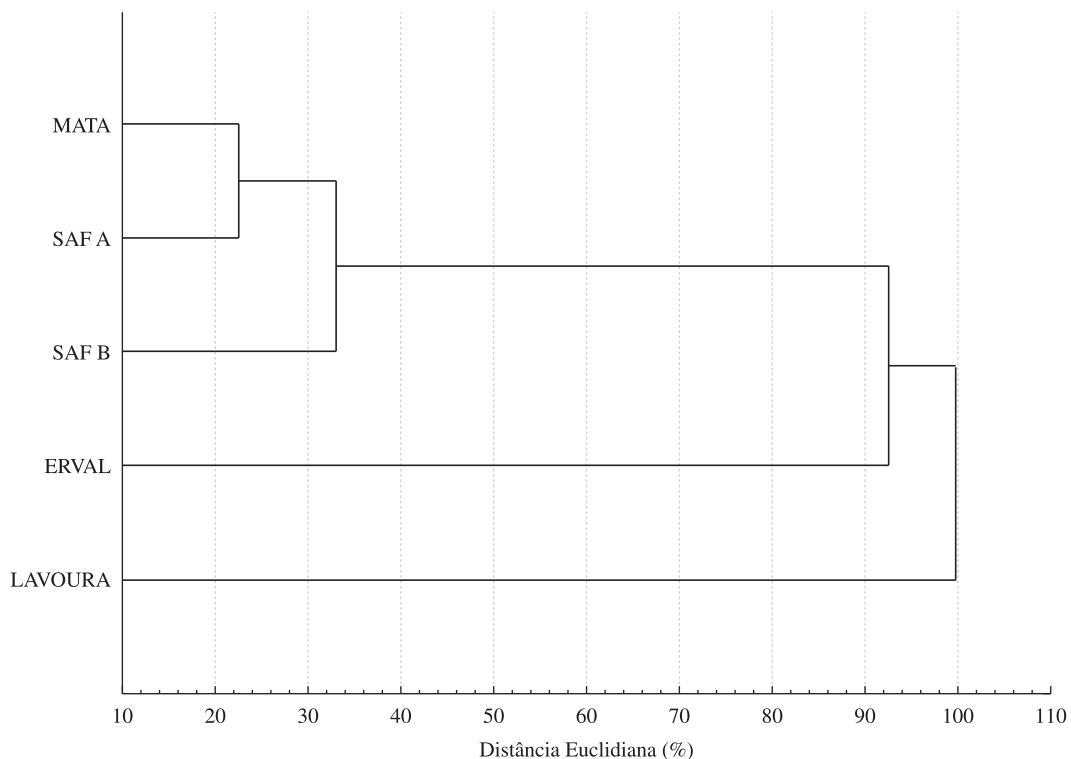


Figura 3. Dendrograma dos diferentes usos do solo, mostrando a distância euclidiana, de acordo com os atributos físicos, microbiológicos e carbono orgânico, no conjunto das profundidades. MATA: mata nativa; SAF A: sistema agroflorestal A; SAF B: sistema agroflorestal B; ERVAL: plantio de erva-mate; LAVOURA: plantio convencional.

A partir dos atributos avaliados, entende-se que, nos sistemas cujo aporte de matéria orgânica é maior e não há revolvimento do solo, a qualidade do solo tende a ser melhorada. Nesse sentido, o SAF A foi o ambiente que mais se aproximou das características ideais, considerando a Mata como referencial comparativo para uma condição de equilíbrio e estabilidade. De modo geral, pode-se inferir que a diversificação das espécies, bem como a qualidade e a quantidade de material orgânico depositado, promoveram resultados mais satisfatórios quanto à melhoria da qualidade do solo. A rapidez de resposta que algumas espécies possuem na melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo – como adubos verdes (feijão, guandu e crotalária) e gramíneas (napier) – pode explicar algumas relações observadas no SAF A e, com menos intensidade, nos sistemas SAF B e Erval. Isso demonstra que algumas espécies podem favorecer as interações num ambiente mais rapidamente do que outras. Por outro lado, sistemas mantidos por longo período, sem rotação de culturas e/ou sem diversificação de espécies, podem promover a perda da qualidade ambiental, como observado no presente estudo para o sistema cultivado com lavoura.

4 Conclusões

Os indicadores de qualidade do solo utilizados apresentaram potencial para detectar alterações ambientais em função do manejo adotado. As variáveis que melhor descreveram os aspectos de qualidade do solo foram porosidade total e microporosidade, quando relacionadas aos atributos físicos do solo. Com relação aos atributos microbiológicos, destacam-se os valores analisados de carbono da biomassa microbiana e de carbono orgânico.

A diversidade de espécies dos sistemas agroflorestais contribuiu, de forma significativa, para a melhoria da qualidade do solo, quando comparados aos sistemas de monocultivo (Lavoura e Erval).

Agradecimentos

À Fundect, pelo apoio financeiro; à Embrapa Agropecuária Oeste, pela estrutura cedida para realização das análises e à UFGD, pela oportunidade de realização do treinamento em Nível de Mestrado.

Referências

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

ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 33, p. 341-347, 2011. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.4841>

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. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000500025>

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ, 1997. 212 p. (Embrapa-CNPQ. Documentos, n. 1).

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação superficial de Latossolos sob integração lavoura: pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, v. 41, n. 2, p. 246-250, fev. 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011000200011>

DUBOIS, J. C. L. Sistemas agroflorestais na Amazônia: avaliação dos principais avanços e dificuldades em uma trajetória de duas décadas. In: PORRO, R. (Ed.). *Alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. cap. 6, p. 171-218.

EMBRAPA. *Centro Nacional de Pesquisa de Solo*. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2009. 412 p.

FEIDEN, A. *Métodos alternativos para biocontrole na agricultura*. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/FOL148.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2011.

FIALHO, J. S.; GOMES, V. F. F.; OLIVEIRA, T. S.; SILVA JÚNIOR, J. M. T. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 37, n. 3, p. 250-257, 2006.

FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 43, p. 417-428, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902012000300002>

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; VIANA, A. P.; SANTOS, G. A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1489-1499, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400013>

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

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 42, p. 1-13, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.08.020>

LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; COSTA, D. B. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho-amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. *Revista Árvore*, v. 35, p. 51-60, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622011000100006>

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GASPARINI, A. S.; GOMES, C. F.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 41, p. 20-28, 2011.

- MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I.; FRAGA, T. I.; LEITE, J. G. D. B. Recuperação de atributos físicos de um Argissolo em função do seu revolvimento e do tempo de semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 571-579, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000300017>
- MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. N. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2461-2470, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000600023>
- 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.
- PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagem com diferentes históricos de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1441-1448, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000500034>
- PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em argissolo Vermelho-amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2091-2100, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000500030>
- POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil – II. Gamma irradiation, autoclaving, air-drying and fumigation. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 8, p. 179-188, 1976. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(76\)90002-X](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(76)90002-X)
- RAMOS, F. T.; MONARI, Y. C.; NUNES, M. C. N.; CAMPOS, D. T. S.; RAMOS, D. T. Indicadores de qualidade em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagem extensiva no pantanal matogrossense. *Revista Caatinga*, v. 23, n. 1, p. 112-120, 2010.
- ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B.; SANTOS, J. C. F.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Eds.). *Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 163-198.
- SILVA, R. F.; BORGES, C. D.; GARIB, D. M.; MERCANTE, F. M. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um Argissolo Vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2435-2441, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000600021>
- SILVA, R. F.; GUIMARÃES, M. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 1277-1283, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000023>
- SILVEIRA, N. D. *Sostenibilidad socioeconómica y ecológica de sistemas agroforestales de café (Coffea arabica) em la microcuenca del Río Sesesmiles, Copán, Honduras*. 2005. 141 f. Tesis (Magister Scientiae en Agroforestería Tropical)-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Turrialba, 2005.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 3, p. 421-428, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008000300018>
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 19, p. 703-707, 1987. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6)
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication in Soil Science and Plant Analyses*, v. 19, p. 1467-1476, 1989. <http://dx.doi.org/10.1080/00103628809368027>