



## Bioindicadores de qualidade do solo cultivado com milho em sucessão a adubos verdes sob bases agroecológicas

da Silva Gomes, Simone<sup>1</sup>; Michele da Silva Gomes<sup>2,6</sup>; Anderson de Souza Gallo<sup>3</sup>; Fabio Martins Mercante<sup>4</sup>; Margareth Batistote<sup>5</sup>; Rogério Ferreira da Silva<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, Cidade Universitária, Bairro Comobi, Santa Maria-RS, CEP 97105-900; <sup>2</sup>Universidade Federal da Grande Dourados, Rodovia Dourados-Itahum, km 12 – Cidade Universitária, Cx. Postal 533 – CEP: 79804-970; <sup>3</sup>Universidade Federal de São Carlos/Programa de Pós Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural. Rodovia Anhanguera, Km 174, Cx. Postal 153, CEP: 13.600-970, Araras; <sup>4</sup>Embrapa Agropecuária Oeste, Rodovia BR 163, Km 253,6, Caixa Postal 449, CEP: 79804-970, Dourados, MS; <sup>5</sup>Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Rua Rogério Luiz Rodrigues, s/n, 79730-000, Glória de Dourados, MS; <sup>6</sup>michelle\_gomes12@hotmail.com.

da Silva Gomes, Simone; Michele da Silva Gomes; Anderson de Souza Gallo; Fabio Martins Mercante; Margareth Batistote; Rogério Ferreira da Silva (2015) Bioindicadores de qualidade do solo cultivado com milho em sucessão a adubos verdes sob bases agroecológicas. Rev. Fac. Agron. Vol 114 (Núm. Esp. 1): 30-37

A biomassa microbiana do solo é um componente essencial da matéria orgânica que, entre outras funções, regula a ciclagem de nutrientes no solo. Diante do exposto, o trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da biomassa microbiana do solo e seus índices derivados como indicadores de qualidade solo em cultivo de milho em sucessão a adubos verdes. O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Glória de Dourados, MS, em solo classificado como Argissolo Vermelho de textura arenosa. Os tratamentos avaliados foram: feijão-de-porco; crotalaria; mucuna-preta; guandu-anão; milheto e uma área em pousio. Além disso, uma área adjacente, com vegetação nativa do tipo Cerrado foi incluída no estudo como referencial da condição original do solo. A espécie de leguminosa guandu não favoreceu os teores de respiração basal e quociente metabólico com relação às demais espécies utilizadas. O carbono da biomassa microbiana mostrou-se um bom indicador da qualidade solo sob os sistemas avaliados. O uso de espécies de adubos verdes favoreceu o desenvolvimento da atividade microbiana do solo, principalmente as leguminosas CJ e GA, a partir da segunda época de avaliação. Essas espécies podem ser utilizadas como alternativas de manejo agroecológico para a produção agrícola familiar sustentável no Cerrado, promovendo o equilíbrio microbiano do solo, melhorando a qualidade e a conservação do solo.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, biomassa microbiana, plantio direto, quociente microbiano, quociente metabólico.

da Silva Gomes, Simone; Michele da Silva Gomes; Anderson de Souza Gallo; Fabio Martins Mercante; Margareth Batistote; Rogério Ferreira da Silva (2015) Bioindicators of soil quality cultivated with green manures succession corn under agroecological basis. Rev. Fac. Agron. Vol 114 (Núm. Esp. 1): 30-37

The soil microbial biomass is an essential component of organic matter that, among other functions, regulates nutrient cycling in the soil. The objective of this study was to evaluate the efficiency of soil microbial biomass carbon and its derived indices as indicators of soil quality in corn cultivation in succession with green manures. The experiment was conducted in experimental area of the Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Glória de Dourados, in soil classified as Ultisol sandy texture. The treatments were: *Canavalia ensiformis*; *Crotalaria juncea*; *Mucuna aterrima*; *Cajanus cajan*; *Pennisetum glaucum*, and fallow. In addition, an adjacent area with native Cerrado vegetation was included in the study as a reference of the original soil condition. A species of *Cajanus cajan* legume favored the levels of basal respiration and metabolic quotient in relation to other species used. The microbial biomass carbon proved one good indicator of the quality of soil sob evaluated the systems. The use of green fertilizers species favored the development of soil microbial activity, especially legumes such as CJ and GA, from the second season of evaluation. These species can be used as management alternatives agroecologica paragraph Sustainable Agricultural Production familiar not Cerrado, promoting soil microbial balance, enhancing the quality the soil conservation.

**Keywords:** *Zea mays*, microbial biomass, no-tillage, microbial quotient, metabolic quotient

Recibido: 29/03/2015

Aceptado: 26/08/2015

Disponível on line: 01/10/2015

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

## INTRODUÇÃO

A preocupação com os recursos naturais tem se tornado uma constante, principalmente quando se refere ao setor agropecuário. Em função disso, a utilização de técnicas que tem como premissa a manutenção da qualidade do solo e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas tem ganhado importância nos últimos anos, com vistas a evitar a degradação do solo (Almeida et al., 2008). A utilização de tecnologias adequadas para o manejo do solo e das culturas é fundamental, principalmente quando adaptadas as condições específicas dos ambientes de cultivos (Doran; Parkin 1994).

O uso de espécies vegetais de cobertura do solo em sistemas de manejo agrícola tem se tornado de suma importância para recuperação e manutenção da qualidade do solo, propiciando melhorias de suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Por essas características, no que se refere ao aumento do estoque de matéria orgânica do solo, as espécies de leguminosas, além de contribuírem com a produção de biomassa, refletem no rendimento das culturas subsequentes. (Roscoe et al, 2006; Ferreira et al, 2012; Correa, et al, 2014;).

Neste sentido, o manejo do solo com práticas conservacionistas associadas com espécies vegetais, como o sistema de plantio direto e adubação verde, podem promover incrementos no conteúdo de matéria orgânica e melhoria na disponibilidade de nutrientes para as culturas subsequentes (Carvalho et al., 1999). Na agricultura familiar essas práticas têm sido utilizadas como uma ferramenta de grande importância para o incremento da matéria orgânica do solo, tendo como base os valores da cultura e da tradição local (Pereira et al., 2006). Esse incremento foi observado por Audeh et al. (2011), em estudo participativo com os agricultores, onde concluíram que os benefícios proporcionados pela matéria orgânica e as interações da mesma com os atributos físicos, químicos e biológicos do solo foram percebidos pelos agricultores no crescimento e desenvolvimento das plantas, por consequência da melhoria da qualidade do solo.

A qualidade do solo é mensurada através do uso de indicadores que são atributos biológicos com a capacidade de quantificar o nível de desequilíbrio ao qual um determinado ambiente está sujeito, podendo determinar os efeitos sobre a qualidade do solo e a sustentabilidade das práticas agrícolas. A biomassa microbiana do solo tem sido utilizada como indicador de alterações e de qualidade de ecossistema capazes de refletir as mudanças de uso do solo (Fernandes et al, 2013). O carbono da biomassa microbiana constitui um reservatório de nutrientes disponíveis às plantas, representando a fração mais ativa da matéria orgânica do solo, sendo a principal responsável pela decomposição de resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo (Jenkinson; Ladd, 1981; Cunha, et al., 2011).

Diversos autores têm demonstrado a eficiência da utilização da biomassa microbiana do solo (C-BMS) como um sensível bioindicador às alterações ocorridas em sistemas de manejo (Belo et al., 2012; Silva et al., 2010). Em solos sob vegetação nativa apresentam normalmente maiores quantidades de C-BMS,

indicando maior equilíbrio da microbiota do solo, juntamente com a ausência de perturbações decorrentes de atividade antrópica (Pôrto et al., 2009; Ferreira et al., 2010). A utilização de leguminosas como adubos verdes tem sido muito utilizada em sistemas orgânicos, promovendo alterações significativas na biomassa microbiana do solo, sua atividade e seus índices e derivados se aproximando de teores encontrados em sistemas de vegetação nativa (Duarte, et al., 2014; Gomes, et al., 2014).

Nesse contexto, é de fundamental importância a avaliação dos indicadores mais sensíveis às práticas de manejo, visando ao monitoramento dos impactos positivos ou negativos sobre o solo (Xavier et al., 2006). Assim a biomassa microbiana e a sua atividade têm sido utilizadas como indicadores ecológicos do impacto das práticas de manejo agrícola (Wardle, 1992; Daniel et al., 1999), possibilitando o seu uso como ferramenta na determinação de opções de manejo sustentáveis em sistemas de produção familiar. Diante do exposto, o trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da biomassa microbiana do solo e seus índices derivados como indicadores de qualidade solo em cultivo de milho em sucessão a adubos verdes.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na área experimental da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, município de Glória de Dourados, MS (22°22'S e 54°30'W, 400 m de altitude), num solo classificado como Argissolo Vermelho de textura arenosa (Embrapa, 2006), com as seguintes características químicas: pH (H<sub>2</sub>O)= 5,4; P = 3,0 mg dm<sup>-3</sup>; K = 0,11 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca = 0,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg= 0,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al = 0,15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H + Al: 2,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e matéria orgânica = 9,5 g kg<sup>-1</sup>. O clima de ocorrência, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com estação quente e chuvosa no verão e moderadamente seca no inverno. Os dados de precipitação pluviométrica mensal (mm), durante o período de estudos, encontram-se na Figura 1.

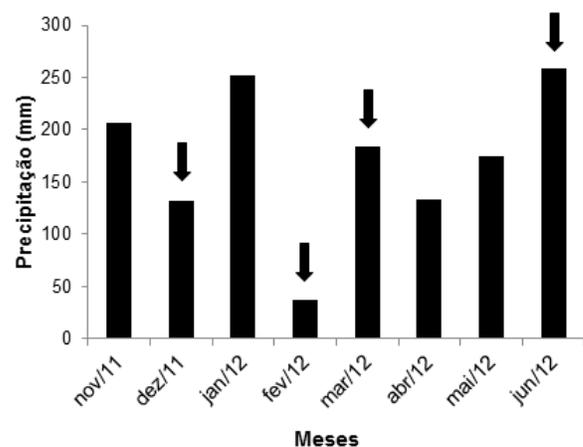


Figura 1. Distribuição das precipitações pluviométrica em Glória de Dourados-MS, no período de nov/2011 a jun/2012. Fonte: AGRAER-MS, Escritório Local de Glória de Dourados. As setas indicam as épocas de avaliações.

Antes do estabelecimento das espécies vegetais, a área experimental era utilizada com pastagem de Braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf), por cerca de 10 anos. O preparo do solo utilizado foi convencional (aração e gradagem) onde foi aplicado 2 t/ha de calcário com poder relativo de neutralização total de 83%, incorporado ao solo através de uma gradagem, para o cultivo das plantas de cobertura.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, no esquema em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por cinco espécies de plantas utilizadas como adubos verdes, sendo elas quatro leguminosas: FP – feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) D.C.); CJ - crotalária (*Crotalaria juncea* L.); MP – mucuna-preta (*Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) Holland); GA – guandu-anão (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) e uma espécie da família gramínea: o MI - milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown). Além de uma área em pousio. As subparcelas foram constituídas por quatro épocas de avaliação: 1ª época - 30 dias após a semeadura dos adubos verdes; 2ª época - antes da roçada dos adubos verdes; 3ª época - no plantio da cultura de milho; 4ª época - florescimento pleno da cultura de milho. Para comparação, foi avaliada uma área com vegetação nativa, próxima ao experimento, como referência da condição original do solo da região.

Todas as espécies de adubos verdes foram semeadas com espaçamento de 0,5 m entre linhas, e a quantidade de sementes por metro linear foi de 70, 25, 20, 6, e 5 para milheto, crotalária, guandu anão, mucuna-preta e feijão-de-porco, respectivamente. Todas as espécies foram semeadas sem a utilização de adubação básica ou de cobertura.

Aos 90 dias após a semeadura, determinou-se a produção de massa seca (MS) da parte aérea dos adubos verdes, coletando-se, aleatoriamente, duas subamostras de 0,5 m<sup>2</sup> por subparcela, que constituíram uma única amostra. O material coletado passou por um processo de secagem numa estufa, a 65°C, quando da obtenção de sua umidade e, então, da massa seca (kg) por unidade de área (m<sup>2</sup>). Em seguida, essas culturas passaram por um processo de roçada, utilizando uma roçadeira manual. Aos 15 dias após a roçada, sob a palhada seca, realizou-se a semeadura direta do milho, variedade BR 106, com espaçamento 0,9 m entre linhas e 6 sementes / metro linear.

As amostragens de solo foram efetuadas nas entrelinhas de plantas em cada parcela, na camada de 0 a 0,10 m de profundidade, sendo que cada amostra foi composta de quatro subamostras. Após homogeneização, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificadas, e armazenadas em câmara fria (4°C).

Para a análise do carbono da biomassa microbiana foi utilizado o método da fumigação-extração, proposto por Vance et al. (1987) e Tate et al. (1988). Determinou-se, ainda, a respiração basal (C-CO<sub>2</sub>), obtida pela incubação das amostras com captura de CO<sub>2</sub> em NaOH, durante sete dias, pela adaptação do método da fumigação-incubação, proposto por Jenkinson e Powlson (1976). O quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) foi obtido a partir da relação C-CO<sub>2</sub>/C-BMS (Anderson & Domsch 1990) e o quociente microbiano (qMIC), pela relação C-BMS/ C-orgânico total. O conteúdo do

carbono da matéria orgânica (C-orgânico) foi determinado, conforme a metodologia descrita em Claessen (1997).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Além disso, os atributos microbiológicos foram submetidos à análise de agrupamento ("*cluster analysis*"), adotando-se o método do vizinho mais distante ("*complete linkage*"), a partir da Distância Euclidiana, para avaliar a similaridade entre os sistemas estudados. As análises estatísticas foram processadas por meio de software Statistica (versão 5.0, StatSoft).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No que se refere ao rendimento de massa seca da parte aérea das plantas de cobertura, houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as espécies avaliadas. A maior produção foi verificada na crotalária (CJ) em comparação às demais espécies, que não diferiram entre si (Figura 2). Este resultado corrobora com os de Amabile et al. (2000), que avaliando a produção de massa seca de diversos adubos verdes, relataram que a *Crotalaria juncea* apresentou maior acúmulo em relação às demais espécies e a mucuna-preta foi a que acumulou menor massa seca na parte aérea. Dentre as diversas espécies utilizadas como adubos verdes, a *Crotalaria juncea* mostra-se muito eficiente como produtora de massa vegetal e como fixadora de nitrogênio (Pereira et al., 2012; Ambrosano et al., 2013). Duarte et al. (2014), ao avaliarem o potencial de produção de seis espécies de adubos verdes, observaram que a crotalária destacou-se em termos de produção de massa seca, atingindo 8,5 t ha<sup>-1</sup>. Conforme Alvarenga et al. (2001), 6 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca na superfície é a quantidade suficiente para se obter boa cobertura do solo, e, segundo Darolt (1998), é a quantidade mínima de massa de matéria seca a ser produzida para que sejam assegurados os efeitos benéficos da palhada quanto à manutenção e/ou melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo.

No que se refere às variáveis avaliadas (C-BMS, C-CO<sub>2</sub> e qCO<sub>2</sub>), houve interação significativa entre sistemas de cultivo e épocas de avaliação (Tabela 1). Na primeira época de avaliação, o sistema com vegetação nativa (VN), usado como referência neste estudo, apresentou os maiores teores de C-BMS, mostrando-se superior aos sistemas de cultivos avaliados. A alta taxa de C-BMS, pode estar associado ao fornecimento constante de material orgânico mais susceptível a decomposição, fornecendo maior fonte de nutrientes para o desenvolvimento da comunidade microbiana (D'Andréa et al. 2002; Matsuoka et al. 2003). Os sistemas de cultivo geralmente tendem a apresentar menores teores de carbono microbiano em relação a um ambiente natural (Leite et al., 2003; Mercante et al., 2008; Alves et al., 2011); como verificado no presente estudo.

Antes da roçada dos adubos verdes, os sistemas com CJ, MP e FP apresentaram os maiores teores de C-BMS, sendo superior ( $p < 0,05$ ) ao sistema de Pousio, contudo apresentou valores semelhantes os sistemas

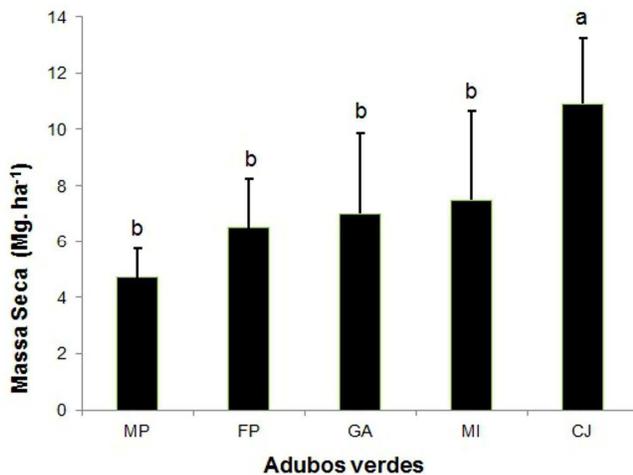


Figura 2. Rendimento de matéria seca (Mg. ha<sup>-1</sup>) da parte aérea das espécies de adubos verdes, aos noventa dias após a semeadura. MP: mucuna-preta; FP: feijão-de-porco; GA: guandu-anão, MI: milho e CJ: crotalaria juncea. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

de GA, MI e VN (Tabela 1). Aumentos na biomassa microbiana são condicionantes de um incremento na ciclagem de nutrientes no solo, pois estão imobilizados na fitomassa, após a decomposição, são liberados para o solo e a própria biomassa microbiana constitui-se em uma reserva lábil de nutrientes, também rapidamente liberados para o solo, em virtude do baixo tempo de vida dos micro-organismos (Carneiro et al., 2008). Na época do plantio e floração do milho, o sistema de vegetação nativa apresentou os maiores teores de C-

BMS, sendo superior ao sistema de pousio, conforme verificado por outros autores (Costa et al. 2006; Silva et al. 2007; Gomes et al., 2014) contudo, não apresentou diferenças expressivas em relação aos sistemas de plantas de cobertura. Entre as épocas de avaliação, os altos teores de C-BMS foram observados na 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> épocas de avaliação (fevereiro de 12, março de 12 e junho de 12, respectivamente), o que podem estar associados aos períodos chuvosos, conforme verificado no mês janeiro de 2012, corroborando os dados de; Balota et al. (2003) e Gama-Rodrigues et al. (2005). Quanto à respiração basal (C-CO<sub>2</sub>), na primeira época de avaliação apresentou a maior taxa respiração o sistema de vegetação nativa, sendo superior ( $p < 0,05$ ), aos demais sistemas (Tabela 1). A alta taxa de respiração basal implica em maior atividade biológica, que está diretamente relacionada com a disponibilidade de C do solo e/ou da biomassa microbiana (Mercante et al., 2004). Na época de floração dos adubos verdes, o sistema com vegetação nativa mostrou-se superior ( $p < 0,05$ ) aos sistemas pousio, MP, FP e MI; contudo, não apresentou diferenças expressivas em relação aos tratamentos com CJ e GA, conforme verificado por Costa et al (2008).

Já na terceira época (plantio da cultura do milho) o sistema com vegetação nativa (VN) e guandu-anão (GA) mostraram-se superiores ( $p < 0,05$ ) ao pousio; contudo não apresentou diferença expressiva entre os sistemas CJ, FP, MP e MI. Segundo Balota et al. (2003), no sistema convencional de preparo do solo, há a redução da atividade microbiana, em função das perdas de C, na forma de CO<sub>2</sub>. Na época de florescimento da cultura, o sistema de vegetação nativa apresentou os maiores teores de respiração basal, sendo superior ao pousio e MI, não apresentando diferenças significativas em relação aos sistemas de CJ, MP, FP e GA.

Tabela 1. Valores médios de carbono da biomassa microbiana (C-BMS) e respiração basal (C-CO<sub>2</sub>) de um Argissolo Vermelho avaliado em diferentes épocas sob sistemas de produção agroecológica. Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo tukey 0,05 de significância. Dias após a semeadura dos adubos verdes (DAS); Milheto (MI), Mucuna-preta (MP), Feijão-de-porco (FP), Guandu-anão (GA), Crotalaria juncea (CJ) Pousio (P) e vegetação nativa (VN)

Sistemas	Épocas de avaliação			
	30 DAS	Antes da roçada	Plantio do milho	Floração plena do milho
C-BMS ( $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco)				
P	120,33 bB	144,6 bA	163,4 bA	166,8 bA
GA	123,2 bC	158,8 abB	182,7 abA	180,4 abAB
MI	120,6 bB	167,6 abA	173,8 abA	175,5 abA
MP	119,4 bB	184,1 aA	182,8 abA	184,5 abA
FP	120,7 bB	172,4 aA	178,2 abA	178,9 abA
CJ	120,7 bB	180,7 aA	186,4 abA	180,9 abA
VN	193,5 aA	162,5 abB	191,8 aA	198 aA
C-CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo dia <sup>-1</sup> )				
P	18,1 bA	17,4 dA	17,3 cA	19,0 cA
GA	21,9 bC	29,5 abAB	29,8 aA	25,5 aBC
MI	19,7 bA	23,3 cA	23,3 bA	20,3 bcA
MP	21,6 bA	23,9 cA	23,8 bA	21,7 abcA
FP	20,5 bB	25,4 bcA	25,4 abA	22,9 abcAB
CJ	22,1 bB	26,1 abcAB	26,4 abA	22,2 abcAB
VN	28,0 aAB	30,5 aA	30,2 aA	24,4 abB

Para o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), aos 30 dias após a semeadura dos adubos verdes e na floração do milho, não houve diferenças significativas entre os sistemas avaliados (Tabela 2). Já na época de floração dos adubos verdes, entre os sistemas cultivados foram observados valores superiores ( $p < 0,05$ ) no GA em relação aos sistemas MP e pousio, porém, não apresentou diferenças significativas em relação aos demais sistemas. Foi verificado que na VN os valores de  $qCO_2$  foram superiores aos sistemas cultivados. Devido as análises dos dados, tal fato pode estar associado ao estresse sofrido pela vegetação nativa como consequência de uma recente queimada. Segundo Souza et al. (2006), maiores valores são encontrados em condições ambientais estressantes, nas quais a biomassa microbiana consome mais carbono para sua manutenção. Quanto na época do plantio do milho, entre os sistemas de cultivo, o GA mostrou-se superior ao pousio, não apresentando diferenças expressivas em relação aos demais sistemas. Na avaliação do quociente microbiano ( $qMIC$ ) e C-orgânico não houve interação significativa entre sistemas de cultivos e épocas de avaliação (Tabela 2). Entre os sistemas cultivados, essas variáveis não apresentaram diferenças significativas.

Os teores de C-orgânico nos sistemas GA, FP, MP e CJ foram similares aos encontrados na vegetação nativa (Tabela 2). Na maioria dos estudos sobre efeitos de sistemas de manejo, foi demonstrado que as alterações no conteúdo de matéria orgânica do solo ocorrem em médio ou em longo prazo, requerendo maior tempo para ser quantificada (Oliveira et al., 2001; Roscoe et al., 2006). Entre as épocas de avaliação, a 2ª e 3ª (floração de adubos verdes e plantio do milho, respectivamente) épocas foram superiores à 1ª época (30 DAS dos adubos verdes). Para C-orgânico, a 4ª época (florescimento do milho) foi superior às demais épocas.

Na análise de agrupamento técnico, cujo objetivo é agrupar sistemas de manejo com base em características comuns, observou-se a formação de dois grandes grupos distintos com relação aos efeitos do uso e manejo de adubos verdes nos bioindicadores de qualidade de solo (Figura 3). Esses dois grupos não apresentaram nenhuma similaridade entre si, uma vez que a sua distância de ligação foi de 100%. O primeiro grupo (G1) engloba o sistema com vegetação nativa (VN). Isso indica que nesses ecossistemas naturais, com maior diversidade de espécies, há um fornecimento constante de material orgânico,

Tabela 2: Valores médios de quociente metabólico ( $qCO_2$ ), quociente microbiano ( $qMIC$ ) e de matéria orgânica (MO) de um Argissolo Vermelho avaliado em diferentes épocas sob sistemas de produção agroecológica. Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo tukey 0,05 de significância. Dias após a semeadura dos adubos verdes (DAS); Milheto (MI), Mucuna-preta (MP), Feijão-de-porco (FP), Guandu-anão (GA), Crotalaria juncea (CJ) Pousio (P) e vegetação nativa (VN).

Sistemas	Épocas de avaliação			
	30 DAS	Antes da roçada	Plantio do milho	Floração plena do milho
$qCO_2$ ( $\mu g$ C-CO <sub>2</sub> $\mu g^{-1}$ C-BMS h <sup>-1</sup> )				
P	73,3 aA	49,0 cB	46,4 bB	54,7 aB
GA	81,2 aA	77,9 abA	69,6 aA	44,4 aB
MI	75,4 aA	56,8 bcB	57,8 abAB	52,1 aB
MP	76,3 aA	56,3 cB	62,0 abAB	53,7 aB
FP	77,2 aA	60,7 bcAB	60,8 abAB	53,7 aB
CJ	77,0 aA	63,7 bcAB	64,4 abAB	57,4 aB
VN	64,4 aB	86,4 aA	77,6 aAB	42,7 aC
$qMIC$ (%)				
P	1,9 aA	2,4 aA	2,3 aA	2,1 aA
GA	1,8 aB	3,2 aA	2,7 aAB	2,4 aAB
MI	2,2 aA	2,8 aA	2,9 aA	2,8 aA
MP	2,0 aA	2,7 aA	3,0 aA	2,6 aA
FP	1,9 aA	2,8 aA	2,8 aA	2,3 aA
CJ	2,1 aA	2,4 aA	2,1 aA	2,2 aA
VN	2,8 aA	2,3 aA	2,6 aA	1,9 aA
C-orgânico (g kg <sup>-1</sup> )				
P	10,7 aA	13,1 aA	12,8 aA	14,4 aA
GA	11,2 aA	10,0 aA	11,8 aA	13,4 aA
MI	9,5 aA	10,5 aA	10,6 aA	12,5 aA
MP	10,5 aA	10,3 aA	10,4 aA	11,6 aA
FP	11,9 aA	11,1 aA	11,5 aA	13,2 aA
CJ	9,9 aA	10,7 aA	13,3 aA	13,0 aA
VN	12,0 aB	12,3 aB	12,5 aB	15,6 aA

permanecendo o solo coberto, com menor variação e níveis mais adequados de temperatura e umidade, consequentemente, favorece as condições edáficas para a população microbiana do solo (Mercante et al., 2008).

No outro grupo (G2), houve agrupamento dos sistemas cultivados, com formação de três níveis distintos, com 46% de semelhança entre si. O primeiro nível engloba apenas o sistema FP. No segundo nível, observou-se semelhança de 78% entre os sistemas GA, MP e CJ (Figura 3). A inclusão de leguminosas como cobertura do solo, associado ao plantio direto, é uma estratégia que resulta em diversos benefícios tais como seu efeito nos estoques de matéria orgânica e húmus, ciclagem de nutrientes, proteção contra erosão, além de ter papel na diversidade e dinâmica dos microrganismos (Almeida et al., 2008). No terceiro nível, observou-se semelhança de 90% entre os sistemas P e MI. A formação desse nível demonstra que o cultivo do milho em sucessão a milho ainda apresenta características semelhante ao sistema convencional (pousio).

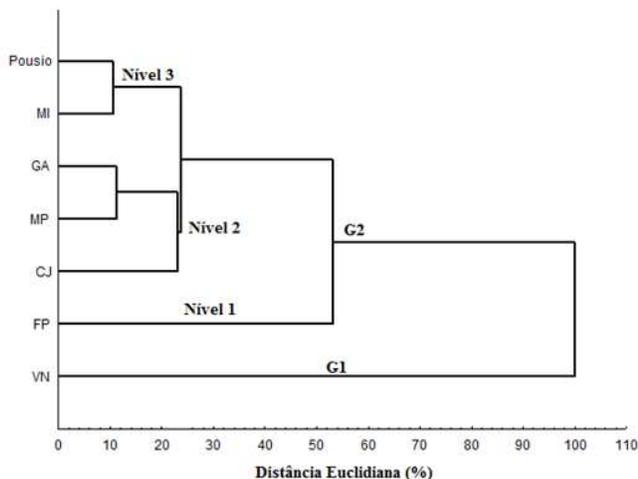


Figura 3. Dendrograma de similaridade dos indicadores microbiológicos, com base na distância euclidiana, entre os sistemas de manejo de solo: pousio, mucuna preta (MP), feijão de porco (FP), guandu anão (GA), crotalária (CJ) e milho (MI), além da vegetação nativa (VN).

## CONCLUSÃO

O carbono da biomassa microbiana mostrou-se um bom indicador da qualidade solo sob os sistemas avaliados, sendo ainda necessário a realização de monitoramentos constantes que permitam auxiliar no manejo sustentável do solo.

O uso de espécies de adubos verdes favoreceu o desenvolvimento da atividade microbiana do solo, principalmente as leguminosas CJ e GA, a partir da segunda época de avaliação. Essas espécies podem ser utilizadas como alternativas de manejo agroecológico para a produção agrícola familiar sustentável no Cerrado, promovendo o equilíbrio

microbiano do solo, melhorando a qualidade e a conservação do solo.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao FUNDECT pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, M. C.; Trindade, A.V.; Maia, I. C. S. & Marques, M. C. 2008. Influências dos diferentes sistemas de manejo no comportamento da microbiota do solo em áreas sob cultivo de mamão na região de Cruz das Almas, BA. Revista de Biologia e Ciências da Terra 8: 67- 75.
- Alvarenga, R. C.; Cabezas, W. A. L.; Cruz, J. C. & Santana, D. P. 2001. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. Informe Agropecuário, 22: 25-36.
- Alves, T. S.; Campos, L. L.; Neto, N. E.; Matsuoka, M. & Loureiro, M. F. 2011. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. Acta Scientiarum Agronomy 33: 341-347.
- Amabile, R. F.; Fancelli, A. L. & Carvalho, A. M. 2000. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos cerrados. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira 35: 47-54.
- Ambrosano, E. J.; Foltran, D. E.; Camargo, M. S.; Rossi, F.; Schammas, E. A.; Silva, E. C.; Ambrosano, G. M. B. & Dias, F. L. F. 2013. Acúmulo de biomassa e nutrientes por adubos verdes e produtividade da cana planta cultivada em sucessão, em duas localidades de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Agroecologia 8: 199-209.
- Anderson, T. H. & Domsch, K. H. 1990. Application of eco-physiological quotients ( $qCO_2$  and  $qD$ ) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. Soil Biology and Biochemistry 22: 251-255.
- Audeh, S.J.S.; Lima, A.C.R.; Cardoso, I.M.; Casalinho, H.D.; Jucksch, I.J. 2011. Qualidade do solo: uma visão etnopedológica em propriedades agrícolas familiares produtoras de fumo orgânico. Revista Brasileira de Agroecologia 6: 34-48.
- Balota, E. L. Colozzi-Filho, A.; Andrade, D.S. & Dick, R.P. 2003. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. Biology and Fertility of Soils 38: 15-20.
- Belo, E.S.; Terra, F.D.; Rotta, L.R.; Vilela, L.A.; Paulino, H.B.; Sousa, E.D.; Vilela, L.A.F. & Carneiro, M.A.C. 2012. Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e efeito na atividade microbiana em um Latossolo Vermelho de Cerrado. Global Science and Technology 5:107-116.
- Carneiro, M.A.C.; Assis, P.C.R.; Melo, L.B. De C.; Pereira, H.S.; Paulino, H.B. & Silveira Neto, A.N. 2008. Atributos bioquímicos em dois solos cerrado sob diferentes sistemas manejo e uso. Pesquisa Agropecuária Tropical 38: 276-283.
- Carvalho, A. M. Burle, M. L., Pereira, J. & Silva, M. A. 1999. Manejo de adubos verdes no cerrado. Embrapa Cerrados, Circular Técnica n° 4, Planaltina. 28 pp.

- Claessen, M.E.C.** 1997. Manual de métodos de análise de solo. Ed. 2, Revista atual. Embrapa-CNPQ, Rio de Janeiro. 212pp.
- Corrêa, A. L.; Abboud, A. C. S.; Guerra, J. G. M.; Aguiar, L. A. & Ribeiro, R. L. D.** 2014. Adubação verde com crotalária consorciada ao minimilho antecedendo a couve-folha sob manejo orgânico. *Revista Ceres* 61: 956-963.
- Costa, E.A.; Goedert, W.J. & Sousa, D.M.G.** 2006. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41: 1185-1191.
- Costa, M.R.; Mercante, F.M.; Padovan, M.P. & Tarasiuk, V.A.** 2008. Atributos microbiológicos para avaliação da qualidade do solo cultivado com diferentes espécies de adubo verde. *Revista Brasileira Agroecologia* 3: 48.
- Cunha, E. Q.; Stone, L. F.; Ferreira, E. P. B.; Didone, A. D.; Moreira, A. A. & Leandro, W. M.** 2011. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e Milho. II - atributos biológicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35: 603-611.
- D'andrea, A.F.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Siqueira, J.O. & Carneiro, M.A.C.** 2002. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na Região do Cerrado do Sul do Estado de Goiás. *Revista Brasileira Ciência Solo* 26: 913-923.
- Daniel, O.; Couto, L.; Silva, E.; Jucksh, I.; Garcia, R. & Passos, C.A.M.** 1999. Sustentabilidade em sistemas agroflorestais: indicadores biofísicos. *Revista Árvore* 23: 381-392.
- Darolt, M. R.** 1998. Princípios para implantação e manutenção de sistemas. In: *Plantio direto: pequena propriedade sustentável*. Darolt M. R. Ed. Iapar (Circular, 101), Londrina. pp. 16-45.
- Doran, J. W. & Parkin, T. B.** 1994. Defining and assessing soil quality. In: *Defining soil quality for sustainable environment*. DORAN, J. W.; CELEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. Ed. Soil Science Society of America, Madison. pp. 3-21.
- Duarte, I. B.; Gallo, A. S.; Gomes, M. S.; Guimarães, N. F.; Rocha, D. P. & Silva, R. F.** 2014. Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. *Acta Iguazu* 3: 150-165.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA.** 2006. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Ed. 2, Rio de Janeiro. 306pp.
- Fernandes, M. M.; Silva, M. D.; Veloso, M. E. C.; Oliveira, T. M.; Fernandes, M. R. M. & Sampaio, F. M. T.** 2013. Biomassa microbiana e matéria orgânica em áreas desertificadas revegetadas com pinhão-mansão solteiro e consorciado com gramínea no Sui do Piauí. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 8: 464-469.
- Ferreira, E. P. B.; Santos, H. P.; Costa, J. R.; De-Polli, H. & Rumjanek, N. G.** 2010. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage managements. *Revista Ciência Agronômica* 41: 177-183.
- Ferreira, L. E.; Souza, E. P. & Chaves, A. F.** 2012. Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo. *Revista Verde* 7: 33-38.
- Gama-Rodrigues, E. F.; Barros, N. F. & Gama-Rodrigues, A. C.** 2005. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29: 893-901.
- Gomes, M. S.; Agostinho, P. R.; Foresti, A. C.; Gomes, S. S.; Batistote, M. S. & Silva, R. F.** 2014. Plantas de Cobertura e seus Efeitos nos Bioindicadores de Qualidade do Solo, com Adição de Vinhaça. *Cadernos de Agroecologia*, 9.
- Jenkinson, D. S. & Ladd, J. N.** 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: *Soil biochemistry*. Paul, E. A.; Ladd, J. N. (Org.). New York: Marcel Dekker. pp. 415-471.
- Jenkinson, D.S. & Powlson, D.S.** 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology Biochemistry* 8: 209-213.
- Leite, L.F.C. Mendonça, E.S.; Neves, J.C.L.; Machado, P.L.O.A. & Galvão, J.C.C.** 2003. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27: 821-832.
- Matsuoka, M.; Mendes, I.C. & Loureiro, M.F.** 2003. Biomassa microbiana e a atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). *Revista Brasileira de Ciência do solo* 27: 425-433.
- Mercante, F.M., Fabrício, A.C.; Machado, L.A.Z. & Silva, W.M.** 2004. Parâmetros microbiológicos como indicadores de qualidade do solo sob sistemas integrados de produção agropecuária. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, Embrapa Agropecuária Oeste. Boletim de pesquisa e desenvolvimento nº 20, 27 pp.
- Mercante, F.M.; Silva, R.F.; Francelino, C.S.F.; Cavalheiro, J.C.T. & Otsubo, A.A.** 2008. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. *Acta Scientiarum Agronomy* 34: 479-485.
- Oliveira, J.O.A.P.; Vidigal Filho, P.S.; Tormena, C. A.; Pequeno, M. G.; Scapim, C. A.; Munize, A. S. & Sagrilo, E.** 2001. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca. *Revista Brasileira de Ciência Solo* 25: 443-450.
- Pereira, G. A. M.; Silva, D. V.; Braga, R. R.; Carvalho, F. P.; Ferreira, E. A. & Santos, J. B.** 2012. Fitomassa de adubos verdes e cobertura do solo na região do Alto Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. *Revista Agroambiente On-line* 6: 110-116.
- Pereira J.A. Neto, J. F.; Ciprandi, O.; Dias, C. E. A.** 2006. Conhecimento local, modernização e o uso e manejo do solo: um estudo de etnopedologia no planalto sul catarinense. *Revista de Ciências Agroveterinárias*. Lages. 5: 140-148.
- Pôrto, M. L.; Alves, J. do C.; Diniz, A. A.; Souza, A. P. de & Santos, D.** 2009. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no Brejo Paraibano. *Ciência e Agrotecnologia* 33:1011-1017.
- Roscoe, R.; Mercante, F. M.; Mendes, I. C.; Reis Júnior, F. B.; Santos, J. C. F. & Hungria, M.** 2006. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: *Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares*. Roscoe, R.;

Mercante, F. M.; Salton, J. C. (Ed.). Dourados, pp. 163-198.

**Silva, M.B.; Kliemann, H.J.; Silveira, P.M. & Lanna, A.C.** 2007. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira 42: 1755-1761.

**Silva, R. R.; Silva, M. L. N.; Cardoso, E. L.; Moreira, F. M. S.; Curi, N. & Alovise, A. M. T.** 2010. Biomassa e atividade microbiana em solo sob Diferentes sistemas de manejo na região Fisiográfica campos das vertentes – MG. Revista Brasileira de Ciência do Solo 34:1585-1592.

**Souza, E.D. Carneiro, M.A.C.; Paulino, H.B.; Silva, C.A. & Buzetti, S.** 2006. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob Cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. Acta Scientiarum Agronomy 28: 323-329.

**Tate, K. R.; Ross, D. J. & Feltham, C. W.** 1988. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures, Soil Biology and Biochemistry 20: 329-335.

**Vance, E. D.; Brookes, P. C. & Jenkinson, D. S.** 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biology and Biochemistry 19: 703-707.

**Wardle, D. A.** 1992. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. Biological Reviews Cambridge Philosophical Society 67: 321-358.

**Xavier, F.A.S.; Maia, S. M. F. & Oliveira, T. S.** 2006. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. Brasileira de Ciência do solo 30: 247-258.