

# FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES, BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA DE SOLO SOB BANANA, BRAQUIÁRIA E DEGRADADO

Dione Aguiar<sup>1</sup>  
 Caroline Lermen<sup>1</sup>  
 Fabricio Morelli<sup>2</sup>  
 Leandro Andrade<sup>2</sup>  
 Claudicéia Rizzo Pascotto<sup>3</sup>  
 Zilda Cristiani Gazim<sup>3</sup>  
 Odair Alberton<sup>3</sup>

AGUIAR, D.; LERMEN, C.; MORELLI, F.; ANDRADE, L. PASCOTTO, C. R.; GAZIM, Z. C.; ALBERTON, O. Fungos micorrízicos arbusculares, biomassa e atividade microbiana de solo sob banana, braquiária e degradado. *Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR*, Umuarama, v. 16, n. 2, p. 137-142, jul./dez. 2013.

**RESUMO:** O uso e manejo adequado do solo podem ser medidos por meio de bio-indicadores de qualidade do solo. Os objetivos deste trabalho foram determinar a densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico ( $qCO_2$ ) de áreas com cultivo orgânico com banana e com braquiária sem pastejo, comparativamente com uma área próxima degradada com palmeiras imperiais em Umuarama, PR. O solo foi coletado na profundidade de 0-10 cm com 4 repetições em cada área e analisadas em duplicata no laboratório. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), usando o programa SPSS v.16. A densidade de esporos de FMAs foi significativamente menor na área degradada. O C-BMS foi significativamente maior na área com braquiária, comparativamente com o solo cultivado com banana e degradado. Na área com banana o C-BMS foi maior que na área degradada. A análise química do solo revelou na área degradada apresentou baixo teor de fósforo, carbono, cálcio e potássio, o que pode ter contribuído para o baixo C-BMS, devido ao estresse elevado neste solo. Não houve diferença significativa na RBS entre as áreas, mas o  $qCO_2$  foi significativamente maior no solo degradado, indicando novamente um nível de estresse elevado neste solo. Manejo e uso adequado do solo como o cultivo orgânico de bananas e/ou braquiária aumentou a densidade de esporos de FMAs e C-BMS, além disso, diminuiu o  $qCO_2$  comparado com a área degradada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biomassa microbiana do solo. Cultivo orgânico. Qualidade do solo.

## ABUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI, MICROBIAL SOIL BIOMASS AND ACTIVITY UNDER BANANA, BRACHIARIA AND DEGRADED SOIL

**ABSTRACT:** The sustainable use and management of soil can be measured using soil quality bioindicators. The objectives of this study were to determine arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) spore density, carbon in soil microbial biomass (MB-C), soil basal respiration (SBR) and metabolic quotient ( $qCO_2$ ) in different areas under organic cultivation of banana and brachiaria without grazing compared to nearby degraded area growing imperial palms in the city of Umuarama, in the state of Parana. Soil samples were collected at 0-10 cm depth with four repetitions in each area and analyzed in duplicate. All the results were submitted to the analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ), utilizing the statistical program SPSS, version 16.0 for Windows. The results showed that AMF spore density was significantly lower in the degraded area. MB-C was significantly higher in the area cultivated with brachiaria in comparison with banana and degraded areas. However, in the banana area, the MB-C was higher than that in the degraded area. Soil chemical analysis showed that the degraded area had low soil phosphorus, carbon, calcium and potassium content, which could have contributed to the decrease in MB-C, due to a high stress condition in this soil. No significant differences were found for SBR among the analyzed areas. However,  $qCO_2$  increased significantly in the degraded area, indicating high stress under this condition. Soil use and management under organic cultivation with banana and/or brachiaria increased AMF spore density and MB-C, as well as decreasing  $qCO_2$  when compared to the degraded area.

**KEYWORDS:** Soil microbial biomass. Organic cultivation. Soil quality.

## HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES, ACTIVIDAD Y BIOMASA MICROBIANA EN SUELO CULTIVADO CON BANANA, BRACHIARIA Y DEGRADADO

**RESUMEN:** El uso y manejo adecuado del suelo pueden ser medidos mediante indicadores biológicos de calidad del suelo. Los objetivos de este estudio fueron determinar la densidad de esporos de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), carbono de la biomasa microbiana del suelo (C-BMS), respiración basal del suelo (RBS) y cociente metabólico ( $qCO_2$ ) en áreas con cultivo orgánico de banana, brachiaria sin pastoreo, comparativamente con una zona cercana degradada con palmeras impe-

<sup>1</sup>Mestranda do Programa de Biotecnologia Aplicada à Agricultura; UNIPAR, Umuarama – PR. E-mail: dioneaguiar@yahoo.com.br;

<sup>2</sup>Discente da UNIPAR, Umuarama – PR.

<sup>3</sup>Docente do Programa de Mestrado em Biotecnologia Aplicada à Agricultura; UNIPAR, Umuarama – PR. E-mail: odair@unipar.br

riales en Umarama, PR. Se ha recogido suelo a una profundidad de 0-10 cm con 4 repeticiones en cada área y analizados por duplicado en el laboratorio. Los resultados han sido sometidos a análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), utilizando el programa SPSS v.16. La densidad de esporas de HMA fue significativamente menor en el área degradada. El C-BMS fue significativamente mayor en el área con brachiaria en comparación con el suelo cultivado con banana y degradado. En el área con banana C-BMS fue mayor que en el área degradada. El análisis químico del suelo reveló en el área degradada bajo tenor en fósforo, carbono, calcio y potasio, lo que puede haber contribuido a la baja C-BMS, debido al estrés elevado en el suelo. No hubo diferencia significativa en RBS entre las áreas, pero el  $qCO_2$  fue significativamente mayor en el suelo degradado, indicando nuevamente alto nivel de estrés en ese suelo. Manejo y uso adecuado del suelo como el cultivo de bananas y/o brachiaria aumentaron la densidad de esporas de HMAs y C-BMS, además disminuyó el  $qCO_2$  en comparación con el área degradada.

**PALABRAS CLAVE:** Biomasa microbiana del suelo. Cultivo orgánico. Calidad del suelo.

## Introdução

Recentemente, a avaliação da qualidade do solo tem merecido a atenção por pesquisadores e produtores rurais. A quantificação de alterações nos seus atributos físicos, químicos e biológicos, decorrentes da intensificação de sistemas de uso e manejo, tem sido amplamente realizada para monitorar a produção sustentável dos solos (KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010; 2011). Como a microbiota do solo é a principal responsável pela decomposição dos compostos orgânicos por meio da ciclagem de nutrientes e fluxo de energia do solo, a biomassa microbiana e sua atividade têm sido apontadas como as características mais sensíveis às alterações na qualidade do solo causadas por mudanças de uso e práticas de manejo (KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010; 2011) com diferentes culturas, como banana, braquiária e palmeiras.

A biomassa microbiana do solo (BMS) e seus processos bioquímicos são utilizados como indicadores de qualidade do solo, devido a sua capacidade de responder rapidamente as alterações no ambiente do solo. Os conteúdos de carbono (C), nitrogênio (N) e fósforo (P) na biomassa microbiana e a atividade dos micro-organismos do solo são de grande importância para o entendimento dos fluxos de nutrientes em ecossistemas naturais ((KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010; 2011).

Outros micro-organismos do solo também desempenham importantes funções benéficas para o crescimento das plantas por meio da decomposição da matéria orgânica e mineralização de nutrientes, formação de húmus, amonificação, nitrificação e fixação biológica de nitrogênio ((KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010). Essas atividades estão relacionadas diretamente com a respiração basal do solo (RBS), que expressa à soma total de todas as funções metabólicas nas quais o  $CO_2$  é produzido (HUNGRIA et al., 2009), e pode ser medida pela taxa de liberação do  $CO_2$  ou pelo consumo de oxigênio ((KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010; 2011).

Alguns outros parâmetros relevantes podem ser calculados a partir da BMS, como o quociente metabólico do solo ( $qCO_2$ ) que é a razão entre a RBS e a unidade de carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) do solo (HUNGRIA et al., 2009), o  $qCO_2$  indica a extensão em que os microrganismos do solo utilizam C. Em solos degradados e mal manejados é esperado um aumento no  $qCO_2$ , devido ao considerável aumento na RBS ((KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010).

Outro bioindicador sensível às mudanças do manejo e uso dos solos é os fungos micorrízicos arbusculares

(FMAs), que são um importante grupo da microbiota do solo e formam uma associação simbiótica mutualística com as raízes da maioria das espécies de plantas superiores. Nesta simbiose, os FMAs recebem das plantas hospedeiras fotosintatos essenciais ao seu desenvolvimento e esporulação, e em contra partida, absorvem do solo água e nutrientes inorgânicos e transferem para a planta hospedeira. Além do mais, a associação FMAs e plantas resultam em outros benefícios tais como, o aumento no volume e longevidade de raízes, a resistência à fitopatógenos, pragas e metais pesados e uma maior tolerância ao estresse hídrico (SMITH; READ, 2008; SIQUEIRA et al., 2010).

A bananeira é uma espécie semiperene que vem crescendo em importância sócio-econômica na região nordeste paranaense, além disso, é uma planta micotrófica, capaz de beneficiar-se da presença de FMAs e apresenta uma alta dependência micorrízica (DECLERCK; PLENCHETTE; STRULLU, 1995; 2002; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2005; JEFWA et al., 2012).

A conversão de florestas em pastagens com braquiárias como ocorre na região, mesmo sem pastejo, pode reduzir o C-BMS, RBS,  $qCO_2$  e afeta a comunidade de FMAs (CARDOSO et al., 2009). Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram avaliar a densidade de esporos dos FMAs, C-BMS, RBS e  $qCO_2$  de um solo sob cultivo orgânico com banana nanica (*Musa cavendishii* L.), braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) sem pastejo comparativamente com um solo degradado próximo cultivado com palmeiras imperial (*Roystonea oleracea* Jacq.).

## Material e métodos

### Local e amostragem do solo

As áreas selecionadas foram áreas com cultivo orgânico de banana nanica e braquiária decumbens sem pastejo, e uma área com solo degradado adjacente cultivada com palmeiras imperiais. As plantas de banana e braquiária receberam compostagem como fertilizante orgânico.

As amostras de solo foram coletadas na Universidade Paranaense – UNIPAR, Câmpus III – Unidade de Umarama, PR, com latitude 23°45'59" S, longitude 53°19'30" W e altitude de 442 m, em maio de 2013.

A amostragem de solo foi realizada na camada de 0-10 cm cerca de 10 cm distante das plantas. Em cada local, foram coletadas 4 amostras compostas com aproximadamente 500 g de solo, após as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em refrigerador (4 °C) até o momento das análises laboratoriais.

O solo é de formação arenito Caiuá, pertencente à classe LVd19 – Latossolo vermelho distrófico, cuja a análise granulométrica foi feita pelo laboratório Solo Fértil estabelecido na cidade de Umuarama – PR, pelo método do densímetro, seguindo os padrões preconizados pela comissão estadual de laboratórios de análises agronômicas (CELA/PR).

### **Análise química do solo**

As análises químicas foram feitas pelo laboratório Solo Fértil estabelecido na cidade de Umuarama – PR. As características químicas determinadas foram: pH em  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  extraídos em  $\text{KCl}$  1 mol  $\text{L}^{-1}$  e P e  $\text{K}^+$  extraídos em Mehlich-1. Todas as análises realizadas seguiram os padrões preconizados pela CELA/PR.

### **Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares**

Os esporos dos FMAs foram extraídos de subamostras de 10 g de solo pela metodologia de peneiramento úmido em malha de 0,710 mm e 0,053 mm (GEDERMANN; NICOLSON, 1963), passado pelo processo de centrifugação em água (3000 rpm por 3 min) e em sacarose 50% (2000 rpm por dois minutos); o sobrenadante passou pelo peneiramento úmido em malha 0,053 mm. Para a contagem e identificação, foram transferidos para placas de Petri e contados sob microscópio estereoscópio (40X).

### **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo**

A determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (CBM) foi feita segundo o método fumigação-extração proposto por Vance, Brookes e Jenkinson (1987) e Tate, Ross e Feltham (1988). Para a fumigação das amostras, pesaram-se 10 g de amostra de solo e adicionou-se 1 mL de clorofórmio isento de etanol em todos os frascos destinados à fumigação, os quais foram fechados e armazenados em local isento de luminosidade por 24 horas, com temperatura em torno de 25 a 28 °C. Após esse período, retirou-se a tampa dos frascos em capela de exaustão, deixando-se evaporar todo o clorofórmio, como proposto por Brookes, Powlson e Jenkinson (1982) e Witt et al. (2000).

Para as amostras não fumigadas foi feita a pesagem de 10 g da amostra de solo. Tanto as amostras fumigadas quanto as não fumigadas de cada tratamento foram repetidas duas vezes, das quais foi utilizada a média. Após isso, realizou-se a extração do C das amostras fumigadas e não fumigadas, adicionou-se nelas 50 ml de solução de sulfato de potássio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) a 0,5 mol  $\text{L}^{-1}$ , agitou-se tudo por 30 min em agitador orbital a 220 rpm e, após decantação por 30 min, transferiu-se o sobrenadante para um filtro de papel acoplado a funil e tubo de 50 mL, obtendo-se um extrato.

Para a determinação do CBM, foram transferidos 8 mL do extrato para um Erlenmeyer de 250 mL. Adicionaram-se 2 mL de solução de dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) a 0,066 mol  $\text{L}^{-1}$ , 10 mL de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 95 a 98% e 5 mL de ácido orto-fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) 85%; após a solução esfriar, foram 70 mL de água deionizada. Esperou-se a solução esfriar novamente, adicionaram-se 4 gotas de di-

fenilamina ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ ) 1% e fez-se a titulação sob agitação magnética com a solução de sulfato ferroso amoniacal [ $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ] 0,033 mol  $\text{L}^{-1}$ ; no fim da titulação a coloração passou de púrpura para verde. Foi estimado o CBM nos extratos usando-se a fórmula:  $\text{CBM} = (\text{Cf} - \text{Cnf}) / \text{Kc}$ , onde Cf e Cnf representam o C extraído do solo fumigado e não fumigado e Kc é uma constante usada em todas as amostras, segundo Hungria et al. (2009). O Kc utilizado foi de 0,4, conforme sugerido por Kaschuk, Alberton e Hungria (2010).

### **Determinação da respiração basal e quociente metabólico do solo**

A respiração basal do solo (RBS) foi determinada, como orientam Jenkinson e Powlson (1976), pesando-se 30 g de amostra de solo, que foram acondicionadas em frascos de 100 mL. Para cada amostra foram colocados 10 mL de hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ) 1 mol  $\text{L}^{-1}$  em outro frasco de 30 mL e esses frascos foram transferidos para um frasco de vidro de 500 mL hermeticamente fechados. Foram utilizados 3 frascos de vidros contendo somente  $\text{NaOH}$  1 mol  $\text{L}^{-1}$  como prova em branco.

As amostras foram incubadas por oito dias em local isento de luminosidade e com temperatura em torno de 25 a 28 °C. Após a incubação, retiraram-se os frascos contendo  $\text{NaOH}$  e adicionaram-se 2 mL de cloreto de bário ( $\text{BaCl}_2$ ) a 10% e três gotas de fenolftaleína em solução alcoólica a 3%; fez-se a titulação sob agitação magnética do  $\text{NaOH}$  com ácido clorídrico  $\text{HCl}$  0,5 mol  $\text{L}^{-1}$ , até a solução passar da coloração rosa para branco e ser estimada a RBS, segundo Hungria et al. (2009). O quociente metabólico do solo ( $q\text{CO}_2$ ) é a razão entre a RBS e a unidade de CBM do solo (HUNGRIA et al., 2009).

### **Análises estatísticas**

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas por meio do teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) no programa SPSS v.16.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

### **Resultados e discussão**

Os resultados das análises química dos diferentes manejos do solo encontram-se na tabela 1, mostrando valores baixos para o pH (4,58), P (2,5 mg  $\text{dm}^{-3}$ ), C (0,78 g  $\text{dm}^{-3}$ ), Ca, K e capacidade de troca catiônica (CTC) do solo degradado.

**Tabela 1:** Análise química do solo para pH em CaCl<sub>2</sub> (pH), fósforo (P), carbono (C), alumínio (Al<sup>3+</sup>), acidez potencial (H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>), potássio (K<sup>+</sup>), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V).

Áreas	pH	P mg dm <sup>-3</sup>	C g dm <sup>-3</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			SB	CTC	V %
						Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>			
Banana	5,26	26,63	5,06	0,00	2,97	1,95	0,98	0,15	3,08	6,06	51,00
Braquiária	4,99	22,73	3,19	0,00	3,18	1,62	0,84	0,13	2,59	5,76	44,85
Degradada	4,58	2,50	0,78	0,00	2,95	1,00	0,88	0,03	1,91	4,85	39,18

\*Resultados apresentados a partir de uma amostra composta de solo de cada área com diferente manejo do solo.

O pH do solo variou pouco entre as áreas com banana e braquiária (Tabela 1), mas os teores de P e C foram superiores nas áreas com banana e braquiária comparativamente com a área degradada (Tabela 1).

Os parâmetros microbiológicos de qualidade do solo são sensíveis às alterações do solo, como pela presença, tipo e diversidade da vegetação (GILLER et al., 1997; ZAN-GARO et al., 2012). Segundo Berry (1994), as populações de microrganismos variam naturalmente de acordo com as características pedogênicas e variações climáticas locais. A partir do solo analisado (Tabela 1), observa-se na área degradada baixo teor de P, C, Ca e K, o que contribui para a baixa qualidade química e microbiológica deste solo indicando um estresse elevado no local. Os resultados da análise granulométrica do solo mostraram o conteúdo médio de 36,4% de área, 33,6% de silte e 30,0% de argila nas áreas estudadas.

Os FMAs formam uma associação simbiótica mutualística com as raízes da maioria das espécies de plantas superiores e podem contribuir para o crescimento e sustentabilidade da produção das plantas, através do aumento a absorção de P e água do solo (SMITH; READ, 2008). Não encontramos na literatura valores de referência na região de Umuarama-PR para densidade de esporos e colonização radicular por FMAs em áreas cultivadas com banana, braquiária e solo degradado, por esse motivo a importância deste estudo.

A densidade de esporos de FMAs nas áreas cultivadas com banana (3,47 esporos g<sup>-1</sup> de solo) e braquiária (3,67 esporos g<sup>-1</sup> de solo) foram significativamente maiores (p < 0,001) comparativamente com a área degradada (2,03 esporos g<sup>-1</sup> de solo) (Tabela 2).

**Tabela 2:** Valores médios (± erro padrão, n = 4) da densidade de esporos de FMAs (g<sup>-1</sup> de solo seco), carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) (mg C kg<sup>-1</sup> solo), respiração basal do solo (RBS) (mg C-CO<sub>2</sub> kg solo<sup>-1</sup> hora<sup>-1</sup>) e quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>) (mg CO<sub>2</sub> mg<sup>-1</sup> C-microbiano h<sup>-1</sup>), nas áreas cultivadas com banana, braquiária e degradada.

Áreas	Esporos	CBM	RBS	qCO <sub>2</sub>
Banana	3,47 ± 0,21 a	147,71 ± 5,88 b	1,05 ± 0,07 a	7,11 ± 0,37 b
Braquiária	3,67 ± 0,12 a	175,15 ± 6,74 a	1,31 ± 0,10 a	7,47 ± 0,30 b
Degradado	2,03 ± 0,11 b	70,06 ± 1,09 c	1,36 ± 0,06 a	19,38 ± 0,58 a
Significância	<0,001	<0,001	0,069	<0,001

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey (p ≤ 0,05).

Recentemente, Lermen et al. (2012) avaliaram a densidade de esporos de FMAs em Umuarama-PR de um solo cultivado com aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), uma poacea como a braquiária e encontraram valores superiores a 10 esporos g<sup>-1</sup> de solo seco, correspondendo a mais de 2 vezes a densidade de esporos observada no presente estudo. Jefwa et al. (2012) estudaram vários sistemas de cultivos com bananeiras no Kenia e observaram uma alta colonização radicular por FMAs, em torno de 36,8 a 56,9% e os gêneros de FMAs mais frequentes foram o *Glomus* e *Acaulospora*. Além disso, observaram diferenças significativas na colonização radicular e densidade de esporos por FMAs entre as cultivares de bananas avaliadas. Em outro estudo, Oliveira e Oliveira, (2005) também observaram colonização radicular média por FMAs em torno de 44,7 a 54,9% entre várias cultivares de bananeiras, sendo as diferenças significativas.

Na área com braquiária, a densidade de esporos de FMAs foi de 3,67 esporos g<sup>-1</sup> de solo, similar a média de 3,4 a 6,5 esporos g<sup>-1</sup> de solo observada por Santos et al. (2008), em cinco diferentes períodos de amostragem no estado de São Paulo em 2002/2003. Estes autores também observaram alta colonização radicular média por FMAs em torno de 73

a 78%, corroborando com a alta dependência micorrizica da braquiária.

O C-BMS foi significativamente maior na área com braquiária (175,15 mg C kg<sup>-1</sup> solo), comparativamente com a área cultivada com banana (147,7 mg C kg<sup>-1</sup> solo) e degradada (70 mg C kg<sup>-1</sup> solo) (Tabela 2). A área com banana apresentou valores intermediários de C-BMS, enquanto a área degradada observou-se os menores valores de C-BMS. Novamente corroborando com a análise química do solo (Tabela 1) no qual o teor de C na área degradada foi extremamente baixo. O C-BMS se mostrou sensível às alterações impostas no solo, diminuindo drasticamente em condições de degradação do solo. Outros estudos em diferentes condições de uso e manejo no solo evidenciaram comportamento similar no C-BMS (CARDOSO et al., 2009; HUNGRIA et al., 2009). CARDOSO et al. (2009) encontraram 184 mg C kg<sup>-1</sup> solo nas BMS em pastagem com braquiária sem pastejo por 19 anos, sendo valor similar no presente estudo. No entanto, o estudo de Fialho et al. (2006) não foi observada diferença significativa nos valores de C-BMS em áreas sob vegetação natural e com cultivo de bananeiras, indicando que o cultivo de bananeiras pode ser sustentável.

Não houve diferença significativa na RBS nas diferentes áreas estudadas, variando de 1,00 a 1,36 mg C-CO<sub>2</sub> kg solo<sup>-1</sup> hora<sup>-1</sup> (Tabela 2). Porém, Lermen et al. (2012), observaram apenas metade do valor da RBS em uma área cultivada com aveia no mesmo município, comparativamente a área cultivada com a braquiária no presente estudo, sendo o teor de C do solo similar em ambos estudos. Segundo Islam e Weil (2000), altas taxas de RBS podem indicar tanto um distúrbio ecológico (observado no presente estudo) como um alto nível de produtividade do ecossistema.

O  $qCO_2$  foi significativamente maior na área degradada comparativamente com as outras áreas (Tabela 2). De acordo com Kaschuk, Alberton e Hungria (2010), um baixo  $qCO_2$  indica economia na utilização de energia e, supostamente, reflete um ambiente mais estável ou mais próximo do seu estado de equilíbrio; ao contrário, valores elevados são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio causado por diferentes usos ou manejos do solo como observado na área degradada que mais que dobrou o  $qCO_2$  comparativamente com as outras áreas.

### Conclusões

O uso e manejo adequado do solo como o cultivo orgânico de bananas e/ou braquiária aumentaram a densidade de esporos de FMAs e o C-BMS, além disso, diminuiu o  $qCO_2$  comparativamente com a área degradada, levado a uma melhor sustentabilidade por um longo período devido a melhor qualidade do solo.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Paranaense – UNIPAR/PIBIC, CNPq/PEBIC e CAPES/PROSUP pelo apoio à pesquisa em forma de bolsas de estudo.

### Referências

BERRY, E. C. Earthworms and other fauna in the soil. In: HATFIELD, J. L.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil biology: effects on soil quality**. Boca Raton, CRC Press, 1994. p. 61-83.

BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 14, n. 4, p. 319-329, 1982.

CARDOSO, E. L et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 6, p. 631-637, 2009.

DECLERCK, S.; PLENCHETTE, C.; STRULLU, D. G. Mycorrhizal dependency of banana (*Musa acuminata*, AAA group) cultivar. **Plant and Soil**, v. 176, n. 1, p. 183-187, 1995.

DECLERCK, S. et al. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on severity of root of bananas caused by *Cylindrocladium spathiphylli*. **Plant Pathology**, v. 51, n. 1, p. 109-115, 2002.

FIALHO, J. S. et al. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 3, p. 250-257, 2006.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transaction of the British Mycological Society**, v. 46, n. 2, p. 235-246, 1963.

GILLER, K. E. et al. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. **Applied Soil Ecology**, v. 6, n. 1, p. 3-16, 1997.

HUNGRIA, M. et al. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, n. 3, p. 288-296, 2009.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000.

JEFWA, J. M. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of banana and plantain and the growth of tissue culture cultivars. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 157, n. 1, p. 24-31, 2012.

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

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: inferences to improve soil quality. **Plant and Soil**, v. 338, n. 1-2, p. 467-481, 2011.

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 Biochemistry**, v. 42, n. 1, p. 1-13, 2010.

LERMEN, C. et al. Potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com aveia em Umuarama – PR. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 15, n. 1, p. 49-55, 2012.

OLIVEIRA, A. N.; OLIVEIRA, L. A. Colonização por fungos micorrízicos arbusculares e teores de nutrientes em cinco cultivares de bananeiras em um latossolo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 481-488, 2005.

SANTOS, M. C. et al. Caracterização química e microbiológica do solo e da produção de biomassa de *Brachiaria brizantha*, em diferentes épocas de amostragem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 1, p. 6-13, 2008.

SIQUEIRA, J. O. et al. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. 716 p.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal Symbiosis**, 3. ed. London: Academic Press, 2008. 815 p.

TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial-c: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 20, n. 3, p. 329-335, 1988.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

WITT, C. et al. A rapid chloroform-fumigation extraction method for measuring soil microbial biomass carbon and nitrogen in flooded rice soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 30, n. 5-6, p. 510-519, 2000.

ZANGARO, W. et al. Investment in fine roots and arbuscular mycorrhizal fungi decrease during succession in three Brazilian ecosystems. **Biotropica**, v. 44, n. 2, p. 141-150, 2012.

Recebido em: 16/12/2013

Aceito em: 01/02/2014