



ARTIGO ORIGINAL

Francisco Pereira Paredes Junior¹
Irzo Isaac Rosa Portilho²
Laércio Alves Carvalho¹
Fábio Martins Mercante^{3*}

¹Unidade Universitária de Aquidauana,
Universidade Estadual de Mato Grosso do
Sul – UEMS, Rod. Aquidauana, km 12, 79200-
000, Aquidauana, MS, Brasil

²Universidade Estadual de Mato Grosso do
Sul – UEMS, Cidade Universitária de Dourados, CP
351, 79804-970, Dourados, MS, Brasil

³Embrapa Agropecuária Oeste – CPAO, BR-163,
km 253, CP 661, 79804-970, Dourados, MS,
Brasil

Autor Correspondente:

*E-mail: fabio.mercante@embrapa.br

PALAVRAS-CHAVE

Revolvimento do solo
Biomassa microbiana
Bioindicador

KEYWORDS

Soil tillage
Microbial biomass
Bioindicator

Atributos microbiológicos em cultivos de cana-de-açúcar sob métodos de preparo do solo

Soil microbiological attributes in sugarcane cultivation under different methods of tillage

RESUMO: O entendimento dos processos relacionados aos atributos microbiológicos do solo, que podem ser utilizados como indicadores da qualidade ambiental, promove uma melhor funcionalidade dos agroecossistemas, atuando diretamente na conservação do solo. O estudo visou a avaliar o efeito de sistemas de preparo do solo em cultivos de cana-de-açúcar na biomassa microbiana do solo e índices derivados (quociente metabólico e quociente microbiano). As amostras de solo foram coletadas no período de 2010 a 2011, na Usina Eldorado (Grupo ETH), no Município de Rio Brilhante-MS, em Latossolo Vermelho Distrófico. Foram avaliados sistemas com as seguintes características: a) preparo convencional I (PCI), composto por duas gradagens (grade aradora), uma subsolagem até a profundidade de 45 cm e uma gradagem niveladora; b) preparo convencional II (PCII), após dessecação com herbicida glifosate, utilizando grade pesada até 20 cm de profundidade, grade intermediária até 10 cm, aração até 40 cm e grade niveladora; c) preparo convencional III (PCIII), com duas gradagens (grade aradora) e uma gradagem niveladora; d) subsolagem (S) até a profundidade de 45 cm, e e) cultivo mínimo (CM), com controle de plantas daninhas, utilizando-se glifosate, sem revolvimento do solo. Uma área adjacente, com vegetação nativa, foi incluída no estudo como referencial da condição original do solo. As coletas de solo foram realizadas na profundidade de 0-10 cm, com cinco amostras compostas, oriundas de oito subamostras, coletadas com intervalos de dez metros entre si, ao longo de um transecto. Entre os sistemas de preparo de solo avaliados, verificou-se que o sistema CM apresentou as melhores condições de manejo para o desenvolvimento dos microrganismos; por outro lado, o sistema S propiciou os menores valores para o carbono da biomassa microbiana e a respiração basal.

ABSTRACT: *The understanding of the processes related to soil microbiological attributes, which can be used as indicators of environmental quality, promotes better functionality to agroecosystems, acting directly in soil conservation. The objective of this study was to evaluate the effect of tillage systems in sugarcane crop on the soil microbial biomass and metabolic and microbial quotients. Soil samples were collected in Oxisol at the Eldorado Sugarcane Plant (Group ETH), in the municipality of Rio Brilhante, Mato Grosso do Sul state, between 2010 and 2011. Systems with the following characteristics were evaluated: a) conventional tillage I (CTI), comprising two disking processes (harrow), one subsoiling process to the depth of 45 cm, and one leveling harrow process; b) conventional tillage II (CTII), after desiccation with glyphosate herbicide, using heavy harrow up to 20 cm depth, intermediate harrow up to 10 cm, plowing up to 40 cm, and leveling harrowing; c) conventional tillage III (CTIII), with disking and leveling harrow; d) subsoiling (S) to a depth of 45 cm; e) minimum tillage (MT), controlling weeds using glyphosate without soil tillage. An adjacent area with native vegetation was included in the study as a reference of the original soil condition. Soil sampling was carried out at the depth of 0-10 cm, with five composite samples originated from eight subsamples collected at intervals of ten meters along a transect. Among the tillage systems assessed, the MT system provided the best soil conditions for the development of microorganisms. On the other hand, the S system presented lower values for microbial biomass carbon and basal respiration.*

Recebido: 17/02/2013

Aceito: 10/12/2013

1 Introdução

O solo pode ser entendido como um sistema de fatores bióticos e abióticos em interação, em que o fluxo de matéria e energia é controlado por seus processos internos e por suas relações com o ambiente externo (ROSCOE et al., 2006). O uso contínuo deste recurso natural por atividades humanas pode alterar a estrutura deste ambiente, como no plantio da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), cultura de destaque no cenário agrícola brasileiro (IBGE, 2011). A sua conservação é essencial para reciclagem de elementos químicos, regulação do fluxo hídrico e de energia, armazenamento de carbono, emissão de gases e manutenção da diversidade da fauna e da flora (MENDES et al., 2009).

Os atributos químicos, físicos e biológicos do solo têm apresentado modificações com a adoção de diferentes práticas de preparo, como a redução dos teores de matéria orgânica (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Estas alterações podem influenciar processos, como o ciclo energético e biogeoquímico, a agregação do solo e a menor atividade biológica (ALVARENGA; SIQUEIRA; DAVIDE, 1999); consequentemente, reduz-se a capacidade produtiva do solo pelos cultivos sucessivos (SOUZA et al., 2010). A busca pela conservação da base de sustentação dos sistemas de produção é o paradigma de muitos pesquisadores (MERCANTE et al., 2008; LISBOA et al., 2012).

O uso de atributos biológicos, físicos e químicos tem sido indicado para a aferição da qualidade do solo, submetido a diferentes práticas agrícolas e pecuárias (DORAN; PARKIN, 1994). Entre os atributos biológicos do solo, a biomassa microbiana é definida como a parte viva da matéria orgânica, composta por todos os organismos menores do que $5.10^{-3} \mu\text{m}^3$, tais como fungos, bactérias, actinomicetos, leveduras e outros componentes da microfauna (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008). Atua como indicador capaz de detectar precocemente as alterações no solo decorrentes de seu uso e manejo, antecedendo às detecções de mudanças provocadas nas propriedades químicas e físicas do solo nos agroecossistemas (GLAESER et al., 2010).

Neste contexto, preconizar sistemas de preparo do solo que condicionem aumento dos atributos microbiológicos em áreas com diferentes sistemas de manejo na cultura de cana-de-açúcar poderá contribuir no âmbito da conservação de sistemas de produção, pois a atividade desses e de outros organismos interfere diretamente no funcionamento do solo e, consequentemente, na sustentabilidade dos agroecossistemas, atuando como um indicador de sua degradação (SOUZA et al., 2010).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes práticas de preparo de solo, realizadas antes do plantio da cana-de-açúcar, na biomassa microbiana do solo e nos índices derivados (quociente metabólico e quociente microbiano).

2 Material e Métodos

O estudo foi conduzido no período de 2010 a 2011, na Usina Eldorado (Grupo ETH), Município de Rio Brillhante-MS, situado a $21^{\circ} 50' 52''$ S e $53^{\circ} 57' 49''$ W a 312 m de altitude, onde o cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) representa a principal atividade. O clima da região é

classificado como Cwa, mesotérmico úmido, com o verão quente e o inverno seco (FIETZ; FISCH, 2008). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa (areia= 170 g kg^{-1} ; silte= 240 g kg^{-1} ; argila= 590 g kg^{-1}) (EMBRAPA, 1999).

O delineamento estatístico adotado foi o de blocos completos casualizados, num esquema fatorial 6×2 , sendo cinco sistemas de preparo de solo e o fragmento com Floresta Semidecídua, e as duas épocas de avaliação, com cinco repetições. Os sistemas de preparo foram dispostos em faixas de 1,0 ha cada. O espaçamento utilizado foi de 1,40 m entre as linhas e 0,80 m entre as plantas de cana-de-açúcar.

Os diferentes tipos de preparo de solo avaliados neste experimento foram implantados pela Usina Eldorado, em maio de 2008. A área experimental foi cultivada com soja, em sistema convencional, antes da instalação do experimento, consistindo dos sistemas de cultivo de cana-de-açúcar, com as seguintes características: a) preparo convencional I (PCI), com duas gradagens (grade aradora), uma subsolagem até a profundidade de 45 cm e uma gradagem niveladora; b) preparo convencional II (PCII), após dessecação, utilizando grade pesada até 20 cm de profundidade, grade intermediária até 10 cm, aração até 40 cm e grade niveladora; c) preparo convencional III (PCIII), com duas gradagens (grade aradora) e uma gradagem niveladora; d) subsolagem (S) até a profundidade de 45 cm, e e) cultivo mínimo (CM), com controle de plantas daninhas, utilizando-se glifosate, sem revolvimento do solo. Uma área adjacente, com fragmento de reserva natural de Floresta Semidecídua (FS), foi incluída no estudo como referencial da condição original do solo. O plantio da cultura de cana-de-açúcar foi realizado em junho de 2008, utilizando a variedade SP81-3250, de ciclo médio. Foram utilizados 600 kg ha^{-1} do adubo NPK na formulação 05-15-30, além de $0,250 \text{ kg ha}^{-1}$ do inseticida Fipronil. A primeira avaliação dos parâmetros microbiológicos foi realizada em novembro de 2010 (período chuvoso), cinco meses após o segundo corte da cana crua, e a segunda avaliação foi realizada em agosto de 2011 (período seco), dois meses após o terceiro corte da cana crua. Para subsidiar os resultados, as precipitações e temperaturas foram registradas durante o período experimental (Figura 1).

Em cada tratamento, foram realizadas amostragens na profundidade de 0-10 cm, com cinco repetições. Cada repetição representa uma amostra composta, oriundas de oito subamostras, coletadas com intervalos de dez metros entre si, ao longo de um transecto. As amostragens foram realizadas perpendicularmente à linha de plantio, com quatro pontos na linha de plantio e os demais, nas entrelinhas. Após a homogeneização, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificadas, e armazenadas em câmara fria (4°C). O solo foi caracterizado quimicamente, de acordo com Claessen (1997) (Tabela 1).

O carbono da biomassa microbiana (C-BMS) foi avaliado pelo método da fumigação-extração (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987). Determinou-se, ainda, a respiração basal (C-CO_2), obtida pela incubação das amostras com captura de CO_2 , em NaOH, durante sete dias, pela adaptação do método da fumigação-incubação (JENKINSON; POWLSON, 1976).

Após a realização das análises de C-BMS e C-CO₂ evoluído, foram determinados os quocientes metabólicos (qCO_2), conforme Anderson e Domsch (1990), sendo esse atributo obtido a partir da relação C-CO₂/C-BMS, e os quocientes microbianos ($qMIC$), pela relação C-BMS/C-orgânico total.

As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, por meio do software Assistat 7.6 beta (SILVA, 2011).

Os parâmetros referentes à biomassa microbiana, aos índices derivados e aos atributos químicos foram submetidos à análise dos componentes principais (ACP). Este método foi adotado por apresentar características de reduzir a multidimensionalidade de conjuntos de dados e gerar eixos interpretáveis (eixos ACP), encontrando combinações lineares das variáveis, de forma a descrever as fontes mais importantes de variação na ordenação dos dados (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998). Foram realizadas duas ACPs: parâmetros biológicos/sistemas de preparo do solo e atributos químicos/sistemas de preparo. As análises dos componentes principais foram realizadas através do pacote vegan na plataforma R (R Development Core Team, 2011).

Além disso, os parâmetros referentes à biomassa microbiana e aos índices derivados foram submetidos à análise de agrupamento (*cluster analysis*), adotando-se o método do vizinho mais distante (*complete linkage*), a partir da distância euclidiana, para descrever a similaridade entre os sistemas

estudados. As análises de agrupamento foram processadas por meio do programa Statistica (HILL; LEWICKI, 2007).

3 Resultados e Discussão

Os teores de C-BMS no fragmento de Floresta Semidecídua foram mais elevados ($p < 0,05$) do que nos demais sistemas. A microbiota é favorecida pela cobertura vegetal nesses sistemas naturais, que proporciona maior acúmulo de material orgânico no solo e, conseqüentemente, maior fonte de nutrientes para o desenvolvimento das comunidades microbianas, como observado em alguns estudos com microrganismos do solo (ROSCOE et al., 2006; MERCANTE et al., 2008). Entre os diferentes sistemas de preparo de solo avaliados, o tratamento CM foi significativamente ($p < 0,05$) superior aos demais sistemas. A manutenção da palhada em superfície e a redução da compactação do solo, devida ao menor tráfego de maquinário, podem ter contribuído para o aumento da biomassa microbiana no sistema CM (BALOTA et al., 1998).

Os sistemas PCI, PCII e PCIII não apresentaram diferença ($p > 0,05$) entre si e o sistema com subsolagem (S) mostrou redução no C-BMS, não diferindo ($p > 0,05$) do tratamento PCI. Nos sistemas com revolvimento mínimo, favoreceu-se o aumento do C-BMS em 58% em relação aos sistemas convencionais de preparo (KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010). Têm sido observados maiores valores de C-BMS em áreas com a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo, em comparação com sistemas em que o revolvimento do solo é intensificado (FRANCHINI et al., 2007). A manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo em sistemas sem revolvimento pode favorecer maior atividade microbiana do solo, com valores expressivos de C-CO₂, indicando maior atividade biológica destes microrganismos (VARGAS; SCHOLLES, 2000).

Entre as variáveis relacionadas à biomassa microbiana do solo (BMS), a respiração basal (C-CO₂) mostrou-se mais elevada no fragmento de Floresta Semidecídua (FS), sendo estatisticamente ($p < 0,05$) superiores aos demais sistemas avaliados (Tabela 2). As condições do ambiente do solo do fragmento de Floresta Semidecídua com maior densidade e complexidade da cobertura vegetal podem ter favorecido o número de nichos ecológicos e a heterogeneidade das fontes de carbono, e, conseqüentemente, a atividade e a estabilidade da comunidade microbiana (ALVES et al., 2011).

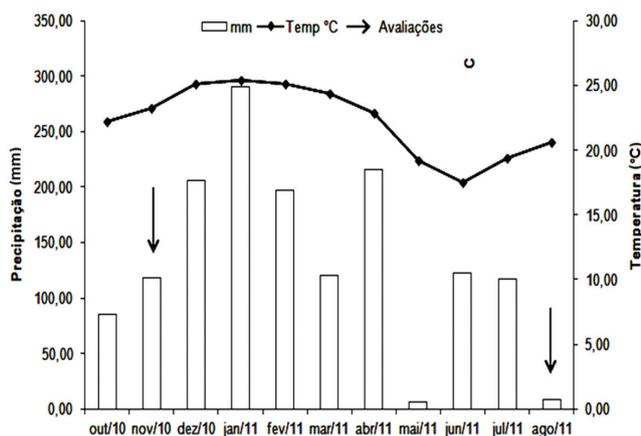


Figura 1. Variação da temperatura e precipitação total registradas na estação meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS.

Tabela 1. Características químicas de amostras do solo na profundidade de 0-10 cm, em plantio convencional I (PCI), plantio convencional II (PCII), plantio convencional III (PCIII), subsolagem (S), cultivo mínimo (CM) e Floresta Semidecídua (FS). Rio Brilhante, MS. Valores médios de duas épocas de avaliação.

Preparo do solo/ prof. (cm)	pH H ₂ O	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V	
										cmol _c dm ⁻³	%
PCI	0-10	5,9	60,4	8,0	0,5	5,7	1,4	0,2	4,5	10,0	76,1
PCII	0-10	5,8	60,8	5,5	0,5	6,9	1,3	0,2	4,5	11,0	79,0
PCIII	0-10	6,3	70,5	10,9	0,4	7,6	1,5	0,2	3,8	10,9	87,1
S	0-10	5,8	57,6	13,1	0,3	4,8	1,4	0,4	4,7	9,0	72,2
CM	0-10	5,9	64,9	5,5	0,3	8,0	2,2	0,1	3,5	13,0	80,7
FS	0-10	6,2	64,8	6,1	0,9	11,0	4,2	0,1	3,2	15,0	89,4

Tabela 2. Valores médios de carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal (C-CO₂), quociente metabólico (qCO_2), quociente microbiano ($qMIC$) e matéria orgânica do solo (MOS) em plantio convencional I (PCI), plantio convencional II (PCII), plantio convencional III (PCIII), cultivo mínimo (CM), subsolagem (S) e fragmento de Floresta Semidecídua (FS), em duas épocas de avaliação. Rio Brilhante, MS.

Preparo do solo	C-BMS	C-CO ₂	qCO_2	$qMIC$	MOS
	µg C g ⁻¹ solo seco	µg C-CO ₂ g ⁻¹ solo d ⁻¹	µg C-CO ₂ µg ⁻¹ C-BMS h ⁻¹	%	g kg ⁻¹
PCI	231,1 cd	6,5 d	20,2 b	1,20 bc	33,1 b
PCII	255,5 c	9,3 cd	15,9 bc	1,41 b	30,8 b
PCIII	250,9 c	7,7 d	16,7 bc	1,29 b	33,0 b
CM	427,6 b	19,9 b	14,8 c	2,12 a	36,5 b
S	169,1 d	10,9 c	27,9 a	0,83 c	35,7 b
FS	549,3 a	27,5 a	7,57 d	1,62 b	59,1 a
Épocas de avaliação					
Novembro 2010	372,5 a	16,1 a	18,2 a	1,53 a	42,7 a
Agosto 2011	255,4 b	10,9 b	16,1 b	1,29 b	33,4 b

Médias seguidas de letras diferentes nas colunas diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Entre os sistemas de preparo do solo avaliados, a maior atividade microbiana ($p < 0,05$) foi observada na área sob CM. A presença de resíduos vegetais no ambiente do solo deste sistema diminui a incidência de raios solares, favorecendo a manutenção de umidade e o microclima estável, sugerindo maior estabilidade do ecossistema; tais condições corroboram com os dados de Mercante et al. (2008) e Alves et al. (2011). Os demais tratamentos avaliados apresentaram menores valores de C-CO₂, em comparação ao fragmento de Floresta Semidecídua (FS). Este fato pode ter ocorrido devido às operações de aração e gradagem do solo. O revolvimento estimula as comunidades microbianas e a fauna do solo a usarem, de forma mais intensiva, a matéria orgânica como fonte de carbono, provocando um desequilíbrio do processo de ciclagem de nutrientes do solo. Assim, operações de cultivo tradicionais resultam em declínio da concentração de matéria orgânica ao longo do tempo no solo, favorecendo perdas de CO₂ para a atmosfera (LAL, 2002).

Analisando-se os resultados obtidos nas áreas estudadas (Tabela 2), observa-se o tratamento S com alta taxa de qCO_2 , indicando um estresse metabólico nas populações microbianas deste local. Menores valores de quociente metabólico têm sido observados em sistema de plantio direto, quando comparados aos do sistema convencional, tendência esta observada no presente estudo (BALOTA et al., 1998). O uso do subsolador pode ter movimentado os resíduos vegetais no perfil do solo, das camadas superficiais (0-10 cm) para as de maior profundidade, favorecendo a decomposição acelerada dos resíduos vegetais presentes neste ambiente e indicando que a biomassa microbiana foi menos eficiente na utilização dos compostos orgânicos, liberando mais carbono na forma de CO₂ e incorporando menos C aos tecidos microbianos (MERCANTE et al., 2008). O índice obtido através da relação C-BMS/C orgânico total, denominado quociente microbiano ($qMIC$), tem sido utilizado para avaliar a qualidade da matéria orgânica do solo. Quanto maior for essa relação, melhor é a eficiência dos microrganismos em fixar o carbono no solo. No presente estudo, todos os tratamentos avaliados, exceto o S, apresentaram valores de quociente microbiano acima de 1%. Valores acima de 1% para o quociente microbiano

($qMIC$) estão dentro da faixa verificada em ambiente com maior conservação do solo, como sistemas naturais no Brasil, conforme apresentado por Roscoe et al. (2006). Provavelmente, no sistema com subsolagem (S), ocorreu uma menor eficiência relativa da microbiota em converter os resíduos orgânicos do solo em biomassa, em comparação aos demais sistemas de preparo do solo.

O maior valor do atributo matéria orgânica do solo (MOS) foi encontrado no sistema sob fragmento de Floresta Semidecídua (FS). Entre os sistemas de manejo avaliados, não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$). As alterações promovidas no solo, em função dos preparos realizados, não foram suficientes para ocasionar alterações nas concentrações de MOS no período em que o experimento foi realizado. Roscoe et al. (2006) ressaltam que alterações na MOS ocorrem de médio a longo prazo, sendo necessário um maior tempo para serem quantificadas. No entanto, os sistemas de cultivo envolvendo aração e gradagem são considerados os de maior poder de transformação, resultando, na maioria das vezes, na redução dos teores de MOS com os sucessivos manejos (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

Em relação às épocas de avaliação, o mês de novembro de 2010, caracterizado como período chuvoso, apresentou os maiores valores para todos os parâmetros microbiológicos avaliados, diferindo ($p > 0,05$) do mês de agosto de 2011, caracterizado como período seco. Os teores observados, provavelmente, refletem melhores condições ambientais para o desenvolvimento da população microbiana em novembro; esta época é caracterizada por ocorrer na região uma elevação da temperatura do ar e da precipitação (Figura 1). Estudos ressaltam o efeito de variação nos atributos microbiológicos do solo, relacionados às épocas de avaliação (SOUZA et al., 2010; LOURENTE et al., 2011).

Na análise dos componentes principais (ACP), a ordenação dos dados no biplot (Figura 2), com diferentes sistemas de preparo do solo, em diferentes épocas de avaliação, para a biomassa microbiana do solo e índices derivados, explicou 88% da variabilidade original, em que CP1 e CP2 retiveram 73% e 15%, respectivamente, das informações originais dos dados. A soma da variabilidade retida nos componentes

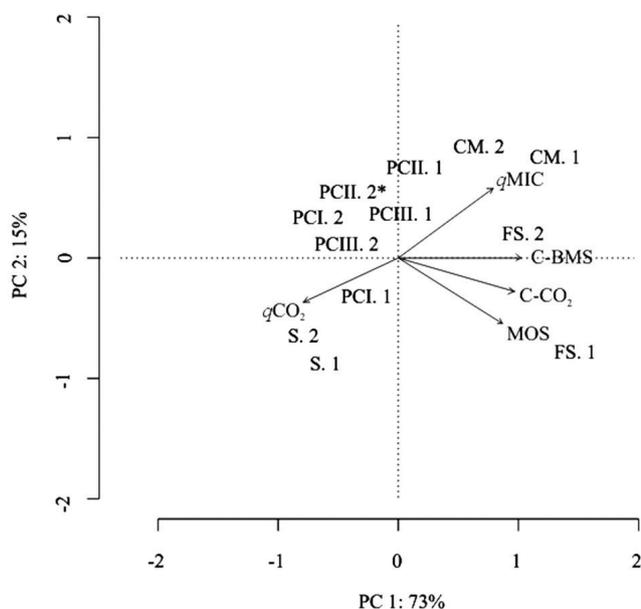


Figura 2. Atributos biológicos nos sistemas de preparo de solo em duas épocas de avaliação. CP1 e CP2 correspondem aos componentes principais. Plantio Convencional I (PCI), Plantio Convencional II (PCII), Plantio Convencional III (PCIII), Subsolagem (S) e Floresta Semidecídua (FS). * 1. Avaliação novembro/2010; 2. Avaliação agosto/2011.

dos sistemas de preparo do solo, em diferentes épocas de avaliação, e das variáveis químicas do solo explica 72% da variabilidade original, cuja CP1 e CP2 retiveram 55% e 17%, respectivamente, das informações originais dos dados (Figura 3).

O Fragmento de Floresta Semidecídua (FS), nas duas épocas de avaliação (novembro/2010 e agosto/2011), se agrupou com a maioria dos parâmetros biológicos relacionados à biomassa microbiana do solo, demonstrando ser um ambiente favorável à manutenção de comunidades biológicas (Figura 2). Estes resultados corroboram com o que foi observado por Roscoe et al. (2006): quanto maior a diversidade de processos nos ecossistemas naturais, menores os fatores de desequilíbrio no solo destes ambientes.

Entre os sistemas de preparo, a adoção do cultivo mínimo (CM), sem o revolvimento do solo na cultura da cana-de-açúcar, apresentou valores próximos ao observado no fragmento de Floresta Semidecídua (FS), agrupando-se parâmetros $qMIC$ com índices relacionados à biomassa microbiana do solo, em ambas as épocas de avaliação (Figura 2), favorecendo melhores condições ao desenvolvimento da comunidade microbiana do solo. A manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo e o não revolvimento do solo proporcionam melhores condições à atividade biológica do solo (LISBOA et al., 2012). Por outro lado, o sistema com subsolagem (S), com manejo em profundidade de 45 cm, agrupou-se com o quociente metabólico (qCO_2) (Figura 2), mostrando que este sistema apresenta condições ambientais estressantes para as comunidades biológicas do solo.

A ordenação dos dados no biplot das variáveis químicas do solo, pela ACP, mostra o sistema comparativo à FS nas diferentes épocas de avaliação, agrupando-se com as

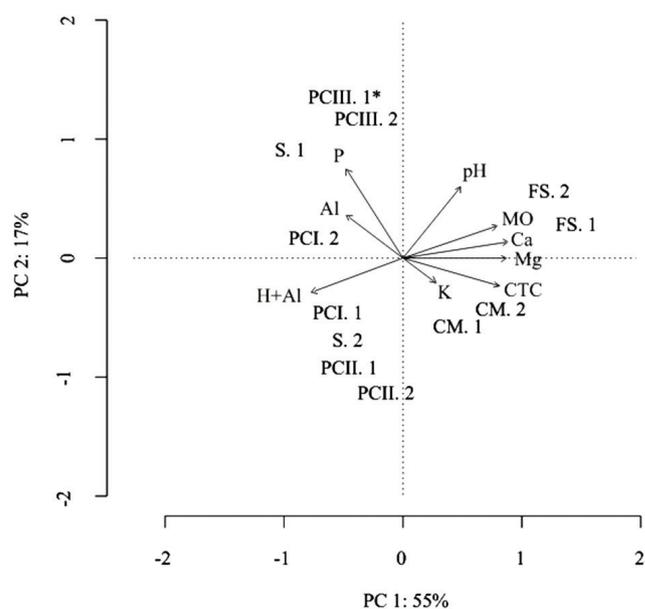


Figura 3. Atributos químicos nos sistemas de preparo de solo em duas épocas de avaliação. CP1 e CP2 correspondem aos componentes principais. Plantio Convencional I (PCI), Plantio Convencional II (PCII), Plantio Convencional III (PCIII), Subsolagem (S) e Floresta Semidecídua (FS). * 1. Avaliação novembro/2010; 2. Avaliação agosto/2011.

variáveis químicas MO, Ca e Mg (Figura 3). Estes resultados confirmam a hipótese de maior quantidade de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes no solo, como Ca e Mg, em fragmentos de Florestas Semidecíduas da região, favorecendo maior atividade biológica.

Entre os sistemas de preparo do solo para o cultivo da cana-de-açúcar, o sistema em cultivo mínimo (CM) foi o único a agrupar-se com as variáveis químicas K e CTC, em ambas as épocas de avaliação (Figura 3). Parâmetros químicos do solo podem ser favorecidos em sistemas que contribuem na manutenção de cobertura vegetal e não revolvimento do solo (CANELLAS et al. 2003). O sistema com subsolagem (S) agrupou-se com as variáveis Al e P, em novembro de 2010, e com H+Al, em agosto de 2011 (Figura 3), mostrando que o uso da subsolagem na cultura da cana-de-açúcar influencia diretamente na dinâmica do solo, podendo modificar os parâmetros químicos deste ambiente.

Em relação à análise de agrupamentos (Figura 4), foi possível verificar a formação de dois grupos interpretáveis. Os grupos 'A' e 'B' englobaram a ligação com distância inferior a 100%, o que permite inferir que a similaridade entre estes é de aproximadamente 0%. Este resultado mostra que alguns sistemas de preparo do solo modificam as estruturas das comunidades de microrganismos do solo e, conseqüentemente, a manutenção da sua qualidade. O grupo 'A' foi subdividido em 'A1' e 'A2', e o grupo 'B', subdividido em 'B1' e 'B2', a partir dos dados dos parâmetros da biomassa microbiana do solo e dos índices derivados. Os grupos compostos pelos sistemas avaliados, a partir da distância euclidiana, apresentaram diferentes similaridades entre si (Figura 4). O grupo 'A', composto por 'A1' com PCI.1, PCII.1, PCIII.1 e 'A2' por S.1, S.2, PCI.2, PCII.2, PCIII.2, englobou a ligação

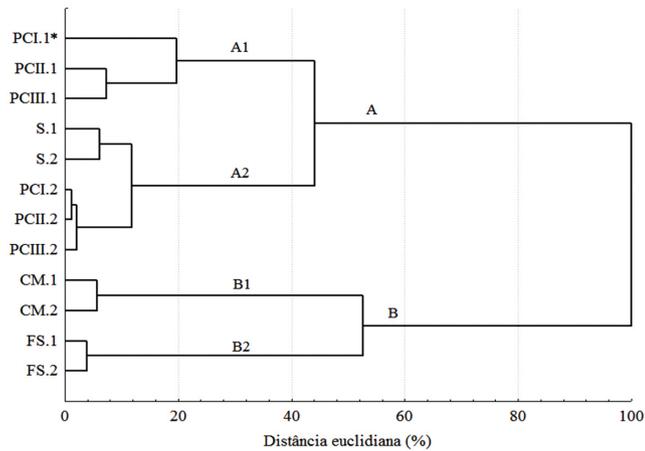


Figura 4. Dendrograma de dissimilaridade dos parâmetros da biomassa microbiana do solo, índices derivados nos diferentes sistemas de preparo de solo em duas épocas de avaliação: Plantio Convencional I (PCI), Plantio Convencional II (PCII), Plantio Convencional III (PCIII), Subsolação (S) e Floresta Semidecídua (FS). *1. Avaliação novembro/2010; 2. Avaliação agosto/2011. Grupos formados: A e B.

com distância superior a 40%, o que permite inferir que a similaridade entre esses grupos é de aproximadamente 60% de semelhança. O grupo 'A' pode ter ocorrido em virtude das características destes sistemas avaliados, com o uso de grades e subsoladores na preparação do solo, influenciando na comunidade microbiana e, conseqüentemente, provocando redução dos valores das variáveis e índices microbiológicos avaliados. Sistemas com revolvimento do solo no plantio da cultura de cana-de-açúcar podem interferir diretamente nos processos físicos, químicos e biológicos deste complexo, reduzindo a manutenção da microbiota, como também afetar a assimilação de nutrientes pelas plantas e a produtividade das culturas (SILVA et al., 2011).

O grupo 'B', composto por 'B1' com CM.1, CM.2 e 'B2' por FS.1, FS.2, englobou a ligação com distância inferior a 55%, o que permite inferir que a similaridade entre esses grupos é de aproximadamente 48% (Figura 4). Isto demonstra que o sistema com cultivo mínimo (CM) se apresenta como um manejo conservador em relação às propriedades biológicas do solo, como a biomassa microbiana, nas duas épocas de avaliação, de similaridade próxima à área de Floresta Semidecídua, usada como referência das condições originais do solo. Esta tendência também foi observada por Garcia; Mello e Cassiolato (2004) que, ao avaliarem variáveis microbiológicas e produtividade do feijoeiro em razão do manejo do solo e da calagem, verificaram maiores valores de C da biomassa microbiana em cultivo (CM) e produtividade de grãos.

Portanto, pode-se inferir que sistemas com preparo do solo em cultivo mínimo da cana-de-açúcar favorecem o equilíbrio dinâmico da biomassa microbiana do solo e, conseqüentemente, a conservação deste agrossistema. Por outro lado, o uso de equipamentos como grades e subsoladores reduzem atividade microbiológica do solo. A conservação da microbiota do solo também tem sido observada em outros sistemas de manejo com rotação de culturas em plantio direto

e integração lavoura-pecuária, que mantêm cobertura vegetal na superfície do solo.

4 Conclusões

A biomassa microbiana do solo, por responder às alterações causadas pelos sistemas de preparo do solo na cultura de cana-de-açúcar, pode ser considerada um bioindicador em potencial para avaliação da qualidade de solo.

O sistema de preparo do solo em cultivo mínimo (CM) no plantio da cana-de-açúcar favorece a manutenção da comunidade de microrganismos do solo, em comparação aos sistemas que empregam arações e gradagens.

Os sistemas de preparo do solo para o cultivo de cana-de-açúcar interferiram, em geral, nos parâmetros biológicos do solo, como o carbono da biomassa microbiana (C-BMS), a respiração basal (C-CO₂), o quociente metabólico (qCO₂) e o quociente microbiano (qMIC).

Agradecimentos

Fábio Martins Mercante agradece ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa, e Francisco Pereira Paredes Júnior, à FUNDECT, pela Bolsa de Estudo.

Referências

- ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, v. 23, n. 3, p. 617-625, jul./set. 1999.
- ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; NICOLAU, E. N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejo. *Acta Scientiarum*, v. 33, p. 341-347, 2011.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of ecophysiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 22, n. 2, p. 251-255, 1990. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90094-G](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(90)90094-G)
- BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo de sucessão de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, p. 641-649, 1998.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 7-16.
- CLAESSEN, M. E. C. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. (Documentos, n. 1).
- CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 935-944, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000500018>

- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.). *Defining soil quality for sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (SSA Special Publication, n. 35).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.
- FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. *O clima na região de Dourados, MS*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 32 p. (Documentos, n. 92).
- FRANCHINI, J. C.; CRISPINO, C. C.; SOUZA, R. A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, v. 92, p. 18-29, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2005.12.010>
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 159-170.
- GARCIA, M. R. L.; MELLO, L. M. M.; CASSIOLATO, A. M. R. Variáveis microbiológicas e produtividade do feijoeiro sob diferentes manejos do solo e calagem. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 39, n. 10, p. 1021-1026, 2004.
- GLAESER, D. F.; MERCANTE, F. M.; ALVES, M. A. M.; SILVA, R. F.; KOMORI, O. M. Biomassa microbiana do solo sob sistemas de manejo orgânico em cultivos de café. *Ensaios e Ciência: Ciência Biológicas, Agrárias e da Saúde*, v. 14, n. 2, p. 103-114, 2010.
- HILL, T.; LEWICKI, P. *Statistics: methods and applications*. A comprehensive reference for science, industry, and data mining. Tulsa; General Linear Models, StatSoft, 2007. chapt. 18, p. 245-276.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Indicadores IBGE: estatística da produção agrícola: Levantamento Sistemático Produção Agrícola*. IBGE, 2011. v. 24, p. 1-82.
- 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. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(76\)90005-5](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(76)90005-5)
- 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, p. 1-13, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.08.020>
- LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environmental Pollution*, v. 116, p. 353-362, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00211-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00211-1)
- LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. *Numerical ecology*. Amsterdam: Elsevier Science, 1998. 853 p. PMCid:PMC107859.
- LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira Ciência Solo*, v. 36, p. 45-55, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000100004>
- LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob sistemas de manejo e condições de Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 41, p. 20-28, 2011.
- MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; REIS-JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; MERCANTE, F. M.; ZILLI, J. E. *Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade?* Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. (Documentos, n. 246).
- 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.
- SILVA, F. A. S. *Assistat versão 7.6 beta. Programa de análise estatística*. 2011. Disponível em: <<http://www.assistat.com/>>
- 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>
- SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 79-88, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000100008>
- R DEVELOPMENT Core Team. R: a language and environment for statistical computing. [2.12.2]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2011.
- ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, 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.
- 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. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6)
- VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 35-42, 2000.