



ARTIGO ORIGINAL

Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas

Microbial biomass and activity of soil under different cropping systems and crop successions

Valdinei Araújo Gonçalves¹
Christiane Augusta Diniz Melo^{1*}
Igor Rodrigues de Assis¹
Lino Roberto Ferreira¹
Douglas Teixeira Saraiva¹

¹ Universidade Federal de Viçosa – UFV,
Avenida Peter Henry Rolfs, s/n,
Departamento de Fitotecnia,
Campus Universitário,
CEP 36570-900, Viçosa, MG, Brasil

*Autor Correspondente:

E-mail: chrisadinizmelo@yahoo.com.br

PALAVRAS-CHAVE

Plantio direto
Plantio convencional
Sucessão milho-feijão
Sucessão soja-trigo

KEYWORDS

No-tillage
Conventional tillage
Corn-beans succession
Soy-wheat succession

RESUMO: Considerando a importância dos microrganismos do solo, objetivou-se avaliar a biomassa e atividade microbiana em um Argissolo Vermelho-Amarelo, submetido aos sistemas de plantio direto e convencional e às sucessões de culturas milho-feijão e soja-trigo por dez anos. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. Nas parcelas foram dispostos os sistemas de plantio, e nas subparcelas, as sucessões de culturas. Amostras de solo foram coletadas nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-15 cm, e nelas determinadas o carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo e o carbono orgânico total, e calculados os índices quociente metabólico e quociente microbiano. Não houve diferença no carbono da biomassa microbiana entre os sistemas de plantio e as sucessões de culturas em nenhuma das profundidades amostradas. A taxa respiratória dos microrganismos diferiu entre sucessões de culturas na profundidade de 0-5 cm, com maior valor para a sucessão soja-trigo. O carbono orgânico nas profundidades de 5-10 e 10-15 cm foi 27,1 e 37,5% maiores no plantio convencional do que no plantio direto, respectivamente. O quociente microbiano, na profundidade de 10-15 cm, foi maior no plantio direto. Conclui-se que as sucessões de culturas influenciam a taxa respiratória dos microrganismos no solo, principalmente em menor profundidade. A sucessão soja-trigo proporciona maior atividade dos microrganismos no solo estudado. Não houve diferença na biomassa e atividade microbiana entre os sistemas analisados nas camadas superficiais do solo, após dez anos de cultivo consecutivos, possivelmente porque não houve, em ambos, restrições químicas e/ou físicas marcantes, como compactação.

ABSTRACT: Whereas the importance of soil microorganisms, the present study aims to evaluate the biomass and microbial activity in a Red-Yellow Ultisol, submitted to no-tillage and conventional systems and successions of corn-beans and soybean-wheat, for ten years. A Split-plot scheme in balanced completely randomized design was used, with three replications. In the plots were arranged the planting systems and, in the subplots, the crops successions. Soil samples were collected at depth 0-5, 5-10 and 10-15 cm, and the analysis were soil microbial biomass carbon, soil microorganism respiration rate and total organic carbon, and calculated the indices metabolic quotient and microbial quotient. There was no difference in the microbial biomass carbon between planting systems and crop successions in any of the depths sampled. The respiratory rate differed between crops successions at depth of 0-5 cm, with a higher value for the soybean-wheat succession. The organic carbon at depths of 5-10 and 10-15 cm was 27.1 and 37.5% higher in conventional tillage than in no-tillage, respectively. The microbial quotient at depth of 10-15 cm was better for no-tillage. It is concluded that the culture succession influences the respiration rate, mainly in a lower depth. The soybean-wheat succession provides greater microorganisms activity in the studied soil. There was no difference in biomass and microbial activity between the conventional and no-tillage system in the superficial layers of the soil, after ten consecutive years of cultivation. This may have occurred because there were no marked chemical and/or physical restrictions, such as compaction, in both tillage systems.

Recebido em: 04/03/2017

Aceito em: 04/11/2018

1 Introdução

A produtividade dos ecossistemas agrícolas está diretamente ligada à atividade dos microrganismos no solo, uma vez que a comunidade microbiana desempenha importante papel na ciclagem dos nutrientes e na degradação dos restos culturais (Benintende et al., 2008; Gama-Rodrigues et al., 2008).

Determinar a biomassa e a atividade dos microrganismos no solo é uma maneira rápida e prática de verificar a sua qualidade, pois são indicadores muito sensíveis de mudanças no meio, como aquelas advindas do manejo do solo e das culturas. Alterações no comportamento dos microrganismos são percebidas antes de serem observadas alterações nas características químicas e físicas do solo (Venzke Filho et al., 2008).

O preparo do solo para implantação das culturas diferencia-se, principalmente, quanto à intensidade de mobilização das partículas do solo, assim como quanto ao manejo dos resíduos vegetais das culturas antecessoras, sendo mais comuns o plantio direto e o plantio convencional.

No plantio convencional, o intenso revolvimento do solo e, por consequência, a incorporação dos restos culturais podem comprometer o estabelecimento da comunidade microbiana na camada superficial do solo, uma vez que a prática de revolver o solo causa danos diretos aos microrganismos, expondo-os às maiores variações de temperatura e umidade (TerAvest et al., 2015).

Já no plantio direto observa-se a manutenção da palhada em superfície, originando uma camada de material vegetal em diferentes estágios de decomposição, garantindo maior integridade das células microbianas e proporcionando, assim, um microclima favorável ao estabelecimento e desenvolvimento dos microrganismos (Silva et al., 2012). Por outro lado, com a mecanização neste sistema de produção, existe a tendência de compactação superficial do solo com o tempo (Calonego et al., 2017).

O manejo do solo e das culturas tem um papel fundamental na manutenção e melhoria da qualidade do solo, assim como influência direta na sua estrutura e, por consequência, no habitat dos microrganismos. O preparo do solo é uma atividade que altera as propriedades físicas do solo, uma vez que tem impacto sobre a sua estrutura (Ralisch et al., 2010). Por outro lado, os sistemas de cultivo que envolvem a rotação ou a sucessão de culturas exercem papel importante na formação e estabilidade dos agregados (Munkholm et al., 2013) e na atividade da microbiota do solo (Franchini et al., 2007). A rotação de culturas é prática comum no Brasil, uma vez que proporciona recobrimento eficiente do solo, diversificação da renda e elevada ciclagem de nutrientes, bem como favorece a quebra dos ciclos de patógenos e de plantas daninhas e melhora as propriedades físico-químicas, incluindo o carbono orgânico do solo (Boddey et al., 2010; Calegari et al., 2008; Franchini et al., 2007; Silva et al., 2008).

Para avaliar os efeitos do manejo do solo e das culturas na atividade dos microrganismos, é essencial a utilização de indicadores capazes de mostrar, com clareza, como é o impacto desses sobre o solo.

Dentre as várias ferramentas disponíveis, destaca-se a determinação do carbono da biomassa microbiana, por ser

um dos principais componentes da matéria orgânica viva do solo e sensível às alterações no sistema (Babujia et al., 2010; De-Polli & Pimentel, 2005; Silva et al., 2012). Também é bastante utilizada a determinação da taxa respiratória do solo, que é resultante do metabolismo dos microrganismos durante o processo de degradação dos resíduos vegetais e da ciclagem da matéria orgânica (Babujia et al., 2010). O quociente metabólico, parâmetro originado da razão entre a taxa respiratória do solo e o carbono da biomassa microbiana, permite uma avaliação mais conclusiva a respeito da atividade microbiana do solo (Colozzi Filho et al., 2001; Mercante et al., 2008). Outro indicador da qualidade biológica é o quociente microbiano, que relaciona o carbono da biomassa e o carbono orgânico total do solo, permitindo, segundo Marchiori Júnior & Mello (1999), avaliar a qualidade da matéria orgânica (MO) presente no solo.

Ekeren et al. (2008) verificaram incremento nos valores de carbono da biomassa microbiana e redução nos níveis do quociente metabólico na camada superficial do solo submetido ao sistema de plantio direto (PD) por vários anos consecutivos, em comparação ao solo sob plantio convencional (PC). Isso indica que no solo sob PD a microbiota encontrava-se mais ativa e eficiente energeticamente, caracterizando um sistema mais produtivo e com menores perdas de carbono total. Superioridade do PD sobre o PC quanto ao carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e atividade dos microrganismos em camadas superficiais, após 20 anos, também foi evidenciado por Babujia et al. (2010). Segundo Roldán et al. (2003), isso se deve ao aumento dos níveis de carbono orgânico total do solo, proporcionado pela manutenção dos restos culturais em superfície ao adotar o sistema PD. No entanto, os trabalhos citados foram conduzidos em condições edafoclimáticas diferentes e com culturas também diferentes deste trabalho, podendo isso ser o fator mais expressivo para as diferenças encontradas.

São conhecidos na literatura os efeitos benéficos do plantio direto e de sucessões de cultura sobre as características químicas e físicas do solo (Calonego et al., 2017; Moraes Sá et al., 2013; TeraVest et al., 2015), sendo estes bastante diferenciados, não havendo um sistema melhor em todas as condições já estudadas. No entanto, existem poucos estudos sobre os efeitos destes diferentes sistemas nos atributos biológicos do solo. Assim, espera-se que os efeitos dos diferentes sistemas de preparo de solo e de plantios também sejam mais benéficos nos sistemas conservacionistas do solo.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a biomassa, a atividade dos microrganismos e o teor de carbono orgânico total de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido aos sistemas de plantio direto e convencional e às sucessões de culturas milho-feijão e soja-trigo, por dez anos consecutivos.

2 Material e Métodos

O experimento foi implantado em 2003 em área experimental da Universidade Federal de Viçosa, localizada nas coordenadas geográficas 20°45'54''S e 45°52'54''W, na altitude de 650 m. O clima dessa região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cwa, caracterizado por verão quente e chuvoso e inverno seco. O solo utilizado foi

classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (Embrapa, 2013), em relevo suave ondulado, apresentando 257 g kg⁻¹ de areia, 174 g kg⁻¹ de silte e 569 g kg⁻¹ de argila, na profundidade de 0-25 cm. Ainda, o solo apresentava pH igual a 5,6, teores disponíveis de P e K iguais a 11,2 e 93,0 mg dm⁻³, respectivamente, teores trocáveis de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ iguais a 5,2; 1,8 e 0,0 cmol_c dm⁻³, respectivamente. As análises químicas foram realizadas conforme Embrapa (2011). Antes da implantação do experimento, a área foi utilizada por aproximadamente quinze anos com diversas culturas em sistema de plantio convencional.

O delineamento experimental utilizado foi o delineamento inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas. Nas parcelas foram avaliados os sistemas de plantio – plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) – e nas subparcelas as sucessões de culturas – milho-feijão (M-F) e soja-trigo (S-T), com três repetições, totalizando doze parcelas amostrais. As parcelas mediam 25 m², e as subparcelas 12,5 m². As semeaduras do milho e da soja foram realizadas nos meses de novembro; e do feijão e trigo no mês de junho, durante dez anos consecutivos (de 2003 a 2013).

Para o plantio direto as parcelas foram preparadas utilizando-se herbicidas dessecantes, com o objetivo de eliminar a vegetação presente e formar uma cobertura morta sobre o solo. No plantio convencional, o preparo foi realizado por meio do revolvimento com arado de discos, seguido de gradagem para a quebra dos torrões e nivelamento da superfície do solo. A semeadura das culturas, em ambos os sistemas de plantio, foi realizada com uma semeadora da marca Semeato 11/13. O milho foi cultivado no espaçamento de 80 cm entre fileiras, numa densidade de 66.000 sementes viáveis/ha. A soja cultivada no espaçamento de 50 cm entre fileiras e densidade de 240.000 sementes viáveis/ha. O feijão foi espaçado de 50 cm e densidade de 200.000 sementes viáveis/ha. O trigo tinha espaçamento entre fileiras de 20 cm e densidade de 4.000.000 sementes viáveis/ha. As adubações das culturas (calagem e adubação com macro e micronutrientes), em cada ano, foram baseadas em análise química do solo e nas exigências de cada cultura. O manejo de plantas daninhas em pós-emergência foi realizado com herbicidas recomendados para cada uma das culturas. A colheita mecanizada foi efetuada conforme a necessidade e exigência de cada cultura.

As amostras de solo (dez amostras simples para compor uma amostra composta por parcela) foram coletadas em três profundidades: 0-5, 5-10 e 10-15 cm, na entrelinha das culturas de milho e soja após a colheita e antes de a área ser preparada para o plantio do feijão e do trigo, no ano de 2013. Para a retirada das amostras utilizou-se pá de corte e cavadeira manual para abertura das trincheiras, e após retiradas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, protegidas da luz e mantidas em caixas térmicas até serem encaminhadas ao laboratório.

Para determinar o carbono orgânico total do solo (COT) aplicou-se a metodologia proposta por Walkley-Black, utilizando solução de dicromato (Cr₂O₇²⁻) e considerando que todo carbono do solo encontra-se em estado de oxidação zero.

Para determinar a taxa respiratória dos microrganismos no solo, foram incubados 100 g de solo, tamisado a 2 mm

de abertura de malha, com umidade ajustada para 70% da capacidade de campo. O CO₂ que evoluiu das amostras, em 15 dias de incubação, foi capturado em frascos contendo 100 mL de NaOH (0,5 mol L⁻¹), em sistema de fluxo de ar contínuo (isento de CO₂) como proposto por Curl & Rodriguez-Kabana (1972). Além dos frascos contendo as amostras de solo, foram também incubados frascos sem solo, os quais constituíram amostras em branco.

Após a incubação, a taxa respiratória dos microrganismos no solo foi determinada por titulação indireta com HCl (0,5 mol L⁻¹), determinando-se o NaOH restante, que não reagiu com o CO₂ evoluído das amostras de solo.

De cada amostra de solo incubada, foram retiradas duas subamostras de 18 g, sendo uma submetida à radiação de micro-ondas por tempo previamente calculado (60 + 60 segundos), para lise das células microbianas e liberação dos componentes celulares; e outra sem irradiação, para determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM), conforme metodologia descrita por Vance et al. (1987), modificada por Islam & Weil (1998).

De posse dos valores de taxa respiratória dos microrganismos no solo (C-CO₂) e do carbono da biomassa microbiana (CBM), calculou-se o valor do quociente metabólico - qCO_2 diário ($qCO_2 = C-CO_2/CBM$). Com os dados de COT e de CBM, calculou-se o quociente microbiano do solo - $qMIC$ ($qMIC = CBM / COT$).

Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e à análise de variância a 5% de significância. Havendo efeito significativo da interação, efetuou-se o desdobramento de sucessão de culturas dentro de cada sistema de plantio. As médias foram comparadas pelo teste F a 5% de significância.

3 Resultados e Discussão

Os sistemas de plantio não influenciaram de forma significativa o teor COT na menor profundidade, sendo observado no plantio direto valor médio de 2,85 dag kg⁻¹, e no plantio convencional 2,44 dag kg⁻¹. Tal resultado diverge de Lisboa et al. (2012), que afirmam haver tendência de menor disponibilidade de C orgânico na camada superficial do solo sob PC. Estes autores atribuem isso ao rompimento dos agregados do solo nesse sistema de preparo, disponibilizando frações protegidas da MO, favorecendo a decomposição da matéria orgânica em curto espaço de tempo. Além disso, o fato de o solo ser mantido descoberto no PC favorece as perdas de carbono por radiação direta e erosão. No entanto, as condições edafoclimáticas e as espécies utilizadas por eles foram diferentes das condições deste trabalho. Principalmente pelo fato de o solo utilizado neste trabalho ser um Argissolo, com maior quantidade de areia na camada superficial, proporcionando pior condição de acúmulo de MO, devido à menor quantidade de cargas.

No sistema de plantio convencional, para as profundidades de 5-10 e 10-15 cm, o COT foi maior que no plantio direto (Figura 1a, 1b), corroborando com Santos et al. (2004), que afirmam que a incorporação dos restos vegetais durante o revolvimento do solo no plantio convencional é o principal responsável pelo aumento do COT do solo em camadas subsuperficiais.

O COT em sistemas de plantio direto é maior em camadas superficiais, porém, declina drasticamente em maiores profundidades (Bonetti et al., 2017; Veloso et al., 2018), sendo o oposto observado no plantio convencional, conforme verificado neste estudo.

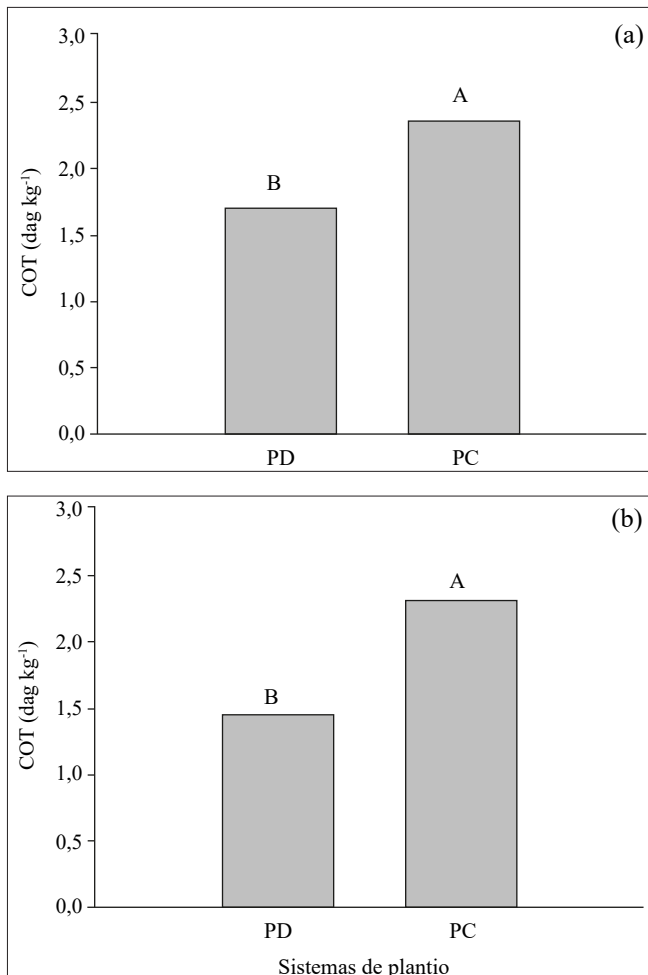


Figura 1. Carbono orgânico total do solo (COT) nos sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC), nas profundidades de 5-10 cm (a) e 10-15 cm (b). Sistemas de plantio seguidos por letras distintas diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

Figure 1. Total soil organic carbon (COT) in no-tillage (PD) and conventional (PC) systems, at depths of 5-10 cm (a) and 10-15 cm (b). Planting systems followed by distinct letters differ from each other by the F test at 5% significance.

Para sucessões de culturas, no plantio convencional, verificou-se diferença no carbono orgânico total apenas na profundidade de 5-10 cm, sendo 42% superior na sucessão soja-trigo em relação a milho-feijão (Figura 2). Essa diferença pode estar associada à maior quantidade de material vegetal incorporado ao solo nessa sucessão, durante os processos periódicos de revolvimento. Porém, é importante ressaltar que a qualidade da palha, principalmente no que se refere à relação C/N, é mais importante para o COT do solo do que a quantidade.

A baixa relação C/N da planta de soja e a menor biomassa da parte aérea do trigo, comparado ao milho, pode, na maioria das vezes, facilitar a ciclagem da matéria orgânica de soja e trigo pelos microrganismos edáficos. Além disso,

a maior superfície de contato entre o material vegetal e o solo é proporcionado pelo sistema de plantio convencional, ocorrendo assim maior intensificação do processo de ciclagem da matéria orgânica pelos microrganismos, o que disponibiliza maior quantidade de COT ao solo (Correia & Durigan, 2008). A esse efeito pode-se justificar a ausência de significância para o COT entre as sucessões de cultura no sistema de plantio direto.

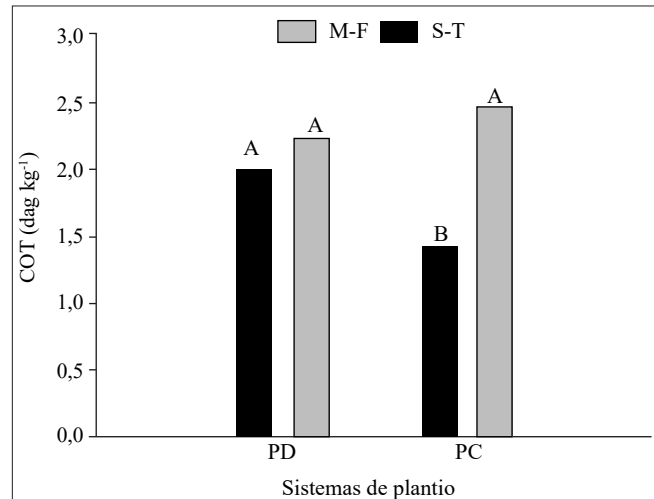


Figura 2. Carbono orgânico total do solo (COT) nos sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC), submetidos às sucessões de culturas milho-feijão (M-F) e soja-trigo (S-T), na profundidade de 5-10 cm. Sucessões de culturas, no mesmo sistema de plantio, seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

Figure 2. Total soil organic carbon (COT) in no-tillage (PD) and conventional (PC) systems, submitted to corn-bean (M-F) and soybean-wheat (S-T) crops successions, at depths of 5-10 cm. Crops successions, in the same planting system, followed by the same letter do not differ from each other by the F test at 5% significance.

O carbono da biomassa microbiana não diferiu significativamente entre os sistemas de plantio e as sucessões de culturas em nenhuma das profundidades avaliadas, semelhante ao observado por Lourente et al. (2011), avaliando amostras de solo coletadas antes do plantio de culturas de inverno. A complexidade de resultados obtidos com várias rotações de culturas, incluindo inesperada ausência de diferenças na biomassa e atividade microbiana em trabalhos realizados no Brasil (Balota et al., 2004; Franchini et al., 2007; Hungria et al., 2009; Silva et al., 2010), mostra claramente a necessidade de mais estudos para melhorar a compreensão de como as comunidades microbianas são afetadas pelos sistemas de plantio e cultivos sucessivos ao longo do tempo.

Acredita-se que, mantendo-se o solo sob o mesmo sistema de plantio e sucessões de culturas por muitos anos, há uma adaptação da comunidade microbiana às condições existentes no local, possibilitando desempenho adequado de suas funções (Alvarenga et al., 1999).

Verificou-se diferença na taxa respiratória dos microrganismos no solo entre os sistemas de plantio apenas na camada mais profunda (Figura 3). Tal resultado pode ser atribuído à ocorrência de maior atividade dos microrganismos na

degradação dos resíduos vegetais nessa profundidade, uma vez que no plantio convencional a quantidade de material vegetal em camadas subsuperficiais é maior, devido à incorporação dos restos vegetais durante o revolvimento do solo.

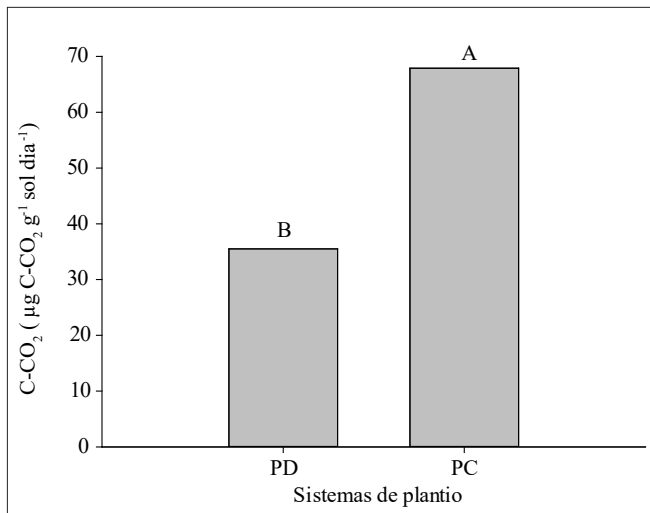


Figura 3. Taxa respiratória dos microrganismos no solo (C-CO₂) nos sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC), na profundidade de 10-15 cm. Sistemas de plantio seguidos por letras distintas diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

Figure 3. Respiratory rate of microorganisms in soil (C-CO₂) in no-tillage (PD) and conventional (PC) systems, at depth of 10-15 cm. Planting systems followed by distinct letters differ from each other by the F test at 5% significance.

Quando se verifica o incremento da taxa respiratória dos microrganismos no solo em curto prazo, há indicativo de liberação de nutrientes para as plantas e, em longo prazo, acarreta a perda de COT para a atmosfera na forma de CO₂ (Silva et al., 2007). A taxa respiratória do solo por si só não permite tirar conclusões consistentes, uma vez que altos valores podem estar relacionados tanto com um sistema produtivo com alta eficiência energética como também a um sistema submetido a algum distúrbio. Dessa forma, deve ser analisado em conjunto com outros indicadores. Neste estudo, considerando uma mesma biomassa microbiana associada a dois sistemas de cultivo, maior CO₂ está sendo desprendido do sistema convencional, caracterizando um sistema com microbiota menos econômica, associado a maiores perdas de carbono. Resultado semelhante foi encontrado por Moraes Sá et al. (2013) para diferentes culturas em ambos sistemas de plantio em condições tropicais no Brasil.

Entre as sucessões de culturas houve diferença na taxa respiratória dos microrganismos do solo na camada superficial, sendo o valor médio de C-CO₂ 23% superior no solo onde se cultivou a sucessão soja-trigo (Figura 4). Isso pode estar associado à época de amostragem do solo, realizada após a colheita da soja e do milho. Como as culturas são bem diferentes em termos de produção de matéria seca, volume de sistema radicular, constituição e tamanho dos resíduos, elas podem influenciar de maneira distinta a atividade microbiana com a deposição desses resíduos sobre o solo após a colheita.

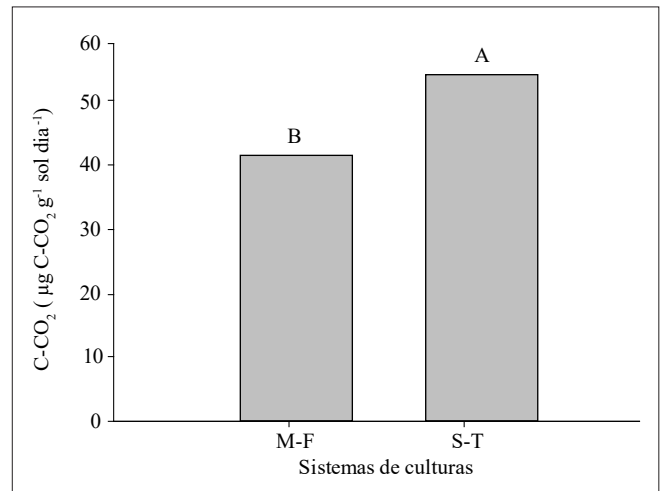


Figura 4. Taxa respiratória dos microrganismos no solo (C-CO₂) sob efeito das sucessões de culturas milho-feijão (M-F) e soja-trigo (S-T), na profundidade de 0-5 cm. Sucessões de culturas seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

Figure 4. Respiratory rate of microorganisms in soil (C-CO₂) under effect of corn-bean (M-F) and soybean-wheat (S-T) crops successions, at depth of 0-5 cm. Crops successions followed by distinct letters differ from each other by the F test at 5% significance.

O quociente microbiano (*q*MIC) apresentou diferença significativa apenas entre os sistemas de plantio, na profundidade de 10-15 cm (Figura 5a), sendo o maior valor, 0,92%, para o plantio direto. Segundo Lisboa et al. (2012), maior *q*MIC em maiores profundidades no plantio direto está relacionado ao menor acúmulo de carbono pelos microrganismos nesse local, muitas vezes em razão da menor disponibilidade de substrato (Santos et al., 2004). Nas demais profundidades os valores médios de *q*MIC foram iguais a 1,13 e 1,90% nas profundidades de 0-5 cm e 10-15 cm, respectivamente.

Em estudo sobre a atividade microbiana de um Latossolo Vermelho no Sul do Brasil, em experimento estabelecido por vinte anos com sucessão soja (verão) e trigo (inverno) sob PD e PC, não foi detectada diferença no quociente metabólico entre os dois sistemas de plantio, nas profundidades estratificadas de 0-60 cm (Babujia et al., 2010).

O quociente metabólico diferiu significativamente apenas entre as sucessões de culturas, também na profundidade de 10-15 cm (Figura 5b). Nesse caso, a sucessão milho-feijão apresentou valor igual a 0,74 µg C-CO₂ µg⁻¹ CBM dia⁻¹ superior à sucessão soja-trigo, que foi de 0,30 µg C-CO₂ µg⁻¹ CBM dia⁻¹. Nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, os valores médios para as sucessões de culturas foram 0,20 e 0,31 µg C-CO₂ µg⁻¹ CBM dia⁻¹, respectivamente.

Esse quociente representa a evolução de C-CO₂ do solo por unidade de carbono da biomassa microbiana em determinado intervalo de tempo. Assim, à medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização dos recursos do ecossistema, menos CO₂ é perdido pela respiração e maior proporção de C é incorporada aos tecidos microbianos, resultando em menor valor de *q*CO₂, sugerindo que o sistema encontra-se próximo do seu equilíbrio (Colozzi Filho et al., 2001; Mercante et al., 2008).

Os maiores valores de *q*CO₂ na sucessão milho-feijão indicam que solos cultivados com essas culturas são capazes de favorecer

maior perda de carbono na forma de C-CO₂ para a atmosfera do que na sucessão soja-trigo. De acordo com Santos et al. (2004), culturas com maior produção de biomassa de parte aérea e que em sua constituição apresentem compostos que dificultem a ação de degradação dos microrganismos, por exemplo o milho, podem aumentar o qCO_2 do solo, conforme observado neste estudo.

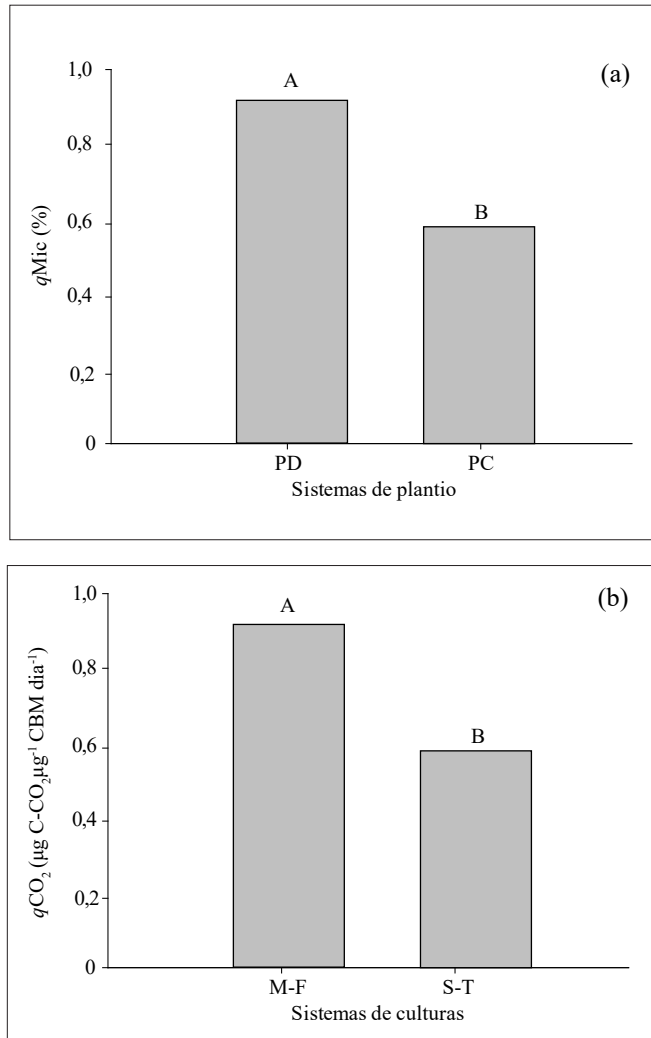


Figura 5. Quociente microbiano do solo ($qMIC$) nos sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC) (a) e quociente metabólico (qCO_2) sob sucessões de culturas milho-feijão (M-F) e soja-trigo (S-T) (b), na profundidade de 10-15 cm. Sistemas de plantio e sucessões de culturas seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

Figure 5. Quotient microbial soil ($qMIC$) in no-tillage (PD) and conventional (PC) systems (a) and metabolic quotient (qCO_2) under corn-bean (M-F) and soybean-wheat (S-T) crops successions (b) at depth of 10-15 cm. Planting systems and crop successions followed by distinct letters differ from each other by the F test at 5% significance.

4 Conclusões

O plantio convencional proporciona melhores condições ao estabelecimento da comunidade microbiana do solo na profundidade de 10-15 cm. O sistema convencional e o sistema plantio direto nas camadas superficiais do solo não apresentam

diferenças na biomassa e na atividade microbiana, após dez anos consecutivos de cultivo.

As diferentes sucessões de culturas influenciam a taxa respiratória dos microrganismos no solo, principalmente na profundidade de 0-5 cm. A sucessão soja-trigo favorece maior atividade dos microrganismos no solo do que a sucessão milho-feijão.

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. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 23, n. 3, p. 617-625, 1999.

BABUJIA, L. C.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BROOKES, P. C. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 42, n. 12, p. 2174-2181, 2010. DOI: 10.1016/j.soilbio.2010.08.013.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian oxisol. *Soil & Tillage Research*, v. 77, n. 2, p. 137-145, 2004. DOI: 10.1016/j.still.2003.12.003.

BENINTENDE, S. M.; BENINTENDE, M. C.; STERREN, M. A.; BATTISTA, J. J. Soil microbiological indicators of soil quality in four rice rotations systems. *Ecological Indicators*, v. 8, n. 5, p. 704-708, 2008. DOI: 10.1016/j.ecolind.2007.12.004.

BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; DOS SANTOS, H. P.; DENARDIN, J. E.; AITA, C.; GIACOMINI, S.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. *Global Change Biology*, v. 16, p. 784-795, 2010. DOI: 10.1016/j.ecolind.2007.12.004.

BONETTI, J. A.; ANGHINONI, I.; MORAES, M. T.; FINK, J. R. Resilience of soils with different texture, mineralogy and organic matter under long-term conservation systems. *Soil and Tillage Research*, v. 174, p. 104-112, 2017. DOI: 10.1016/j.still.2017.06.008.

CALEGARI, A.; HARGROVE, W. L.; RHEINHEIMER, D. D. S.; RALISH, R.; TESSIER, D.; TOURDONN, S.; GUIMARÃES, M. F. Impact of long-term no-tillage and cropping system management on soil organic carbon in an Oxisol: a model for sustainability. *Agronomy Journal*, v. 100, p. 1013-1019, 2008. DOI: 10.2134/agnonj2007.0121er.

CALONEGO, J. C.; RAPHAEL, J. P. A.; RIGON, J. P. G.; OLIVEIRA NETO, L.; ROSOLEM, C. A. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. *European Journal of Agronomy*, v. 85, p. 31-37, 2017. DOI: 10.1016/j.eja.2017.02.001.

COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; BOLOTA, E. L. Atividade microbiana em solos cultivados em sistema de plantio direto. *Informe Agropecuário*, v. 22, n. 208, p. 84-91, 2001.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob sistema de plantio direto (SPD). *Bioscience Journal*, v. 24, n. 4, p. 20-31, 2008.

- CURL, E. A.; RODRIGUEZ-KABANA, R. Microbial interactions. In: WILKINSON, R. E. (Ed.). *Research methods in weed science*. Atlanta: Southern Weed Science Society, 1972. p. 162-194.
- DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M. S. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Eds.). *Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável*. Brasília: Embrapa-SCT, 2005. p. 17-28.
- EEKEREN, N. V.; BOMMELE, L.; BLOEM, J.; SCHOUTEN, T.; RUTGERS, M.; DE GOEDE, R.; REHEUL, D.; BRUSSAARD, L. Soil biological quality after 36 years of ley-arable cropping, permanent grassland and permanent arable cropping. *Applied Soil Ecology*, v. 40, n. 3, p. 432-446, 2008. DOI: 10.1016/j.apsoil.2008.06.010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. *Manual de métodos de análises de solos*. Rio de Janeiro, 2011.
- 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, n. 1-2, p. 18-29, 2007. DOI: 10.1016/j.still.2005.12.010.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 4, p. 1521-1530, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000400016.
- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R. A. 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. DOI: 10.1016/j.apsoil.2009.05.005.
- ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biology and Fertility of Soils*, v. 27, n. 4, p. 408-416, 1998. DOI: 10.1007/s003740050451.
- LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. da; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 1, p. 45-55, 2012. DOI: 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 diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011. DOI: 10.5216/pat.v41i1.8459.
- MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 2, p. 257-263, 1999. DOI: 10.1590/S0100-06831999000200009.
- 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. 30, n. 4, p. 479-485, 2008. DOI: 10.4025/actasciagron.v30i4.5301.
- MORAES SÁ, J. C.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; HARTMAN, D. C.; BERTOLONI, C. G.; ROSA, J.; FRIEDRICH, T. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. *Land Degradation & Development*, v. 26, n. 4, p. 531-543, 2013. DOI: 10.1002/ldr.2218.
- MUNKHOLM, L. J.; HECK, R. J.; DEEN, B. Long-term rotation and tillage effects on soil structure and crop yield. *Soil & Tillage Research*, v. 127, p. 85-91, 2013. DOI: 10.1016/j.still.2012.02.007.
- RALISCH, R.; ALMEIDA, E.; SILVA, A. P.; PEREIRA NETO, O. C.; GUIMARÃES, M. F. Morphostructural characterization of soil conventionally tilled with mechanized and animal traction with and without cover crop. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 6, p. 1795-1802, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000600003.
- ROLDÁN, A.; CARAVACA, F.; HERNÁNDEZ, M. T.; GARCIA, C.; SÁNCHEZ-BRITO, C.; VELÁSQUEZ, M.; TISCAREÑO, M. No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). *Soil & Tillage Research*, v. 72, n. 1, p. 65-73, 2003. DOI: 10.1016/S0167-1987(03)00051-5.
- SANTOS, V. B. dos; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. da S.; SILVA, D. G. da. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira Agrociência*, v. 10, n. 3, p. 333-338, 2004. DOI: 10.18539/cast.v10i3.967.
- SILVA, C. F. da; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L.; FERNANDES, J. C. F.; LOSS, A.; MENEZES, C. E. G.; SILVA, E. M. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 6, p. 1680-1689, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000600002.
- SILVA, A. P.; BABUJIA, L. C.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, R. A.; HUNGRIA, M. Microbial biomass under various soil- and crop-management systems in short- and long-term experiments in Brazil. *Field and Crops Research*, v. 119, p. 20-26, 2010. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.06.012.
- SILVA, M. G.; ARF, O.; ALVES, M. C.; BUZETTI, S. Sucessão de culturas e sua influência nas propriedades físicas do solo e na produtividade do feijoeiro de inverno irrigado, em diferentes sistemas de manejo do solo. *Bragantia*, v. 67, n. 2, p. 335-347, 2008. DOI: 10.1590/S0006-87052008000200009.
- SILVA, M. B. da; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M. da; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 12, p. 1755-1761, 2007.
- TERAVEST, D.; CARPENTER-BOGGS, L.; THIERFELDER, C.; REGANOLD, J. P.; Crop production and soil water management in conservation agriculture, no-till, and conventional tillage systems in Malawi. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 212, n. 20, p. 285-296, 2015. DOI: 10.1016/j.agee.2015.07.011.

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. DOI: 10.1016/0038-0717(87)90052-6.

VELOSO, M. G.; ANGERS, D. A.; TIECHERA, T.; GIACOMINI, S.; DIECKOW, J.; BAYER, C. High carbon storage in a previously degraded subtropical soil under no-tillage with legume cover crops.

Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 268, p. 15-23, 2018. DOI: 10.1016/j.agee.2018.08.024.

VENZKE FILHO, S. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C. C. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais – Tibagi, PR. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 2, p. 599-610, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000200015.

Contribuição dos autores: Valdinei Araújo Gonçalves realizou a montagem, condução e avaliação do experimento, além de ajudar com a redação científica; Christiane Augusta Diniz Melo contribuiu com as análises estatísticas, revisão bibliográfica, revisão ortográfica e gramatical e redação científica; Igor Rodrigues de Assis orientou e supervisionou todos os estudantes em todas as etapas, além de contribuir na revisão e redação científica; Lino Roberto Ferreira orientou e supervisionou todos os estudantes em todas as etapas, além de contribuir na revisão e redação científica; Douglas Teixeira Saraiva auxiliou na montagem, condução e avaliação do experimento, além de ajudar com a redação científica.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio e pelas bolsas concedidas.

Fontes de financiamento: Não houve fonte de financiamento.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.