

ESTOQUES DE CARBONO E BIOMASSA MICROBIANA DE UM LATOSSOLO CULTIVADO COM SOJA SOB INOCULAÇÃO FÚNGICA

Diony Alves Reis¹

RESUMO:

A matéria orgânica do solo é fundamental para a estabilidade dos ecossistemas naturais e a sustentabilidade dos agroecossistemas, porém, práticas sucessivas de aração e gradagem, preconizadas no Plantio Convencional (PC) têm evidenciado reduções dos teores de matéria orgânica, dos estoques de carbono e da biomassa microbiana do solo. Este trabalho objetivou avaliar o efeito de diferentes fungos sobre os estoques de carbono no solo (Cs), a biomassa microbiana do solo (BMS), o Carbono orgânico total (COT) e o quociente microbiano (qMic) de um Latossolo cultivado com soja (*Glycine max* (L.) Merrill) sob PC nos últimos cinco anos. Para tanto, um experimento foi conduzido no município de São Desidério – Bahia, Brasil, sendo os tratamentos T1: *Trichoderma asperellum* + *Purpurocillium lilacinus* + *Pochonia chlamydosporia*; T2: isolados de *T. asperellum*, e T3: sem inoculação das sementes soja. Nas parcelas experimentais sob PC, bem como em uma área de Cerrado Nativo (CN), adjacente ao experimento e utilizado como referência, amostras indeformadas e deformadas foram coletadas nas camadas de 0,00 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico de textura arenosa. Em laboratório, estas amostras foram previamente preparadas e utilizadas para a quantificação dos Cs, da BMS, do COT e do qMic. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Os resultados obtidos mostraram que a inoculação fúngica (T1) não foi capaz de aumentar os valores de Cs, da BMS, do COT e do qMic, provavelmente devido às alterações no solo resultante do tempo de utilização do PC, quando comparado com o CN. As médias dos parâmetros nos tratamentos foram drasticamente menores do que no CN, evidenciando a importância de práticas de manejo que, contrastando com o PC, favoreçam a cobertura do solo, o aporte de material orgânico e que promovam melhorias à qualidade do solo. Conclui-se, portanto, que a inoculação da soja com diferentes microrganismos no Latossolo arenoso avaliado sob PC não foi capaz de aumentar os valores do Cs, da BMS, do COT e do qMic.

Palavras-chave: Biomassa Microbiana do Solo, Carbono Orgânico Total, Microbiologia do Solo, Qualidade do solo, Sustentabilidade.

CARBON STOCKS AND MICROBIAL BIOMASS OF AN OXISOL CULTIVATED WITH SOYBEAN UNDER FUNGAL INOCULATION

ABSTRACT:

Soil organic matter is essential for the stability of natural ecosystems and the sustainability of agroecosystems. However, successive practices of plowing and harrowing, advocated in Conventional Tillage (CT) have shown reductions in organic matter, carbon stocks, and soil microbial biomass. This work aimed to evaluate the effect of different fungi on soil carbon stocks (Cs), soil microbial biomass (SMB), total organic carbon (TOC), and microbial quotient (qMic) of an Oxisol cultivated with soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) under CT in the last five years. For this purpose, an experiment was conducted in the municipality of São Desidério, in Bahia, Brazil, with treatments: T1: *Trichoderma asperellum* + *Purpurocillium lilacinus* + *Pochonia chlamydosporia*; T2: *T. asperellum* isolates, and T3: without soybean seed inoculation. In the experimental plots under CT, as

¹Professor Doutor de Manejo e Conservação do Solo e da Água no curso de Tecnologia em Gestão do Agronegócio da Universidade Estadual do Tocantins (Unitins), Campus de Paraíso. Paraíso do Tocantins – TO; dionyodin@gmail.com.br; <https://orcid.org/0000-0003-4270-2978>

well as in an area of Native Cerrado (NC), adjacent to the experiment and used as a reference, undisturbed and deformed samples were collected in layers from 0.00 to 0.10 and 0.10 to 0.20 m of a Oxisol of sandy texture. In the laboratory, these samples were previously prepared and used for the quantification of Cs, SMB, TOC and qMic. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and means compared by Duncan's test at a 5% probability level ($p < 0.05$). The results obtained showed that the fungal inoculation (T1) was not able to promote the values of Cs, SMB, TOC and qMic, probably due to alterations in the soil resulting from the time of use of the CT, when compared with the NC. The averages of the parameters in the treatments were drastically lower than in the NC, evidencing the importance of management practices that, in contrast to the CT, favor soil cover, the contribution of organic material, and promote improvements in soil quality. It is concluded, therefore, that the inoculation of soybeans with different microorganisms in the sandy Oxisol evaluated under CT was not able to increase the values of Cs, SMB, TOC and qMic.

Keywords: Soil Microbial Biomass, Total Organic Carbon, Soil Microbiology, Soil Quality, Sustainability.

INTRODUÇÃO

A qualidade ambiental, a estabilidade dos ecossistemas terrestres e a sustentabilidade dos agroecossistemas interagem harmonicamente com as diversas frações da matéria orgânica do solo (MOS) e suas transformações promovidas pela biomassa microbiana do solo (BMS), com os teores de carbono orgânico total (COT) e o quociente microbiano (qMic). Porém, sistemas de manejo do solo baseados em práticas sucessivas de aração e gradagem, como as preconizadas no plantio convencional (PC), têm afetado negativamente a dinâmica do Carbono no planeta e comprometendo a qualidade do solo, a estabilidade ambiental, aumentando as concentrações de CO₂ atmosférico e potencializando os efeitos das mudanças climáticas globais (Doran e Parkin, 1994; Doran et al., 1998; Silva et al., 2011; Wutke et al. 2014; Brito et al., 2017; Almeida et., 2017).

O PC fundamenta-se no revolvimento frequente do solo por meio de práticas de aração e gradagem incorporando os resíduos vegetais à matriz do solo, eliminando a sua cobertura, aumentando a sua exposição às intempéries climáticas como o impacto das gotas de chuva, ação do vento e das altas temperaturas, conseqüentemente reduzindo os teores de matéria orgânica e Carbono (C) no solo, que são fundamentais para a sua agregação e a sua qualidade. Nestas condições, a taxa de decomposição do material orgânico supera a adição dos resíduos culturais, diminuindo os teores de matéria orgânica e estoques de carbono, na medida em que os microrganismos têm sua atividade e respiração elevadas, resultando em maior liberação de CO₂ para a atmosfera e consumo de MOS (Tisdall e Oades, 1982; Albuquerque et al., 2008; Seguy et al., 2012; Dadalto et al., 2015; Reis et al., 2019).

O C representa 58% da MOS, de forma que a determinação dos seus teores permite inferir sobre a qualidade do solo, a sua capacidade de influenciar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. No contexto ambiental, os maiores conteúdos de C no solo aumentam a qualidade ambiental e mitigam os

efeitos das mudanças climáticas globais (Lisboa et al., 2012; Dadalto et al., 2015)

Os estoques de carbono do solo (Cs) representam o somatório do C adicionado ao solo. Sisti et al. (2004), sugerem relacionar o conteúdo de COT de uma determinada profundidade avaliada (m) com a densidade média de um solo de uma área de referência, não antropizada, a fim de se obter dados consistentes para uma determinada classe de solo, sob determinado sistema de manejo (Six et al., 2006).

A BMS é a porção viva da matéria orgânica do solo (MOS), constituída por bactérias, fungos, actinomicetos e protozoários, excluindo raízes e animais maiores do que $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ capazes de degradar o material orgânico e promover a ciclagem de nutrientes (Silva, et al., 2010; Nair e Ngouajio, 2012; Almeida et al., 2017; Kamble et al., 2018).

O qMic representa a qualidade da matéria orgânica para utilização pelos microrganismos. É expresso pela relação entre a BMS e o COT, de forma que maiores valores sugerem um ambiente favorável ao desenvolvimento dos microrganismos em termos de fonte de energia e alimento. À medida que a qualidade da matéria orgânica é promovida, considerando a diversidade e quantidade, incrementos na BMS e qMic são verificados, mesmo que os teores de COT sejam mantidos estáveis (Insam e Domsch, 1988; Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues, 2008; Kaschuk et al., 2010).

Diferentes fungos, predominantemente saprófitos, ou seja, decompositores de material orgânico, têm sido utilizados no controle biológico de nematoides e no aumento da resistência das plantas ao ataque de patógenos.

Notadamente os fungos do gênero *Trichoderma ssp.*; *Purpureocillium ssp.* e *Pochonia ssp.* têm sido estudados devido ao seu crescimento e desenvolvimento em diversos substratos; às suas propriedades enzimáticas capazes de degradar celulose, promover a ciclagem de nutrientes e por favorecer a nutrição das plantas, caracterizando-se como importantes biotecnologias frente aos inseticidas e nematicidas tradicionais comercializados (Stirling, 1991; Luangsa-ard et al.,

2011; Medeiros et al., 2017). Entretanto, a sua influência sobre os Cs, a BMS, o COT e sobre o qMIC do solo têm sido amplamente negligenciados (García-López et al., 2017; Fiorentino et al., 2018).

Portanto, este trabalho objetivou avaliar o efeito da inoculação fúngica da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) sobre os Cs, a BMS, o COT e sobre o qMIC de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura arenosa e sob plantio convencional nos últimos cinco anos, localizado na região oeste da Bahia, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no distrito de Roda Velha, município de São Desidério, situado há 492 m de altura do nível do mar, no estado da Bahia, Brasil. As características fitofisionômicas são representativas do bioma Cerrado. O clima é do tipo Aw, conforme a classificação climática de Köppen-Geiger. As temperaturas médias anuais, mínima e máxima, são de 19,9 e 29,8°C, respectivamente, com precipitação pluvial de 1.030 mm ano⁻¹, havendo maiores concentrações entre os meses de outubro e abril. A umidade relativa do ar média anual é de 70%, variando de 50 a 80% nos meses de agosto e dezembro, respectivamente (Batistella et al., 2002; Alvares et al., 2013).

O delineamento experimental foi o de casualização por blocos com quatro repetições, sendo os tratamentos, a inoculação de Soja com *Trichoderma asperellum* + *Purpurocillium lilacinus* + *Pochonia chlamydosporia* (T1); com *T. asperellum* (T2) e a testemunha (T3), sem inoculação.

Amostras de solo com estrutura preservada (indeformadas) e não preservada (deformadas) foram coletadas nas camadas nas camadas 0,00 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, de relevo plano e textura franca-arenosa (804 g kg⁻¹ de areia, 74 g kg⁻¹ de silte, e 125 g kg⁻¹ de argila), que esteve sob PC e monocultivo de soja inoculada com os fungos durante os últimos cinco anos, antecedida por pastagem implantada de Braquiara (*Urochloa brizantha* (Hochst. ex A.Rich.)

R.Webster por pelo menos trinta anos. Ademais, uma área de Cerrado nativo (CN) de fitofisionomia de Campo sujo, adjacente ao experimento, foi utilizada como referência.

Os estoques de Carbono do solo (Cs) foram calculados pela massa equivalente utilizando a densidade média do solo em cada camada e tratamento, tendo o solo sob Cerrado nativo (CN) como referência, utilizando-se a Equação 1 (Sisti et al., 2004).

$$C_s = \sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti} + \left[M_{tn} - \left(\sum_{i=1}^n M_{Ti} - \sum_{i=1}^n MS_i \right) \right] C_{tn} \quad \text{Eq.1}$$

Onde Cs, corresponde ao estoque de C corrigido em função da massa do solo do CN (Mg C ha⁻¹); $\sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti}$ é a soma do COT (Mg ha⁻¹) da camada superficial à penúltima camada (n - 1) do tratamento avaliado; M_{tn} , massa do solo da última camada amostrada no tratamento (Mg ha⁻¹); $\sum_{i=1}^n M_{Ti}$ é a soma da massa de solo (Mg ha⁻¹) na camada superficial (1) até a camada mais profunda (n) no tratamento avaliado; $\sum_{i=1}^n MS_i$ somatório da massa total do solo amostrado na área de referência (Mg ha⁻¹) e C_{tn} , teor de C do solo na última camada amostrada (Mg C Mg⁻¹ de solo).

Antes da correção pela massa de solo (Cs), os estoques de carbono de cada camada foram calculados pela Equação 2, conforme descrito por Veldkamp (1994):

$$\text{Est}_C = \frac{(\text{COT} \times D_s \times e)}{10} \quad \text{Eq. 2}$$

Em que Est_C é o estoque de carbono (Mg ha⁻¹); COT, é o teor de carbono orgânico total (g kg⁻¹); D_s , é a densidade do solo (g cm⁻³) e representa a espessura da camada considerada (cm).

A biomassa microbiana do solo (BMS), foi quantificada pelo método de fumigação e extração, utilizando uma amostra de 10 g de solo. Para a fumigação, 1,0 mL de CHCl₃ foi aplicado diretamente sobre a amostra, que ficou incubada por 24 horas em

placas de Petri vedadas e em ambiente sem iluminação. Para extração utilizou-se 25 mL de K_2SO_4 a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e 1,0 mL de $K_2Cr_2O_7$ sendo titulada com $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ a $0,33 \text{ mol L}^{-1}$ tendo como indicador $(C_6H_5)_2NH$ (Vance et al., 1987; De-Polli & Guerra, 2008).

O cálculo da BMS ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo) foi realizado por meio das Equações:

$$BMS = FC * kc^{-1} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

$$FC = CSF - CSNF \quad \text{Eq. 4}$$

Sendo CSF o teor de C extraído do solo fumigado, CSNF o teor de C extraído do solo não fumigado e kc , o fator de correção, utilizando o valor de 0,33 (Silva et al., 2007).

$$CSF \text{ ou } CSFN = \frac{(V_b - V_a) \cdot M \cdot 0,003 \cdot V_1 \cdot 10^6}{P_s \cdot V_2} \quad \text{Eq.5}$$

Em que V_b , representa o volume (mL) de $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ gasto na titulação da solução do ensaio em branco; V_a , o volume (mL) de $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ gasto na titulação da solução do ensaio com a amostra; M a Molaridade exata do sulfato ferroso amoniacal (0,033); 0,003 é o miliequivalente do carbono; V_1 o volume do extrator (K_2SO_4) utilizado; V_2 a alíquota pipetada do extrato para a titulação; P_s (g) - massa de solo seco.

Considerando a textura arenosa do solo, o Carbono orgânico total (COT) foi determinado por meio da oxidação da matéria orgânica via $K_2Cr_2O_7$ a $0,0667 \text{ mol L}^{-1}$ em meio sulfúrico e titulado com solução padrão de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (Teixeira et al., 2017).

Posteriormente, o quociente microbiano ($qMic$) foi calculado pela relação entre a BMS e o COT, expresso em porcentagem, conforme a Equação 6 (Insam e Domsch, 1988).

$$qMic = \left(\frac{BMS}{COT} \right) \times 100 \quad \text{Eq. 6}$$

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk (W) ($n \leq 200$) (Razalli e Wah, 2011). Os tratamentos foram submetidos à análise de variância (Anova) e as médias comparadas pelo teste de Duncan ao nível de significância de 5%, utilizando-se o software SAS (Statistical Analyses System Institute, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Valores de Cs foram menores em T1 quando comparado com T2 e T3, que não diferiram estatisticamente entre si (Figura 1).

Valores reduzidos de Cs em T1 sugerem restrições ao crescimento e desenvolvimento dos organismos do solo e um ambiente de perda de C, provavelmente na forma de CO_2 , seja por oxidação através da atividade microbiana (respiração) ou por exposição às intempéries climáticas. Como T1 é um consórcio de microrganismos (*Trichoderma asperellum* + *Purpurocillium lilacinus* + *Pochonia chlamydosporia*) decompositores e saprofíticos, evidencia-se maior demanda por alimentos, porém à medida em que a sua oferta diminui, relações antagônicas podem ser estabelecidas por meio de antibiose, competição, parasitismo, predação e indução de defesas do hospedeiro (Allwood, Ellis & Goodacre, 2008; Vimala & Suriachandraselvan, 2009; Thakur & Sohal, 2013; Isaias et al., 2014).

A diversidade de organismos em T1, associada aos organismos nativos do solo, podem ter experimentado processos competição e predação até a estabilidade ecológica, que associada ao baixo valor de Cs, evidencia um ambiente restritivo e um solo de baixa qualidade e degradado pelo tempo de utilização do sistema de manejo, contrastando com T2, constituído apenas por *T. asperellum* e T3, sem inoculação, que apesar de apresentarem valores de Cs significativamente maiores que T1, representam praticamente metade do Cs observados no CN (Figura 1), em condição natural e ausência de antropização.

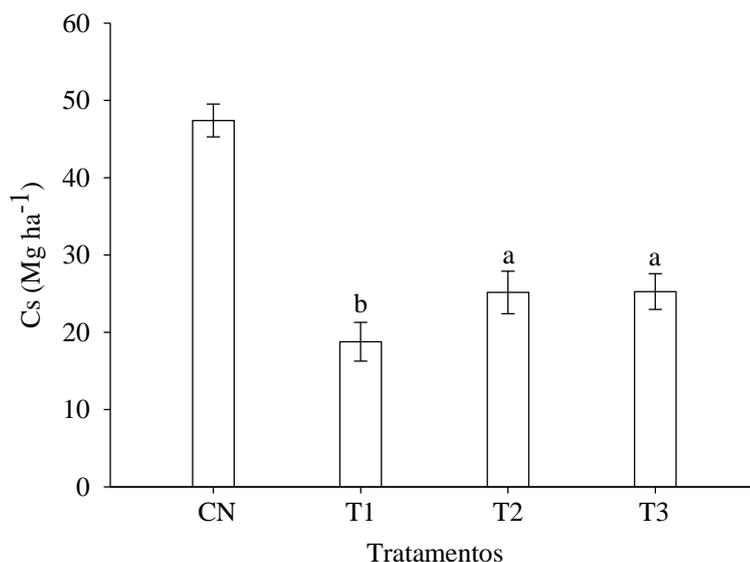


Figura 1 - Estoques de carbono da camada de 0,00 a 0,20 m corrigidos pela massa equivalente da área de referência (Cerrado nativo) de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico cultivado com soja inoculada sob plantio convencional. T1: *Trichoderma asperellum* + *Purpureocillium lilacinus* + *Pochonia chlamydosporia*; T2: *T. asperellum*; T3 – Testemunha; CN – Cerrado nativo.

Tem sido reportada a tendência de a BMS ser elevada na camada superficial do solo devido à presença de matéria orgânica, água e nutrientes, porém, deve-se levar em conta a classe de solo; o tipo e a quantidade de cobertura no solo; a época e principalmente o sistema de manejo adotado, haja vista a sensibilidade dos organismos à temperatura, oferta de água e alimentos (Roscoe et al., 2006; Silva e Mendonça, 2007). Nesse sentido, tanto os valores de Cs (Figura 1), quanto os de BMS (Tabela 1) corroboram a assertiva de que em T1, um ambiente de competição por alimento ou espaço pode ser a razão para os valores reduzidos dessas variáveis.

A diversidade genética das espécies vegetais relaciona-se à oferta e deposição dos substratos orgânicos acumulados na rizosfera e que servirão de fonte de alimento para BMS. Portanto, condições distintas do solo, sobretudo o manejo, podem aumentar ou reduzir a BMS, por afetar diretamente o aporte de material orgânico que será utilizado pelos microrganismos como fonte de alimento (Ferreira et al., 2011; Cunha et al., 2012; Pragana et al., 2012; Duarte et al., 2014; Menezes et al. 2012).

No que se refere ao T2 e T3 (Tabela 1), Harman et al., (2004) e Hermosa et al., (2012) afirmam que o *Trichoderma ssp* é um fungo de reprodução assexuada e de vida livre, com crescimento rápido por meio de conídios ou conidióforos e que facilmente estabelece associações radiculares. O fungo, *Purpureocillium ssp*, é um ascomiceto, saprófito, amplamente distribuído e frequentemente encontrado no solo, em vegetação em decomposição, em insetos e nematoides. O fungo, *Pochonia ssp* é capaz de sobreviver na ausência do hospedeiro, se reproduz por clamidósporos, é bastante resistente e capaz de utilizar a matéria orgânica do solo como fonte de nutrientes (Stirling, 1991; Nunes et al., 2010; Dallemole-Giaretta et al., 2010). Considerando as características descritas, associadas às sucessivas práticas de aração e gradagem do PC ao longo dos anos, bem como as relações de competição ou antagonismo, os valores reduzidos observados nos Cs (Figura 1) e na BMS em T1 (Tabela 1) são justificados.

Tabela 1 – Média e desvio-padrão da Biomassa Microbiana de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico cultivado com soja inoculada sob plantio convencional.

Tratamento	BMS ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo)	
	0,00 a 0,10 m	
CN	389,13 \pm 2,56	
T1	131,20 \pm 2,07 b	
T2	272,57 \pm 3.37 a	
T3	276,01 \pm 2.08 a	
0,10 a 0,20 m		
CN	393,91 \pm 23,12	
T1	131,97 \pm 3.25 b	
T2	188,82 \pm 5.26 a	
T3	191,85 \pm 2.26 a	

Média e desvio-padrão seguidos pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ao nível de 5%. T1: *Trichoderma asperellum* + *Purpurocillium lilacinus* + *Pochonia chlamydosporia*; T2: *T. asperellum*; T3 – Testemunha; CN – Cerrado nativo.

Maiores valores de COT foram observados na camada superficial, entretanto, nas duas camadas avaliadas, os valores observados em T1 foram menores que em T2 e T3, os quais foram semelhantes (Tabela 2).

O estudo do COT é complexo e sua variação no ambiente, a sua quantidade e qualidade são influenciados pelo aporte de material orgânico adicionado ao solo, que por sua vez é influenciado pelo relevo, clima, vegetação, uso da terra, textura, mineralogia, estrutura e agregação do solo. A interação organomineral, por meio da adsorção da MOS às superfícies minerais protege os compostos de C do ataque microbiano, como consequência, a microagregação ocorre, protegendo frações da MOS em poros inacessíveis aos microrganismos, refletindo no balanço entre quantidades de C aportado e estabilizado no solo (Ladd et al., 1993; Resck et al., 2008; Rumpel e Kögel-Knabner, 2011; Totsche et al., 2018).

A BMS é a fração viva da MOS, sendo contabilizada nos valores de COT, entretanto, destaca-se a sua dependência ao C como fonte de

alimento para o seu crescimento e desenvolvimento, porém, somente o C livre pode ser utilizado pela BMS para o atendimento das suas necessidades, ou seja, somente aquele C que não está protegido dentro dos microagregados ou aquele em íntima interação com a fração mineral pode ser acessado e utilizado pela BMS, assim sendo, maiores valores de Cs (Figura 1), de BMS (Tabela 1) e de COT (Tabela 2) em T2 e T3, nas duas camadas avaliadas, corroboram que, apesar de o PC favorecer as perdas de C, a adição de consórcios de microrganismos (T1) reduz mais ainda o conteúdo de COT no solo.

Em relação ao qMic, valores de T1 foram menores do que os observados em T2 e T3, que não diferiram entre si, nas duas camadas avaliadas, porém maiores valores de qMic foram observados na camada superficial (Tabela 3), evidenciando a eficiência dos microrganismos na imobilização do C, haja vista que menores valores de qMic resultam de circunstâncias em que a microbiota se encontra sob algum fator de estresse, fazendo com que a BMS se torne incapaz de utilizar o C orgânico (Sampaio et al., 2008; Roscoe et al. 2006; Silva e Mendonça, 2007).

Tabela 2. Média e desvio-padrão do Carbono Orgânico Total de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico cultivado com Soja inoculada sob plantio convencional

Tratamento	COT (g kg ⁻¹)
	0,00 a 0,10 m
CN	31,15 ± 2,51
T1	15,31 ± 2,40 b
T2	21,77 ± 2,28 a
T3	21,81 ± 2,20 a
	0,10 a 0,20 m
CN	30,98 ± 3,05
T1	13,60 ± 3,30 b
T2	17,71 ± 2,21 a
T3	17,79 ± 2,22 a

Média e desvio-padrão seguidos pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ao nível de 5%. T1: *Trichoderma asperellum* + *Purpurocillium lilacinus* + *Pochonia chlamydosporia*; T2: *T. asperellum*; T3 – Testemunha; CN – Cerrado nativ

Tabela 3. Média e desvio-padrão do quociente microbiano de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico cultivado com Soja inoculada sob plantio convencional

Tratamento	qMic (%)
	0,00 a 0,10 m
CN	1,25 ± 0,05
T1	0,86 ± 0,07 b
T2	1,25 ± 0,05 a
T3	1,27 ± 0,08 a
	0,10 a 0,20 m
CN	1,27 ± 0,07
T1	0,97 ± 0,03 b
T2	1,07 ± 0,05 a
T3	1,08 ± 0,06 a

Média e desvio-padrão seguidos pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ao nível de 5%. T1: *Trichoderma asperellum* + *Purpurocillium lilacinus* + *Pochonia chlamydosporia*; T2: *T. asperellum*; T3 – Testemunha; CN – Cerrado nativo.

Os menores valores de qMic evidenciam condição de estresse para a microbiota do solo, possivelmente determinadas pelo manejo adotado nos últimos cinco anos, baixa disponibilidade de substrato orgânico, degradação do solo e antagonismo entre os organismos. Cunha et al. (2011) avaliaram a influência de plantas de cobertura (*Crotalaria juncea*; *Cajanus cajan*; *Mucuna aterrima*; *Sorghum technicum* e pousio) sobre os atributos biológicos de um Latossolo e verificaram que os valores de qMic variam em função da cobertura do solo, de modo que valores elevados de qMic indicam acúmulo de C no solo (sequestro de carbono), enquanto valores reduzidos indicariam

perdas de C no solo (Dadalto et al., 2015), contribuindo para aumentar as emissões de gases de efeito estufa e reduzir a qualidade do solo.

Os fungos avaliados neste estudo são saprófitos, se reproduzem e se desenvolvem facilmente, considerando a oferta e disponibilidade de C, entretanto, relações de competição e antagonismo, associadas às práticas de aração e gradagem sucessivas preconizadas no PC podem afetar a predominância de uma espécie sobre as outras, afetando os valores de COT (Tabela 2). No que se refere ao T3, onde não houve a inoculação de microrganismos, os maiores valores de COT relacionam-se à estabilidade da comunidade

microbiana local, que podem utilizar o C de forma eficiente, conforme as condições predominantes e ao colonizarem as raízes, podem alterar o metabolismo vegetal, o conteúdo de hormônios, açúcares solúveis, compostos fenólicos e aminoácidos, taxa fotossintética, transpiração e teor de água, promover a síntese de auxinas, que beneficiam o crescimento da parte aérea e radicular, sobretudo, pela solubilização de P e Fe, ou seja, a capacidade de decompor a MOS, aumenta a disponibilidade de nutrientes para as plantas e relaciona-se às características necessárias ao desenvolvimento dos próprios fungos (Hoyos-Carvajal et al., 2009; Brotman et al., 2012; García-López et al., 2017).

Os resultados obtidos nos tratamentos foram menores do que os observados na área de referência (CN), evidenciando os efeitos deletérios das sucessivas operações de preparo do solo sobre a matéria orgânica e também atestando a sensibilidade destes parâmetros às práticas de manejo do solo. As arações e gradagens e a falta de cobertura vegetal ao longo dos anos favoreceram a decomposição acelerada da MOS, reduzindo os estoques de carbono, consequentemente comprometendo a microbiota pelo estabelecimento de um ambiente restritivo ao seu crescimento e desenvolvimento, atestando a degradação do solo promovida pelo PC.

CONCLUSÃO

A inoculação fúngica da soja não aumenta os Cs, a BMS, o COT e o qMic, nem a qualidade do Latossolo sob plantio convencional.

Os microrganismos são sensíveis às alterações no solo resultantes do sistema de manejo, por isso, podem ser utilizados como indicadores de qualidade do solo.

A sustentabilidade dos agroecossistemas, portanto, está relacionada à adoção de sistemas de manejo que garantam a cobertura do solo, o aporte de material orgânico, os estoques de carbono no solo e a biomassa microbiana do solo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albuquerque, A.C.S.; Silva, A.G., eds. (2008). **Agricultura tropical: Quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, v.1, p.1251-1273.

Allwood, J.W., Ellis, D.I.; Goodacre, R. (2008). Metabolomic technologies and their application to the study of plants and plant–host interactions. **Physiologia plantarum**, 132(2), 117-135. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01001.x>

Almeida, A.T.; Simões, K.S.; Almeida, J.R.C.; Peixoto, C.P. & Peixoto, M.F.S.P. (2017). Qualidade biológica do solo em sistema de policultivo no semiárido da Bahia. **Ciência Agrícola**, 15(2): 75-81.

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart**. 22(6): 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

Brito, M.F.; Tsujigushi, B.P.; Rocha, D.P.; Silva, R.F. (2017). Reciclagem de nutrientes de adubos verdes e produtividade de milho cultivado em sucessão em agroecossistema de transição agroecológica. **Acta Iguazu**. 6(3): 11-21. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v6i3.17669>

Brotman, Y.; Landau, U.; Cuadros-Inostroza, Á.; Takayuki, T. (2013) *Trichoderma* - plant root colonization: escaping early plant defense responses and activation of the antioxidant machinery for saline stress tolerance. **PLoS Pathog** 9:e1003221. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003221>

Cunha, E.Q.; Stone, L.F.; Ferreira, E. P. B.; Didonet, A. D.; Moreira, J.A.A (2012). Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 16: (1), 56-63. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000100008>

- Cunha, E.Q.; Stone, L.F.; Ferreira, E.P.B.; Didonet, A.D.; Moreira, J.A.A.; Leandro, W.M. (2011). Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II – Atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35(2): 603-611. <http://dx.doi.org/10.1590/S010006832011000200029>
- Dadalto, J.P.; Fernandes, H.C.; Teixeira, M.M.; Cecon, P.R.; de Matos, A.T. (2015). Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, 35(3): 506-513. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p506-513/2015>
- Dallemole-Giaretta, R.; Freitas, L.G.; Zooca, R.J.F.; Podestá, G.S.; Caixeta, L.B.; Ferraz, S.; Lopes, E.A. (2010). Associação de *Pochonia chlamydosporia*, *Bacillus cereus* e fibra de coco no controle de *Meloidogyne javanica* em tomateiro. **Nematologia Brasileira**, 34(1): 18-22.
- Medeiros, H.A.; de Araújo Filho, J. V.; de Freitas, L.G.; Castillo, P.; Rubio, M.B.; Hermosa, R. (2017). Tomato progeny inherit resistance to the nematode *Meloidogyne javanica* linked to plant growth induced by the biocontrol fungus *Trichoderma atroviride*. **Scientific Reports**, 7:40216. doi:10.1038/srep40216.
- De-Polli, H.; Guerra, J.G.M. (2008). Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana do solo. 2. ed. rev. atual. ampl. In: Santos, G. de A.; Silva, L.S. da; Canellas, L.P.; Camargo, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole.
- Doran, J.W.; Liebig, M.A.; Santana, D.P. (1998). **Soil health and global sustainability**. In: Proceedings of the 16th World Congress of Soil Science. Montpellier, France, 20–26 August.
- Doran, J.W.; Parkin, T.B. (1994). **Defining and Assessing Soil Quality**. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdicek, D.F.; Stewart, B.A., Eds., *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America Journal, Madison, 3-21.
- Duarte, I.B.; Gallo, A.S.; Gomes, M.S.; Guimarães, N.F.; Rocha, D.P.; Silva, R.F. (2014). Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. **Acta Iguazu**, (2):150-165. <https://doi.org/10.48075/actaiguazu.v3i2.10625>
- Ferreira, E.P.B.; Wendland, A.; Didonet, A.D. (2011). Microbial biomass and enzyme activity of a Cerrado Oxisol under agroecological production system. **Bragantia**, 70: (4) 1-9. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052011000400024>
- Fiorentino, N.; Ventrino, V.; Woo, S.L.; Pepe, O.; De Rosa, A.; Gioia, L.; Romano, I.; Lombardi, N.; Napolitano, M.; Colla, G.; Rouphael, Y. (2018). Trichoderma-Based Biostimulants Modulate Rhizosphere Microbial Populations and Improve N Uptake Efficiency, Yield, and Nutritional Quality of Leafy Vegetables. **Frontiers in Plant Science**, v.9, n. 743. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00743>.
- Gama-Rodrigues, E.F. da; Gama-Rodrigues, A.C. da. (2008). **Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes**. In: Santos, G. de A.; Silva, L.S. da; Canellas, L.P.; Camargo, F.A. de O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2.ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole. p.159-170.
- García-López, A.M.; Recena, R.; Avilés, M.; Delgado, A. (2017). Effect of *Bacillus subtilis* QST713 and *Trichoderma asperellum* T34 on P uptake by wheat and how it is modulated by soil Properties. **Journal of Soils and Sediments** 18(3). <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1829-7>
- Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I.; Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species -

- Opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Reviews Microbiology**. 2, 43–56. doi: 10.1038/nrmicro797.
- Hermosa, R.; Viterbo, A.; Chet, I.; Monte, E. (2012). Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. **Microbiology**. 158, 17–25. doi: 10.1099/mic.0.052274-0
- Hoyos-Carvajal, L.; Orduz, S.; Bisset, J. (2009). Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. **Biological Control**, 51(3): 409-416. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.07.018>
- Insam, H.; Domsch, K. H. (1988). Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**. 15(2): 177–188. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02011711>
- Isaias, C.O.; Martins, I.; Silva, J.B.T.D.; Silva, J.P.D.; Mello, S.C.M.D. (2014). Ação antagônica e de metabólitos bioativos de *Trichoderma*spp. contra os patógenos *Sclerotium rolfsii*, *Verticillium dahliae*. **Summa Phytopathologica**. 40(1):34-41. <https://doi.org/10.1590/S0100-54052014000100005>
- Kamble, P.N.; Baath, E. (2018). Carbon and nitrogen amendments lead to differential growth of bacterial and fungal communities in a high-pH soil. **Pedosphere**, 8(2): 255-260. [http://doi.org/10.1016/S1002-0160\(18\)60014-1](http://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60014-1)
- Kaschuk, G.; Alberton, O.; Hungria, M. (2010). Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, 42(1): 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.08.020>
- Ladd, J.N.; Foster, R.C.; Skjemstad, J.O. Soil structure: carbon and nitrogen metabolism. **Geoderma**, v.56, p.401-434, 1993. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-81490-6.50034-0>
- Lisboa, B.B.; Vargas, L.K.; Silveira, A.O.; Martins, A.F.; Selbach, P.A. (2012). Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 36: 45-55. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100004>
- Luangsa-ard, J.; Houbraken, J.; van Doorn, T.; Hong, S.B.; Borman, A.M.; Hywel-Jones, N.L.; Samson, R.A. (2011). *Purpureocillium*, a new genus for the medically important *Paecilomyces lilacinus*. **FEMS Microbiol. Lett.** 321, 141–149. DOI: 10.1111/j.1574-6968.2011.02322.x
- Menezes, R.S.C.I.; Sampaio, E.V.S.B.; Giogo, V.; Pérez-Marin, A.M.; Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. Brazil. **Brazilian Journal of Biology**. 72, 643-653, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000400004>
- Nair, A.; Ngouajio, M. (2012). Soil microbial biomass, functional microbial diversity, and nematode community structure as affected by cover crops and compost in an organic vegetable production system. **Applied Soil Ecology**. 58: 45-55. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.03.008>
- Nunes, H.T.; Monteiro, A.C.; Pomela, A.W.V. (2010). Uso de agentes microbianos e químicos para o controle de *Meloidogyne incognita* em soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 403-409. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i3.2166>
- Pragana, R.B.; Nóbrega, R.S.A.; Ribeiro, M.R.; Lustosa Filho, J.F. (2012). Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos Amarelos na região do Cerrado piauiense sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(3):851-858. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000300015>
- Razalli, N.M.; Wah, Y.B. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors

and Anderson-Darling tests. **Journal of Statistical Modeling and Analytics**, 2:21-33.

Reis, D.A.; Lima, C.L.R.; Bamberg, A.L. (2019) Developing a Soil Physical Quality Index (SPQi) for lowlands under different deployment times of no-tillage. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.76, n.2, p.157-164. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0196>

Resck, D.V.S.; Ferreira, E.A.B.; Figueiredo, C.C.; Zinn, Y.L. (2008). **Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado**. 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.359-417.

Roscoe, R.; Mercante, F.M.; Salton, J.C. (Ed.). **Biomassa microbiana do solo**. (2006). In *Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, p.:163-198.

Rumpel, C.; Kögel-Knabner, I. (2011). Deep soil organic matter - A key but poorly understood component of terrestrial C cycle. **Plant Soil**, 338:143-158. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0391-5>

Sampaio, D.B.; Araújo, A.S.F.; Santos, V.B. (2008). Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. **Ciência e Agrotecnologia**, 32(2): 353-359. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000200001>

Seguy, L.; Bouzinac, S. (2012) Alternativas de plantio direto de alta performance. In: BELOT, J. L. **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. Cuiabá: IMAmt, 2012. p.38-43. Disponível em: <https://imamt.org.br/wp-content/uploads/2020/06/manualdeboaspraticas2020-4ed-vf-web.pdf>. Acesso em maio de 2023.

Silva, E. E.; Azevedo, P. H. S.; De-Polli, H. (2007) **Determinação do carbono da biomassa**

microbiana do solo (BMS-C). Seropédica: Embrapa Agrobiologia. 6 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 98).

Silva, E.F.; Lourente, E.R.P.; Marchetti, M.E.; Mercante, F.M.; Ferreira, A.K.T.; Fujji, G.C. (2011) – Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46(10): 1321-1331. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000028>

Silva, I.R.; Mendonça, E.S. (2007) – **Matéria orgânica do Solo**. In: Novais, G.N.; Alvarez, V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, B.; Neves, J.C.L. (Eds) – *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 275-374.

Silva, R.R.D.; Silva, M.L.N.; Cardoso, E.L.; Moreira, F.M.D.S.; Curi, N.; Alovise, A.M.T. (2010). Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 34(5): 1585-1592. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000500011>

Sisti, C.P.J.; Santos, H.P. dos; Kohhann, R.; Alves, B.J.R.; Urquiaga, S.; Boddey, R.M. (2004). Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, 76:39–58. <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.08.007>

Six, J.; Frey, S.D.; Thies, R.K.; Batten, K.M. (2006) – Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, 70(2): 555-569. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2004.0347>

Statistical Analysis System Institute, Sas/Stat, **Procedure guide for personal computers**; version 9, Cary: SAS Institute, 1999.

Stirling, G.R.; West, L. M.; (1991). Fungal parasites of root-knot nematode eggs from tropical and sub-

- tropical regions of Australia. **Australasian Plant Pathology**, 20 (4): 149–54. <https://doi.org/10.1071/APP9910149>
- Teixeira, P.C.; Donagemma, G.K.; Fontana, A.; Teixeira, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**, editores técnicos. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- Thakur, M.; Sohal, B.S. (2013). Role of elicitors in inducing resistance in plants against pathogen infection: a review. **International Scholarly Research Notices**. <https://doi.org/10.1155/2013/762412>
- Tisdall, J.M.; Oades, J.M. Organic matter and water stable aggregates in soil. **European Journal of Soil Science**, 33:141-163, 1982. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>
- Totsche, K.U.; Amelung, W.; Gerzabek, M.H.; Guggenberger, G.; Klumpp, E.; Knief, C.; Lehndorff, E.; Mikutta, R.; Peth, S.; Prechtel, A.; Ray, N.; Kögel-Knabner, I. (2018). Microaggregates in soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, 181,104–136. DOI:10.1002/jpln.201600451
- Vance, E.D.; Brookes, P.C.; Jenkinson, D.S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, 19: 703-707. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6)
- Veldkamp, E. (1994). Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, 58: 175-180. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800010025x>
- Vimala, R.; Suriachandraselvan, M. (2009). Induced resistance in bhendi against powdery mildew by foliar application of salicylic acid. **Journal of Biopesticides**. 2(1):111-114. <http://www.jbiopest.com/users/LW8/efiles/111-114.pdf>
- Wutke, E.B.; Calegari, A.; Wildner, L.P. (2014) – **Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso**. In: Lima Filho, O.F.L.; Ambrosano, E.J.; Rossi, F. & Carlos, J.A.D.C. (Eds) – Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p. 59-168.