

## Estoque de carbono orgânico no solo afetado por adubação orgânica e sistemas de culturas no Sul do Brasil.

**Edward Victor Aleixo<sup>(1)</sup>; Paulo Roberto Arbex Silva<sup>(2)</sup>; Saulo Philipe Sebastião Guerra<sup>(3)</sup>; Tiago Zoz<sup>(4)</sup>; Fábio Steiner<sup>(5)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Eng. Agr. Estudante de Pós-Graduação em Agronomia/Programa Energia na Agricultura, FCA/UNESP- Faculdade de Ciências Agrônômicas – Câmpus de Botucatu, SP, victor.aleixo@fca.unesp.br; <sup>(2)</sup> Prof. Dr. Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA/UNESP, Câmpus de Botucatu, SP; <sup>(3)</sup> Prof. Dr. Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA/UNESP, Câmpus de Botucatu, SP; <sup>(4)</sup> Prof. Dr. Curso de Agronomia, Faculdades Integradas de Ourinhos – FIO, Ourinhos, SP; <sup>(5)</sup> Prof. Dr. Curso de Agronomia, Faculdades Integradas de Ourinhos - FIO, Ourinhos, SP.

**RESUMO:** O carbono orgânico é um dos principais componentes da matéria orgânica do solo e o seu estoque é influenciado pelo sistema de manejo adotado. Este estudo teve como objetivo verificar os efeitos de sistemas de culturas e fontes de nutrientes (mineral e orgânico) nos teores e no estoque de carbono orgânico do solo em sistema de plantio direto. Os tratamentos foram constituídos por quatro sistemas de rotação de culturas: (1) soja/trigo/milho/trigo, (2) soja/aveia/milho/aveia, (3) soja/nabo/milho/nabo e (4) soja/ervilha/milho/ervilhaca e por duas fontes de nutrientes (mineral e orgânica), dispostos em um delineamento de blocos ao acaso em parcelas subdivididas com quatro repetições. Amostras de solos foram coletadas nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, no primeiro, segundo ano de experimento, instalado em 2007. Os diferentes sistemas de sucessão de culturas não afetam o teor e o estoque de carbono orgânico do solo nos dois primeiros anos de adoção dos sistemas. A adubação orgânica com esterco animal promove aumentos nos teores de carbono orgânico do solo. O sistema em sucessão de culturas adubado com fertilizante mineral proporciona maiores perdas de carbono orgânico no solo.

**Termos de indexação:** manejo do solo, plantas de cobertura, plantio direto.

### INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) constitui o maior reservatório de carbono do solo. O estoque de carbono orgânico do solo pode ser alterado com maior ou menor intensidade, dependendo do sistema agrícola instalado, sendo um dos atributos mais sensíveis a transformações desencadeadas pelo manejo. Práticas de manejo inadequadas podem levar a um rápido declínio destes estoques, contribuindo para o aumento das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) à atmosfera. Por outro lado, sistemas de manejo que aumentem a adição

de resíduos vegetais e a retenção de C no solo constituem em alternativas importantes para aumentar a capacidade de dreno de C-CO<sub>2</sub> atmosférico e mitigação do aquecimento global (Bayer et al., 2006).

O sistema de plantio direto é uma das mais efetivas práticas de conservação contribuindo para a redução das perdas de solo e de C orgânico (Santos et al., 2007), principalmente devido à manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo e proteção física da matéria orgânica em agregados (Calegari et al., 2006). Porém, a eficiência desse sistema em manter e/ou até mesmo aumentar o estoque de C orgânico do solo está relacionada ao manejo de culturas utilizadas (Bayer et al., 2006; Calegari et al., 2006).

Até o momento, poucos foram os estudos realizados no Estado do Paraná, que abordaram o efeito de culturas de cobertura associado à adubação orgânica no estoque de carbono orgânico do solo. Trabalhando em Nitossolo Vermelho em Chapecó (SC) Andreola et al. (2000) verificaram que a utilização de plantas de cobertura de inverno [aveia preta + nabo forrageiro] quando associado à adubação orgânica, promoveu aumento no teor de carbono orgânico no solo, enquanto os adubos organomineral e mineral mostraram tendência à redução.

Este estudo teve como objetivo verificar os efeitos de sistemas de culturas e fontes de nutrientes (mineral e orgânico) nos teores e no estoque de carbono orgânico do solo em sistema de plantio direto.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em Mercedes, PR (24° 45' S, 54° 03' W e altitude de 380 m), em um Nitossolo Vermelho de textura argilosa, com relevo plano a suave ondulado. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes, invernos com geadas pouco

frequentes, sem estação seca definida, com precipitação e temperatura média anual de 1.500 mm e 21,4 °C, respectivamente.

A área experimental havia sido anteriormente cultivada com milho/soja e aveia/milheto em sistema de semeadura direta durante doze anos. Antes da instalação do experimento, realizou-se a coleta de amostras de solo nas camadas de 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m e os resultados da análise química são apresentados na **Tabela 1**.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas principais foram estabelecidos os quatro sistemas de sucessão de culturas: (1) soja/trigo/milho/trigo, (2) soja/aveia/milho/aveia, (3) soja/nabo/milho/nabo e (4) soja/ervilha/milho/ervilhaca; nas subparcelas foram utilizadas duas fontes de nutrientes (mineral e orgânica). Cada unidade experimental foi constituída de 8,0 m de comprimento e 6,0 m de largura (48 m<sup>2</sup>).

A semeadura da soja (cultivar CD 204), foi realizada em outubro de 2007. A adubação mineral constou da aplicação de 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 00-20-20. A adubação orgânica foi realizada com a aplicação de 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos líquidos de suínos. Após a colheita da soja, foram semeadas as culturas de cobertura (aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca comum) e o trigo.

A semeadura do milho (*Zea mays* L., híbrido PIONNER 30F0) foi realizada sobre os resíduos vegetais das culturas de inverno. A adubação mineral constou da aplicação de 400 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 04-20-20 na semeadura, e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, na forma de ureia. A adubação orgânica foi realizada com a aplicação de 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos líquidos de suínos. Após a colheita do milho, foram semeados o trigo e as culturas de cobertura (aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca comum) em seus respectivos tratamentos.

Em setembro de 2008 e de 2009, após a colheita do trigo e/ou manejo das culturas de cobertura, amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, com trado tipo caneca em cinco pontos por parcela, formando uma amostra composta representativa de cada tratamento. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneiras com malha de 2 mm e submetidas a determinação do teor de carbono orgânico total pelo método Walkley-Black. O estoque de carbono orgânico ( $E_{CO}$ ) foi calculado através da seguinte equação:

$$E_{CO} = C \times Ds \times e \times 10$$

em que,  $E_{CO}$  = estoque de carbono orgânico (Mg ha<sup>-1</sup>); C = teor de carbono na camada (g kg<sup>-1</sup>); Ds = densidade do solo na camada (kg dm<sup>-3</sup>) e, e = espessura da camada em análise (m).

Os dados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F ( $p < 0,05$ ). Para cada profundidade, as médias dos sistemas de culturas foram comparadas pelo teste de Tukey, e das fontes de nutrientes foram comparadas pelo F, ambos a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de C orgânico do solo, nos dois anos de avaliação, são apresentados na **Tabela 2**. Em relação à distribuição em profundidade, o maior teor de C orgânico foi encontrado na camada superficial de 0,0-0,05 m, e corroboram os resultados obtidos por Calegari et al. (2006) e Pereira et al. (2010) em diferentes condições climáticas e solos brasileiros. Com a ausência de revolvimento do solo no sistema de plantio direto, aliada ao acúmulo de resíduos vegetais na superfície, ocorre maior acúmulo de C orgânico na camada superficial do solo.

Os sistemas de sucessão de culturas não afetaram o teor de C orgânico do solo (**Tabela 2**), nos dois anos de avaliação. Estes resultados podem ser atribuídos ao curto período de avaliação (dois anos), o qual é considerado ainda um período de adaptação e estabelecimento dos sistemas de culturas, não sendo suficiente para que as diferenças entre os sistemas se acentuassem. Em estudo conduzido durante três anos na região Oeste do Paraná, Calegari et al. (2006) também não encontraram diferenças significativas no teor de C orgânico no sistema de plantio direto com e sem o uso de plantas de cobertura e rotação de culturas. Entretanto, em experimento de longa duração (18 anos) conduzido no Rio Grande do Sul, Costa et al. (2008) verificaram que o plantio direto associado a sistemas de cultura com alta adição de resíduos vegetais ricos em C e N resultou no aumento do estoque de C orgânico no solo.

As fontes de nutrientes influenciaram significativamente o teor de C orgânico do solo no segundo ano de avaliação (**Tabela 2**). A aplicação de esterco animal (fonte orgânica) proporcionou aumento significativo no teor de C orgânico na camada de 0,0-0,05 m quando comparada à adubação mineral. O conteúdo de C orgânico no solo é determinado pelo balanço das entradas, como o aporte de resíduos vegetais e a aplicação de compostos orgânicos, e as saídas, por meio da

oxidação e decomposição da matéria orgânica do solo.

Aumentos no conteúdo de C orgânico no solo estão relacionados a aumentos nos teores de nitrogênio (N) no solo, o que significa que, quando se objetiva a recuperação do estoque de carbono orgânico de um solo, a adição de N ao sistema é fundamenta. Entre a utilização de fertilizantes nitrogenados minerais ou orgânicos, evidencia-se que o N adicionado na fonte orgânica é mais eficiente que o N adicionado via fertilizante mineral em promover maior acúmulo de C orgânico no solo.

O estoque de C orgânico no solo não foi alterado pelos sistemas de culturas e fontes de nutrientes (**Tabela 3**), na avaliação realizada no segundo ano de experimento. O estoque de C orgânico no solo com a adubação mineral e orgânica foi de 33,3 e 35,9 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de 0,00-0,20 m, e de 29,2 e 30,5 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de 0,20-0,40 m, respectivamente.

Os estoques de C orgânico, na camada de 0,0-0,20 m, nos diferentes sistemas de culturas variaram de 34,1 a 35,3 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, nos sistemas soja/trigo/milho/trigo e soja/ervilhaca/milho/ervilhaca (**Tabela 3**). Em experimento conduzido em Uberaba (MG), em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, Pereira et al. (2010), também não encontraram efeitos significativos do uso de braquiária, milheto e crotalária como planta de cobertura do solo no estoque de carbono orgânico na camada de 0,0-0,20 m em comparação ao pousio.

Os resultados de estoque de carbono encontrados neste estudo são considerados altos se comparados com outros trabalhos da literatura (Canellas et al., 2007; Pereira et al., 2010). O acúmulo de C pode variar regionalmente devido às condições climáticas, ao tipo de solo, ao manejo aplicado e, principalmente, em função do tempo de implantação do sistema de plantio direto. Estudos de longa duração realizados em sistema de plantio direto no Sul do Brasil, indicam taxas anuais potenciais de acúmulo de C orgânico no solo variando entre 0,5 a 1,0 Mg ha<sup>-1</sup>, para intervalos entre 0 a 16 anos.

O aporte anual de C orgânico, na camada de 0,0-0,20 m, foi positivo em todos os sistemas de sucessão de culturas (**Tabela 3**), entretanto, houve variação entre os sistemas estudados. O maior aporte de C no solo foi evidenciado no sistema soja/ervilhaca/milho/ervilhaca com 0,85 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, e pode ser atribuído a maior disponibilidade de N no sistema, em decorrência da fixação biológica do N<sub>2</sub> atmosférico pelas plantas de ervilhaca comum. Aumentos no estoque de C orgânico no solo estão

relacionados a aumentos na disponibilidade de N no sistema solo-planta. Por sua vez, o menor aporte de C no solo (0,25 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) no sistema soja/trigo/milho/trigo, ocorreu devido a menor adição de resíduos vegetais ao solo. Já, na camada de 0,20-0,40 m este sistema proporcionou um saldo negativo de C no solo (**Tabela 3**).

## CONCLUSÕES

Os diferentes sistemas de sucessão de culturas em plantio direto não afeta o teor e o estoque de carbono orgânico do solo nos dois primeiros anos de adoção dos sistemas.

A adubação orgânica com esterco animal promove aumentos nos teores de carbono orgânico do solo.

O sistema em sucessão de culturas adubado com fertilizante mineral proporciona maiores perdas de carbono orgânico no solo.

## REFERÊNCIAS

- ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; MENDONÇA, E.S. & OLSZEWSKI, N. Propriedades químicas de uma Terra Roxa Estruturada influenciadas pela cobertura vegetal de inverno e pela adubação orgânica e mineral. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:609-620, 2000.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. & DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil & Tillage Research*, 86:237-245, 2006.
- CALEGARI, A.; CASTRO FILHO, C. de; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R. & GUIMARÃES, M.F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. *Semina: Ciências Agrárias*, 27:147-158, 2006.
- CANELLAS, L.P.; BALDOTTO, M.A.; BUSATO, J.G.; MARCIANO, C.R.; MENEZES, S.C.; SILVA, N.M.; RUMJANEK, V.M.; VELLOSO, A.C.X.; SIMÕES, M.L.; MARTIN-NETO, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:331-340, 2007.
- COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:323-332, 2008.
- PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BEUTLER, S.J. & TORRES, J.L.R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45:508-514, 2010.
- SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA, Ê.F.F. & LIMA NETO, J.A. Perdas de carbono orgânico, potássio e solo em Neossolo Flúvico sob diferentes sistemas de manejo no semi-árido. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 2:143-149, 2007.

Tabela 1. Características químicas e densidade do solo, nas camadas de 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade

Profundidade (m)	pH	P (mg dm <sup>-3</sup> )	CO (g kg <sup>-1</sup> )	H + Al	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	CTC	V (%)	Ds (kg dm <sup>-3</sup> )
0,0-0,05	5,4	18	15,4	46	3,8	38	17	105	56	1,25
0,05-0,10	5,0	14	12,8	55	2,5	33	13	104	47	1,30
0,10-0,20	4,8	10	11,2	58	1,3	30	12	101	41	1,40
0,20-0,40	4,6	6	10,8	66	0,6	26	9	102	31	1,35

Tabela 2. Teor de carbono orgânico (g kg<sup>-1</sup>) nas camadas de 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de solo, afetado por sistemas de culturas e fontes de nutrientes

Fonte de variação	Profundidade (m)							
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,05-0,10	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
	1º ano (Safrá 2007/08)				2º ano (Safrá 2008/09)			
Fonte de nutrientes								
Mineral	14,6	14,6	12,9	11,1	10,8	13,2	11,2	10,8
Orgânica	14,8	14,8	13,0	11,7	11,3	14,1	11,8	11,3
DMS	1,6	1,6	1,2	1,0	1,8	1,2	0,8	1,8
Sistemas de culturas								
So/Tr/Mi/Tr	14,4	14,4	12,5	11,2	10,6	13,4	11,5	10,6
So/Av/Mi/Av	14,7	14,7	13,0	11,4	10,9	13,7	11,4	10,9
So/Na/Mi/Na	14,6	14,6	12,8	11,5	11,1	13,6	11,5	11,1
So/Er/Mi/Er	15,1	15,1	13,6	11,6	11,3	14,0	11,6	11,3
DMS	1,8	1,8	1,4	1,2	2,1	1,3	1,0	2,1

So: soja, Tr: trigo, Av: aveia-preta, Na: nabo forrageiro, Er: Ervilhaca comum, Mi: milho. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (p < 0,05). DMS: diferença mínima significativa.

Tabela 3. Estoque de carbono orgânico nas camadas de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m de solo em setembro de 2007 (início do experimento) e em setembro de 2009 (2 anos após) e sua variação durante o experimento, afetado por sistemas de culturas e fontes de nutrientes

Fonte de variação	Estoque		Variação no período	
	2007	2009	Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
	0,0-0,20 m			
Fonte de nutrientes				
Mineral	33,6	33,3 a	-0,3	-0,15
Orgânica	33,6	35,9 a	2,3	1,15
Sistemas de culturas				
So/Tr/Mi/Tr	33,6	34,1 a	0,5	0,25
So/Av/Mi/Av	33,6	34,5 a	0,9	0,45
So/Na/Mi/Na	33,6	34,5 a	0,9	0,45
So/Er/Mi/Er	33,6	35,3 a	1,7	0,85
	0,20-0,40 m			
Fonte de nutrientes				
Mineral	29,2	29,2 a	0,0	0,00
Orgânica	29,2	30,5 a	1,3	0,65
Sistemas de culturas				
So/Tr/Mi/Tr	29,2	28,6 a	-0,6	-0,30
So/Av/Mi/Av	29,2	29,4 a	0,2	0,10
So/Na/Mi/Na	29,2	30,0 a	0,8	0,40
So/Er/Mi/Er	29,2	30,5 a	1,3	0,65

So: soja, Tr: trigo, Av: aveia-preta, Na: nabo forrageiro, Er: Ervilhaca comum, Mi: milho. DMS: diferença mínima significativa.