

AUMENTO DO ESTOQUE DE MATÉRIA ORGÂNICA DE UM CAMBISSOLO HÚMICO CATARINENSE SOB PLANTIO DIRETO

SOIL ORGANIC MATTER INCREASE IN A SOUTH BRAZILIAN HUMIC CAMBISSOL UNDER NO-TILLAGE

Cimélio Bayer¹

Recebido em: 15/08/2003. Aprovado em: 31/03/2004.

RESUMO

O plantio direto aumenta a matéria orgânica (MO), com reflexos positivos na qualidade do solo e na retenção de CO₂ atmosférico. O objetivo principal deste estudo foi avaliar o efeito de curto prazo (2,5 anos) do plantio direto (PD) sobre os estoques de C orgânico total (COT) e particulado (COP) de um Cambissolo Húmico, em comparação ao solo em preparo convencional (PC), em Lages, SC. O procedimento tradicional de cálculo dos estoques de C em camada equivalente de solo (0-0,15 m) resultou numa superestimativa de 51% no sequestro de COT no solo em PD em comparação ao cálculo baseado em massa equivalente de solo. Em massa equivalente de solo (1933 Mg ha⁻¹), o solo em PD apresentou um aumento de 14% (6,77 Mg ha⁻¹) no COT e de 48% (2,44 Mg ha⁻¹) no COP, em comparação ao solo em PC. A alta taxa de aumento de COT no solo em PD (2,71 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) deve-se ao efeito aditivo da menor taxa de decomposição da MO no solo e da maior adição de C pelas culturas no PD (7,20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) do que no PC (2,98 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), decorrente dos distintos sistemas de culturas utilizados. A maior sensibilidade dos estoques de COP indica que esta fração é mais adequada do que o COT para avaliação da qualidade de sistemas de manejo de solo a curto prazo. Por outro lado, aproximadamente 64% da retenção de C orgânico no solo em PD ocorreu na MO associada aos minerais, o que é ambientalmente desejável e apresenta reflexos positivos na química de solos em PD.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura sustentável, fracionamento físico, carbono orgânico, qualidade do solo.

SUMMARY

No-tillage increases soil organic matter (SOM) stocks,

and, as consequence, improve soil quality and atmospheric C retention in the soil. The main objective of this study was to evaluate the short-term (2.5 years) effect of no-tillage on the total organic carbon (TOC) and on particulate organic carbon (POC) stocks in comparison with a conventionally tilled Humic Cambissol. The traditional method of C stocks calculation based on an equivalent soil layer (0-0.15 m) resulted in an overestimation of 51% in the estimation of C sequestration in no-tillage soil in comparison to equivalent soil mass method. In an equivalent soil mass (1933 Mg ha⁻¹) basis, soil under no-tillage had 14% (6.77 Mg ha⁻¹) more TOC and 48% (2.44 Mg ha⁻¹) more POC than conventional tillage soil. The high rate of TOC increase (2.71 Mg ha⁻¹ yr⁻¹) was due to both lower decomposition rate of SOM and higher crop residues addition on no-tillage soil (7.20 Mg ha⁻¹ yr⁻¹) than CT (2.98 Mg ha⁻¹ yr⁻¹) due to different crops. The higher sensitivity to soil management changes make the POC a more adequate soil quality index compared to the TOC. Despite higher relative increase of POC stocks, approximately 64% of C retention in the no-tillage soil occurred in the stable mineral-associated organic matter, what is environmentally desirable and positive to the chemistry of no-tillage soils.

KEY WORDS: sustainable agriculture, physical fractionation, organic carbon, soil quality.

INTRODUÇÃO

O plantio direto mantém os resíduos culturais na superfície do solo, sendo bem conhecida sua eficiência no controle da erosão hídrica (CASSOL, 1984; LOPES et al., 1987). O não revolvimento do solo resulta numa diminuição das taxas de decomposição microbiana da matéria orgânica (MO) devido ao menor fracionamento de resíduos vegetais, redução do contato entre o resíduo e os microrganismos, alterações no microclima, e

¹ Eng. Agr., Dr., Professor do Departamento de Solos da UFRGS, C. P. 15100, 90001-970, Porto Alegre, RS. Bolsista do CNPq, E-mail: cimelio.bayer@ufrgs.br

preservação da proteção física da MO no interior de agregados de solo (BAYER e MIELNICZUK, 1999; BALESIDENT et al., 2000).

Em consequência da diminuição da taxa de decomposição, há potencialidade de acúmulo de MO em solos em plantio direto (BAYER et al., 2000a, b). Segundo levantamento realizado por Bayer et al. (2002b), em solos sob o mesmo sistema de cultura, as taxas de acúmulo de C orgânico total (COT) em solos brasileiros em plantio direto variam de 0,04 a 1,33 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, as quais foram calculadas em comparação aos estoques de COT solo em preparo convencional. A quantidade de resíduos vegetais adicionada ao solo também é um fator fundamental em relação aos estoques de MO no solo, havendo uma relação direta com os aportes anuais de C e N pelos sistemas de cultura com os estoques de MO em solos em PD (BURLE et al., 1997; BAYER et al., 2000b).

Um aspecto relevante de se observar é o procedimento de cálculo dos estoques de C no solo, o que pode afetar as taxas de acúmulo estimadas deste elemento em solos sob diferentes sistemas de manejo. Segundo Ellert e Bettany (1995), o procedimento tradicional de cálculo dos estoques de C em camadas equivalentes de solo pode ocasionar uma superestimativa do acúmulo de MO devido as maiores densidades do solo em PD (ELLERT e BETTANY, 1995). Esses autores sugerem que o procedimento mais correto de cálculo visando a comparação dos estoques de C em diferentes sistemas de manejo de solo é o cálculo dos seus estoques em massas equivalentes de solo, o que elimina a influência das alterações na massa de solo ocorridas, por exemplo, pelo adensamento ou compactação do solo.

A MO tem sido utilizada como um indicador da qualidade do solo, devido ao fato de apresentar grande influência sobre condições físicas, químicas e biológicas do solo, bem como pelo fato de se tratar de um componente sensível às alterações no uso e manejo (DORAN e PARKIN, 1994; DORAN, 1997; VEZZANI, 2001). Entretanto, o COT pode não ser sensível suficiente para evidenciar efeitos de curto prazo resultantes da alteração de sistemas de manejo e, nesses casos, a avaliação de frações lábeis da MO tem sido mais eficiente, dentre as quais destaca-se o C orgânico particulado (COP) (CARTER et al., 1994; CHAN, 1997). O COP é composto por resíduos vegetais em estágios iniciais de decomposição, hifas de fungos e raízes (CAMBARDELLA e ELLIOT, 1992) e responde rapidamente às alterações no manejo

(BAYER et al., 2001; BAYER et al., 2002a). Métodos físicos densimétricos e granulométricos podem ser utilizados para o fracionamento do COP, o qual corresponde, respectivamente, ao C presente na fração leve e na fração grosseira (>53 µm) (CAMBARDELLA e ELLIOT, 1992; CRISTENSEN, 1992).

O objetivo principal do presente estudo foi avaliar o efeito de curto prazo (2,5 anos) do PD sobre os estoques de C orgânico total e particulado de um Cambissolo Húmico, em Lages, SC. Realizou-se também uma comparação dos resultados do cálculo dos estoques de C orgânico em massa equivalente de solo e em camada equivalente de solo, bem como de suas implicações na estimativa de seqüestro de C no solo em plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em amostras de solo coletadas de um experimento conduzido, de maio de 1995 a novembro de 1997, no Centro de Ciências Agroveterinárias da UDESC, em Lages, SC. O solo é um Cambissolo Húmico álico argiloso com 430 g kg⁻¹ de argila, 100 g kg⁻¹ de areia e 470 g kg⁻¹ de silte na camada de 0-10 cm de profundidade. A altitude média do local é de 953 m. Segundo a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina S.A., a temperatura máxima média anual é de 21,7°C e a mínima média anual de 11,5°C. A precipitação média anual é de 1.674 mm.

A implantação do experimento foi realizada em maio de 1995, imediatamente após a sistematização da área com aplicação de calcário dolomítico (3,9 Mg ha⁻¹ PRNT 100%) e de fertilizantes (125 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo, 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio). Os tratamentos, preparo convencional (uma lavração e duas gradagens) e plantio direto (sem preparo de solo), foram instalados segundo um delineamento completamente casualizado, com quatro repetições. No plantio direto, foram cultivadas, em seqüência, aveia preta (*Avena strigosa*), milho (*Zea mays*), aveia preta, milho e aveia preta, tendo sido mantidos todos os resíduos na superfície do solo após a colheita manual do milho e do tombamento da aveia preta com rolo faca. No preparo convencional, a seqüência de cultivos foi aveia preta, milho, pousio, milho e pousio. Os resíduos do primeiro cultivo de milho foram removidos da área e, do segundo, mantidos. O preparo do solo, com uma aração e duas gradagens, foi feito imediata-

mente antes da implantação das culturas de aveia preta e do milho. Em ambos os sistemas de manejo, a aveia preta foi semeada a lanço, com 150 kg ha⁻¹ de sementes, e o milho com “saraquá”, no espaçamento de 0,9 m entre linhas e cinco plantas por metro linear. Na Tabela 1 são apresentadas as quantidades de C adicionado ao solo pelas culturas em ambos sistemas de manejo.

Em novembro de 1997, imediatamente antes da instalação da cultura de verão, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-15 cm, nas entre-linhas da cultura do milho do ano anterior. A amostragem foi manual, com auxílio de espátulas, tendo sido coletada uma sub-amostra em cada uma das quatro repetições dos tratamentos. As amostras de solo foram secas ao ar e analisadas em relação aos teores de COT por digestão sulfocrômica com aquecimento externo, de acordo com procedimento descrito em Tedesco et al. (1995). A MO particulada foi separada por passagem em peneira de 53 µm.

Tabela 1 - Valores de densidade do solo e de C adicionado pelas culturas nos sistemas de preparo convencional (PC) e plantio direto (PD).

Variável	Sistema de preparo de Solo	
	PC	PD
Densidade do solo (Mg m⁻³)		
0-0,025 m	1,06	1,39
0,025-0,05 m	1,11	1,38
0,05-0,100 m	1,24	1,25
0,10-0,150 m	1,27	1,23
C adicionado (Mg ha⁻¹)*		
Aveia	3,24	3,24
Milho	0,20**	5,16
Aveia	-	3,20
Milho	4,00	4,00
Aveia	-	2,40
Total	7,44	18,00

Fonte: adaptado de Bertol et al. (2000)

* Adições de C calculadas assumindo uma concentração de 400g Kg⁻¹ de C na matéria seca das culturas; ** palha do milho foi removida das parcelas.

Foram pesadas 20 g de solo (2 mm), colocadas em frascos do tipo “snap-cap” de 180 mL e adicionados 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L⁻¹). As amostras foram agitadas por 16 horas em agitador horizontal, e a suspensão passada em peneira de 53 µm, com auxílio de jato de água. O material retido na peneira foi transferido para recipientes plásticos,

seco em estufa a 55°C, quantificado em relação a sua massa, moído e submetido à análise do teor de C orgânico (TEDESCO et al., 1995). Os estoques de COT no solo foram calculados por dois procedimentos: (1) em camadas equivalentes de solo, e (2) em massas equivalentes de solo. Por sua vez, os estoques de COP foram calculados apenas pelo segundo procedimento. O cálculo dos estoques baseado em camadas equivalentes de solo é o tradicionalmente utilizado, e é sintetizado na seguinte expressão (ELLERT e BETTANY, 1995):

$$M_{\text{carbono}} = \text{concentração} \times \rho_{\text{solo}} \times E \times 10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \times 0,001 \text{ Mg kg}^{-1} \quad [1]$$

Onde:

M_{carbono} = massa de C por unidade de área (Mg ha⁻¹)

concentração = concentração de C no solo (kg Mg⁻¹)

ρ_{solo} = densidade do solo (Mg m⁻³)

E = espessura da camada de solo (m)

Para o cálculo dos estoques de C em massas equivalentes de solo foram calculadas, inicialmente, as massas das camadas amostradas de solo ($M_{\text{carbono}} = \rho_{\text{solo}} \times T \times 10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), em ambos sistemas de manejo. Os dados de densidade de solo (ρ_{solo}) utilizados são apresentados na Tabela 1. Posteriormente, o sistema de manejo com a maior massa de solo foi utilizado como referência, e as massas das camadas de solo neste sistema de manejo foram designadas como massa equivalente ($M_{\text{equivalente}}$). A partir dos valores de $M_{\text{equivalente}}$ e da densidade do solo das respectivas camadas do(s) sistema(s) de manejo não referência calculou-se as espessuras das camadas de solo requeridas para atingir uma massa equivalente a massa de solo no sistema de referência ($M_{\text{equivalente}}$). A espessura das camadas foi calculada com auxílio da expressão abaixo, adaptada de Ellert e Bettany (1995):

$$T_{\text{solo}} = \frac{M_{\text{equivalente}}}{\rho_{\text{solo}}} \times 0,0001 \text{ ha m}^{-2} \quad [2]$$

Onde:

T_{solo} = espessura da camada de solo requerida para atingir uma massa de solo equivalente a do sistema de referência (m);

$M_{\text{equivalente}}$ = massa de solo equivalente = massa de solo no sistema de manejo referência (Mg ha⁻¹);

ρ_{solo} = densidade do solo no sistema de manejo não referência (Mg m⁻³)

A partir das espessuras das camadas de solo

amostradas (sistema referência) e calculadas (sistema não referência), foram calculadas as massas de C por unidade de área (Mg ha^{-1}) em equivalentes massas de solo utilizando-se a equação [1]. Os resultados dos estoques de COT no solo obtidos pelos dois procedimentos foram comparados visando avaliar o grau de superestimação da taxa de acúmulo de C no solo em PD a partir do método de camada equivalente de solo, em comparação ao método de massa equivalente de solo. Os estoques de COT e COP calculados pelo método de massa equivalente de solo foram submetidos à análise da variância. A diferença entre médias dos sistemas de preparo de solo foi avaliada, em cada profundidade de solo, pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cálculo dos estoques de COT: equivalente camada de solo \times equivalente massa de solo

O método de cálculo do estoque de C em camada equivalente de solo resultou numa superestimativa de 51% no acúmulo de COT no solo em PD em com-

paração ao método da massa equivalente de solo. Enquanto o método de camada equivalente (0-0,15 m) indicou um acúmulo de $10,30 \text{ Mg ha}^{-1}$ de COT no solo em PD em comparação ao solo em PC, no método de massa equivalente de solo (1933 Mg ha^{-1}) essa diferença diminuiu para $6,77 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Tabela 2).

No solo em PD ocorreu um adensamento do solo em comparação ao solo em PC, principalmente nas camadas superficiais (Tabela 1). Nesse caso, quando amostramos camadas equivalentes de solo e calculamos os estoques de C considerando as camadas de solo originalmente amostradas e a densidade do solo nas respectivas camadas, comparamos os estoques de C em massas de solo não equivalentes (1798 Mg ha^{-1} no PC e 1933 Mg ha^{-1} no PD, na camada de 0-0,15 m) (Tabela 2). Como o solo está mais adensado no PD, a coleta de camadas fixas representa como se coletássemos uma espessura de solo maior do solo em PD do que do solo em PC (ELLERT e BETTANY, 1995). A comparação dos estoques de COT em massas equivalentes de solo corrige esta alteração da densidade do solo e sua influência na massa de solo. Como trata-se de um procedimento de cálculo em fase inicial de dis-

Tabela 2. Estoques de carbono orgânico total (COT) e particulado (COP) calculados em camadas equivalentes de solo e em massas equivalentes de solo, nos sistemas de preparo convencional (PC) e plantio direto (PD).

Preparo de Solo	C em camada equivalente de solo				C em massa equivalente de solo				
	camada (m)	concentração (kg Mg^{-1})	massa de solo ¹ (Mg ha^{-1})	COT ² (Mg ha^{-1})	Camada (m) ⁴	massa de solo ³ (Mg ha^{-1})	COT ⁵ (Mg ha^{-1})	COP (Mg ha^{-1}) ³ % do COT	
PC	0-0,025	26,34	265	6,98	0-0,033	348	9,15 b	1,02 b	11
PD	0-0,025	34,14	348	11,88	0-0,025	348	11,88 a	2,77 a	23
Δ PD-PC				4,90			2,73	1,75	
PC	0,025-0,05	25,83	278	7,18	0,033-0,064	345	8,93 a	0,97 a	11
PD	0,025-0,05	28,35	345	9,78	0,025-0,050	345	9,78 a	1,12 a	11
Δ PD-PC				2,60			0,85	0,15	
PC	0,05-0,10	25,50	620	15,81	0,064-0,114	625	15,94 b	1,66 a	10
PD	0,05-0,10	28,83	625	18,02	0,050-0,100	625	18,02 a	2,04 a	11
Δ PD-PC				2,21			2,08	0,38	
PC	0,10-0,15	25,83	635	16,40	0,114-0,162	635	15,88 a	1,45 a	9
PD	0,10-0,15	27,63	615	16,99	0,100-0,150	635	16,99 a	1,62 a	9
Δ PD-PC				0,59			1,11	0,17	
PC	0-0,15	25,79	1798	46,37	0-0,162	1933	49,90 b	5,11 b	10
PD	0-0,15	29,32	1933	56,67	0-0,150	1933	56,67 a	7,55 a	13
Δ PD-PC				10,30			6,77	2,44	

Médias de sistemas de preparo, em cada camada de solo, seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

¹ Valores calculados segundo expressão [1] (ver texto)

² Valores calculados segundo a expressão [2] (ver texto)

³ Massas equivalentes de solo = corresponde a massa do solo na camada do sistema de referência, o qual corresponde ao sistema de manejo que apresenta a maior massa de solo na camada integral amostrada (1933 Mg ha^{-1})

⁴ Camadas de solo calculadas no solo em PC de modo a que os sistemas de manejo apresentem uma massa equivalente de solo segundo a expressão [3] (ver texto)

⁵ Valores calculados segundo a expressão [2] (ver texto)

cussão na comunidade científica brasileira, usaremos os resultados da Tabela 2 para exemplificar os cálculos e as implicações existentes na interpretação dos resultados. Inicialmente, o sistema PD foi tomado como referência por apresentar a maior massa de solo na camada integral amostrada (1933 Mg ha^{-1}). As massas das camadas de solo no PD foram designadas como massa equivalente de solo ($M_{\text{equivalente}}$), e utilizadas para cálculo da espessura da camada de solo em PC, utilizando a equação [2], requerida para atingir uma massa de solo equivalente a do solo em PD. Por exemplo, na camada de 0-0,025 m, a $M_{\text{equivalente}}$ foi 348 Mg ha^{-1} . Usando a equação [2], calculou-se que a camada de solo no PC que apresenta uma massa equivalente corresponde a uma espessura de 0,033 m (Tabela 2). Ou seja, a camada amostrada de 0,025 m mais uma espessura adicional de 0,008 m.

Na realidade esse procedimento de cálculo dos estoques de COT em massas equivalentes de solo em diferentes camadas de solo representa uma modificação do que foi proposto por Ellert e Bettany (1995). Esses autores propuseram que essa correção fosse realizada na espessura apenas da última camada de solo, de modo a permitir comparações numa massa equivalente de solo. O procedimento proposto pelos autores é mais simplificado e facilita os cálculos, adequando-se apenas para comparar os estoques de C na espessura total amostrada de solo (por exemplo, no caso do presente estudo, na camada de 0,15 m) entre os sistemas de manejo.

Os procedimentos de corrigir a espessura apenas da última camada (ELLERT e BETTANY, 1995) e da correção da espessura de todas as camadas amostradas foram comparados e resultaram em resultados idênticos, ou seja, estoques de COT de $49,90 \text{ Mg ha}^{-1}$ no solo em PC e $56,67 \text{ Mg ha}^{-1}$ no solo em PD. A única diferença entre os dois procedimentos é que foi estimada uma espessura adicional para atingir a massa equivalente de solo de 0,011 m (dados não apresentados) quando da correção da espessura apenas da última camada (ELLERT e BETTANY, 1995), enquanto que a soma das espessuras calculadas das diferentes camadas de solo resultou numa espessura total de 0,162 m, ou seja, uma espessura adicional de 0,012 m à espessura original amostrada de solo (0,015 m). Apesar da menor simplicidade do procedimento adotado no presente estudo, a vantagem desse procedimento é a de permitir avaliar o efeito de sistemas de uso e manejo sobre os estoques de COT e de frações da matéria orgânica em diferentes camadas de solo.

Efeito do plantio direto sobre os estoques de COT e POC do solo

O efeito do sistema PD sobre os estoques de COT e POC do solo será interpretado a partir dos resultados dos estoques de C em massas equivalentes de solo (Tabela 2). Em massas equivalentes de solo (1933 Mg ha^{-1}), o PD apresentou um aumento de 14% ($6,77 \text{ Mg ha}^{-1}$) nos estoques de COT em comparação ao solo em PC. Esse efeito positivo do não revolvimento nos estoques de matéria orgânica no solo tem sido verificado por diversos autores nas condições edafo-climáticas brasileiras (BAYER et al., 2000a, b; AMADO et al., 2001; CORAZZA et al., 1999), o qual tem sido relacionado principalmente à diminuição nas taxas de decomposição microbiana da matéria orgânica (BAYER et al., 2000c). A taxa de acúmulo de COT ($2,71 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) no solo em PD pode ser considerada alta, sendo bem superior a faixa verificada de 0,04 a $1,33 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ verificada num levantamento realizado por Bayer et al. (2002b) em solos brasileiros. No presente estudo, em adição à menor taxa de decomposição da MO, essa elevada retenção de C no solo deve-se também ao aporte anual superior de resíduos vegetais no solo em PD ($18,00 \text{ Mg C ha}^{-1}$) em comparação ao solo em PC ($7,44 \text{ Mg C ha}^{-1}$), decorrente dos diferentes sistemas de culturas utilizados (Tabela 1). Considerando-se um coeficiente de humificação médio de 20% (BAYER et al., 2000c), ou seja, que 20% do C adicionado na forma de resíduos vegetais é mantido no solo como MO, a maior quantidade de resíduos vegetais adicionados ao solo é responsável pelo acúmulo de aproximadamente $2,11 \text{ Mg ha}^{-1}$ de COT no solo em PD em comparação ao solo em PC. As outras $4,66 \text{ Mg ha}^{-1}$ de COT a mais no solo em PD são decorrentes da diminuição da taxa de decomposição da MO do solo no sistema PD em comparação ao PC. Ou seja, aproximadamente 1/3 da diferença no estoque de COT ocorreu devido ao aporte diferenciado de resíduos, enquanto que a diminuição da taxa de decomposição foi responsável por 2/3 desta diferença. O COP ($>53\mu\text{m}$) representou de 9-23% do C orgânico total (Tabela 2). Em massas equivalentes de solo (1933 Mg ha^{-1}), o PD resultou num aumento de 48% ($2,44 \text{ Mg ha}^{-1}$) nos estoques de COP, em comparação ao solo em PC (Tabela 2). Esse aumento relativo maior do estoque de COP em comparação ao verificado para o COT (14%) indica uma maior adequação da matéria orgânica particulada como indicador de qualidade do solo, e em última análise, da qualidade de sistemas de manejo. Uma maior sensibilidade do COP em relação ao COT às

alterações no uso e manejo do solo também foi verificada por Bayer et al. (2001, 2002a) e Bayer e Bertol (1999) em solos brasileiros. Observa-se na Tabela 2 que o aumento mais expressivo no COP ocorreu na camada superficial do solo em PD, o que se deve a localização dos resíduos culturais na superfície do solo. O acúmulo dessa fração lábil da MO no solo pode representar uma fonte prontamente acessível de C e energia aos microrganismos e de nutrientes às culturas, com reflexos favoráveis também nas condições físicas de solos sob plantio direto.

Convém salientar que, apesar da sua maior sensibilidade ao manejo, esta fração lábil da MO não é a que apresenta os maiores aumentos absolutos em solos subtropicais em PD (BAYER et al., 2001, 2002a). A diferença entre os estoques de COT e de POC, nos permite calcular o estoque de C na MO associada aos minerais (CAMBARDELLA e ELLIOT, 1992), a qual representa uma fração mais estável e humificada da MO do solo.

A partir desse procedimento de cálculo (MO associada = TOC – POC) estimou-se que ocorreu um aumento no estoque de C na MO associada aos minerais equivalente a $4,33 \text{ Mg ha}^{-1}$ no solo em PD em comparação ao solo em PC. Esse aumento no estoque de C na MO associada aos minerais é de quase 2 vezes o aumento verificado no COP, o que se deve a maior estabilidade dessa fração orgânica devido a interação com a fração mineral, e apresenta reflexos no que se refere à melhoria das propriedades físico-químicas de solos em PD, como aumento da capacidade de retenção de cátions e diminuição do ponto de carga zero, entre outras. Adicionalmente, do ponto de vista de retenção de C atmosférico no solo, esse acúmulo de C em frações mais estáveis da MO no solo em PD é ambientalmente favorável.

CONCLUSÕES

O cálculo dos estoques de carbono orgânico total em camadas equivalentes de solo resultou numa superestimativa do acúmulo de carbono no solo em plantio direto em comparação ao método baseado em massas equivalentes de solo. O plantio direto resultou em aumento nos estoques de carbono orgânico total em comparação ao solo em preparo convencional, o que foi atribuído a maior adição de resíduos vegetais anualmente e à menor taxa de decomposição da matéria orgânica no solo. O carbono orgânico particulado foi mais sensível do que o carbono orgânico total à altera-

ção no sistema de manejo, sendo considerado um indicador mais adequado para evidenciar efeitos de curto prazo do manejo na qualidade de solo. Por outro lado, o estoque de carbono na matéria orgânica associada aos minerais apresentou o maior aumento absoluto no solo em plantio direto. Em adição aos aspectos benéficos da matéria orgânica em relação a qualidade de solos tropicais e subtropicais, deve-se ressaltar o papel dos solos em plantio direto como um depósito de C atmosférico, o que apresenta uma grande importância na mitigação das mudanças climáticas globais.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Ildegardis Bertol por disponibilizar o experimento sob sua responsabilidade para a realização deste estudo, bem como os resultados de densidade do solo e adição de resíduos vegetais pelas culturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADO, T. J. C., BAYER, C., ELTZ, F. L. F. et al. Potencial de plantas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, v.25, p. 189-197, 2001.
- BALESDENT, J., CHENU, C., BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.*, Amsterdam, v. 53, p. 215-230, 2000.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. *Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.
- BAYER, C., BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, v. 23, p. 687-694, 1999.
- BAYER, C., MARTIN-NETO, L., MIELNICZUK, J. et al. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. *Soil Till. Res.*, Amsterdam, v.53, p. 95-104, 2000a.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J., AMADO, T. J. C., et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in Southern Brazil. *Soil Till Res.*, Amsterdam, v. 54, p. 101-109, 2000b.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J., MARTIN-NETO, L.

- Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 24, p. 599-607, 2000c.
- BAYER, C., MARTIN-NETO, L., MIELNICZUK, J., et al. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 65, p. 1473-1478, 2001.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J., MARTIN-NETO, L., et al. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant Soil**, The Hague, v. 238, p. 133-140, 2002a.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J., COSTA, F. S. et al. Ciclagem de carbono e fluxo de gases do efeito estufa em agroecossistemas. In: REUNIÃO DO NÚCLEO REGIONAL SUL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 4., 2002, Porto Alegre. **Palestras** Porto Alegre: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002b. 1CD-ROM.
- BURLE, M. L., MIELNICZUK, J., FOCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. **Plant Soil**, The Hague, v. 190, p. 309-316, 1997.
- CAMBARDELLA, C. A., ELLIOT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 56, p. 777-783, 1992.
- CARTER, M. R., ANGERS, D. A., KUNELIUS, H. T. Soil structure and organic matter fractions under perennial grasses. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 58, p. 1194-1199, 1994.
- CASSOL, E.A. **Erosão do solo – influência do uso agrícola, do manejo e preparo do solo**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura/IPRNR, 1984. 40 p. (Boletim Técnico, 15)
- CHAN, K. Y. Consequences of changes in particulate organic carbon in vertisols under pasture and cropping. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 61, p. 1376-1382, 1997.
- CORAZZA, E. J., SILVA, J. E., RESCK, D. V. S., et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 23, p. 425-432, 1999.
- CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle-size and density separates. **Adv. Soil Sci.**, v. 20, p. 1-90, 1992.
- DORAN, J.W., PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. et al. (eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994., p.1-20. (Special Publication, 35)
- DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Palestras...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1CD-ROM.
- ELLERT, B. H., BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Can. J. Soil Sci.**, Ottawa, v. 75, p. 529-538, 1995.
- LOPES, P.R.C., COGO, N.P., LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 11, p. 71-75, 1987.
- TEDESCO, M. J., GIANELO, C., BISSANI, C. A., et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia. 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 5)
- VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2002. 107 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2002.