



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S.
ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO E DISTRIBUIÇÃO DE FRAÇÕES ORGÂNICAS DE
LATOSOLO DO CERRADO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 26, núm. 2, 2002, pp. 425-434

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218325017>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO E DISTRIBUIÇÃO DE FRAÇÕES ORGÂNICAS DE LATOSSOLO DO CERRADO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO⁽¹⁾

**A. A. FREIXO⁽²⁾, P. L. O. A. MACHADO⁽³⁾, C. M. GUIMARÃES⁽⁴⁾,
C. A. SILVA⁽³⁾ & F. S. FADIGAS⁽⁵⁾**

RESUMO

Este estudo teve por objetivo avaliar o efeito de sistemas de cultivo sobre os estoques de carbono e nitrogênio e sobre a distribuição de frações (leve e pesada) da matéria orgânica de Latossolo Vermelho-Amarelo, em experimento da Embrapa Arroz e Feijão (GO). Os tratamentos amostrados consistiram da combinação de dois sistemas de preparo do solo (plantio direto e aração mais gradagem do solo) com duas rotações: (1) pousio/arroz – pousio/soja e (2) crotalária/arroz – milheto/soja. Como referência, foi amostrada também uma área de Cerrado, nas adjacências do local do experimento. As determinações de C e N das diferentes frações orgânicas foram realizadas entre os meses de janeiro e agosto de 2000. Em relação ao Cerrado, houve uma redução de cerca de 50 % nos teores de C e N dos solos cultivados. Os estoques de C e N nas áreas cultivadas não se mostraram inferiores nas áreas com revolvimento de solo, em relação às áreas sob plantio direto. A maior parte (60-90 %) do carbono mostrou-se associada às frações granulométricas mais finas e a aração do solo aumentou esta tendência. Os teores de C nas frações leves foram reduzidos com a substituição da vegetação de Cerrado pelos agroecossistemas, e essa fração da matéria orgânica do solo (MOS) caracterizou-se como o indicador mais sensível das alterações causadas pelos sistemas de cultivo avaliados sobre o teor da MOS.

Termos de indexação: matéria orgânica, fracionamento físico, preparo do solo, rotação de culturas, solo sob floresta.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Recebido para publicação em agosto de 2000 e aprovado em junho de 2001.

⁽²⁾ Bióloga do Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. BR 465, Km 7, CEP 23890-000 Seropédica (RJ). E-mail: freixo@uefs.br

⁽³⁾ Pesquisador da Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico 1024, CEP 22460-000 Rio de Janeiro (RJ). E-mail: pedro@cnpb.embrapa.br

⁽⁴⁾ Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão. Rodovia Goiânia - Nova Veneza, Km 12, Caixa Postal 179, CEP 75375-000 Santo Antônio de Goiás (GO). E-mail: cleber@cnpaf.embrapa.br

⁽⁵⁾ Pós-Graduando em Ciência do Solo, Departamento de Solos, UFRRJ.

SUMMARY: CARBON AND NITROGEN STORAGE AND ORGANIC FRACTION DISTRIBUTION OF A CERRADO OXISOL UNDER DIFERENT CULTIVATION SYSTEMS

This study was carried out to evaluate the effect of cultivation systems on soil carbon and nitrogen contents and on the distribution of light and heavy fractions of soil organic matter (SOM). Density and particle-size fractionations were used to isolate free light fraction (FLF), intra-aggregate light fraction (ILF) and heavy fractions (HF) of a Red-Yellow Latosol from a field experiment at Embrapa Rice and Beans in Goiás, Brazil. Treatments consisted of a combination of soil tillage and crop rotation. Soil tillage systems utilized were no-tillage (NT) and conventional tillage (mouldboard ploughing followed by light disc harrowings – CT), under two crop rotations: fallow/rice-fallow/soybean and sunhemp/rice-millet/soybean. As a reference, soil samples were collected from a non-cultivated area nearby the field experiment. All samples were analyzed at Embrapa Soils between January and August 2000. Compared to the forest site, soil cultivation led to a decrease of 50 % in the C and N contents, under both tillage systems. Decreased C and N storages in the cultivated soils were less for ploughed soils than soils under no-tillage. The largest proportion (60-90 %) of C and N was associated with the finest soil particles, with ploughing increasing this tendency. The C content of light fractions decreased due to the replacement of the Cerrado vegetation by cropping systems. Light fraction of the soil organic matter was a sensitive indicator of changes in SOM content caused by cropping systems.

Index terms: soil organic matter, physical fractionation, tillage, crop rotation, forest soil.

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) constitui o maior reservatório de carbono da superfície terrestre. Estima-se que os estoques de carbono no solo estejam entre 1.200 e 1.500 Pg (10^{15} g), superando, assim, o estoque de C na biota (Anderson, 1995). Mudanças no ambiente do solo, decorrentes de práticas de manejo inadequadas, podem levar a um rápido declínio destes estoques, colaborando para o aumento das emissões de gás carbônico (CO_2) à atmosfera (Lal, 1997).

O estudo da matéria orgânica, em seus diversos compartimentos, bem como sua relação com o manejo, visa desenvolver estratégias para uma utilização sustentável dos solos, com vistas em reduzir o impacto das atividades agrícolas sobre o ambiente, principalmente na região do Cerrado, onde as altas temperaturas podem contribuir para um declínio acelerado dos estoques de C e N orgânicos.

O preparo convencional do solo, embora historicamente apresente relevante contribuição no controle de ervas daninhas, pode afetar, de forma acentuada, os estoques de matéria orgânica, pois promove grande degradação da estrutura do solo, levando a intensas perdas de MOS por mineralização e erosão (Castro Filho et al., 1991). O plantio direto, no entanto, pode reduzir as perdas de MOS, pelo menor revolvimento do solo e maior preservação dos resíduos vegetais em sua superfície. Muitos

trabalhos têm identificado o papel dos sistemas de plantio direto no aumento dos teores de C em relação aos sistemas de preparo convencional, principalmente nas camadas superficiais do solo (Castro Filho et al., 1998; Rheinheimer et al., 1998, Hernani et al., 1999).

A técnica do fracionamento físico no estudo da MOS tem-se mostrado promissora, uma vez que possibilita a separação de diferentes compartimentos orgânicos, cada qual respondendo, de forma distinta, às práticas de manejo (Collins et al., 1997). O fracionamento físico por densidade permite o isolamento e a quantificação dos compartimentos mais lábeis da MOS, formado principalmente por resíduos orgânicos em diferentes estádios de decomposição (Christensen, 1992; Janzen et al., 1992). O fracionamento por granulometria, no entanto, permite o estudo dos compartimentos mais humificados e tipicamente mais estáveis às mudanças no ambiente do solo, provocadas pelo manejo (Feller & Beare, 1997). Sohi et al. (2001) desenvolveram um procedimento que combina os dois tipos de fracionamento físico, capaz de extrair, seqüencialmente, na mesma amostra de solo, frações da matéria orgânica presentes entre (FLL) e dentro de microagregados (FLI) e ainda as associadas à argila, silte e areia (FP).

Este estudo teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes sistemas de preparo do solo e rotação de culturas sobre os estoques de carbono e nitrogênio

do solo e sobre a distribuição dos diferentes compartimentos da matéria orgânica de Latossolo da região do Cerrado, além de avaliar a sensibilidade de cada compartimento como um indicador de alterações nos teores de matéria orgânica do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo, amostras superficiais de solo foram coletadas de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVd), localizado no Campo Experimental da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás (GO). A precipitação anual média da região é de 1.500 mm e a temperatura média anual é de 23°C.

As características químicas e físicas do solo na área estudada encontram-se no quadro 1. O experimento foi instalado em 1995 tendo os tratamentos consistido de dois métodos de preparo do solo – (1) plantio direto (PD) e (2) preparo convencional do solo com arado de aiveca, seguido de duas gradagens leves niveladoras (PC) – combinados com dois sistemas de rotação: (1) pousio/arroz e pousio/soja (P/A – P/S) e (2) crotalária/arroz e milheto/soja (Cr/A – Mi/S).

Os tratamentos referentes ao tipo de preparo (PD e PC) foram dispuestos em faixas e em cada faixa as rotações foram distribuídas inteiramente casualizadas com três repetições, onde cada parcela media 132 m² (3,3 x 40,0 m). Antes do cultivo de arroz, as parcelas foram adubadas com 300 kg ha⁻¹ de NPK, na formulação comercial 04-30-16, e com 20 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco.

Para fins de referência, próximo à área experimental, no mesmo tipo de solo, numa área (> 200 ha) sob floresta secundária de Cerrado, amostras foram coletadas. O manejo do solo na área experimental iniciou-se após a substituição da

vegetação natural pela monocultura do arroz durante o período de 1978-81, após o qual foi cultivada com a forrageira *Andropogon gayanus* até 1989, quando foi introduzida, no sistema convencional de plantio, a monocultura de milho no verão e feijão no inverno, até à introdução, em 1995, do experimento atual.

Os solos foram amostrados em junho de 1999, durante o pousio, na rotação P/S-P/A, e, durante o cultivo de crotalária, na rotação Cr/A-Mi/S, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. Para isso, abriram-se pequenas trincheiras em cada repetição e, com o auxílio de colher de pedreiro de tamanho médio, fatias de solo correspondentes a cada profundidade foram retiradas e transferidas para sacos plásticos. Em seguida, todas as amostras foram secas a 40°C, destoroadas e passadas em peneira de 2 mm (terra fina seca ao ar – TFSA) para posterior execução das análises químicas e físicas. As análises, química e granulométrica, foram feitas segundo procedimento descrito em EMBRAPA (1997). Para a análise granulométrica utilizou-se o método do densímetro. Os teores totais de carbono e nitrogênio foram determinados por via seca, utilizando-se aparelho Perkin-Elmer CHNS/O Analyser Series II 2400 (Nelson & Sommers, 1982). Os estoques de carbono e nitrogênio (em Mg ha⁻¹) em cada camada do solo foram determinados pela expressão: teor de C ou N (g kg⁻¹) x ds x e, em que ds = densidade do solo (kg dm⁻³) e e = espessura da camada de solo (cm). A densidade do solo foi determinada com o auxílio de cilindros de 4 cm de diâmetro x 4 cm de altura.

As frações leves e pesadas da matéria orgânica foram obtidas pelo procedimento proposto por Sohi et al. (2001). Em frascos de centrífuga de 50 mL, foram adicionados 5 g de TFSA e 35 mL de Iodeto de Sódio (NaI, densidade igual a 1,80 g cm⁻³). O frasco que continha a suspensão com solo e NaI foi agitado manualmente, por 30 segundos, para permitir que as frações orgânicas não associadas aos componentes

Quadro 1. Caracterização química e física de amostras superficiais de Latossolo Vermelho-Amarelo

Sistema de cultivo ⁽¹⁾	Propriedade química ⁽²⁾									Granulometria ⁽³⁾			
	pH H ₂ O	Al ³⁺	H + Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CTC	V	P	Areia		Silte	Argila
										Grossa	Fina		
Cerrado	4,8	1,2	8,5	0,5	0,0	0,1	9,13	6,6	1	180	130	110	580
PD P/A-P/S	5,8	0,0	3,6	1,6	0,9	0,2	6,28	43,0	9	220	180	100	500
PD Cr/A-Mi/S	5,7	0,1	4,1	1,3	0,9	0,2	6,51	36,9	6	210	180	110	500
PC P/A-P/S	6,1	0,0	3,3	2,8	1,1	0,4	7,61	56,5	4	200	170	150	480
PC Cr/A-Mi/S	5,6	0,2	5,3	3,4	1,9	0,6	11,13	53,0	3	190	170	150	490

⁽¹⁾ PD: plantio direto; PC: preparo convencional; P: pousio; A: arroz; Cr: crotalária; Mi: milheto. ⁽²⁾ Determinado na camada de 0-5 cm.
⁽³⁾ Média das camadas de solo de 0-30 cm.

minerais do solo atingissem a superfície da suspensão. Em seguida, o solo mais a solução de NaI foram centrifugados a 18.000 x g, por 15 min, a fim de acelerar a deposição das partículas minerais do solo no fundo do frasco.

Após, foi feita a aspiração da fração leve livre (FLL) presente na superfície da solução de NaI. A FLL aspirada juntamente com solução de NaI foi imediatamente separada por filtração a vácuo (Sistema Asséptico Sterifil, 47mm – Millipore) com filtros de fibra de vidro (47 mm de diâmetro; 2 microns – Whatman tipo GF/A), tendo sido a solução de NaI coletada na filtragem retornada para o frasco de centrífuga com a amostra de solo remanescente. As amostras de FLL retidas nos filtros foram cuidadosamente lavadas com água destilada, visando eliminar o excesso de NaI. O conteúdo de solo restante do frasco de centrífuga, juntamente com a solução de NaI obtida com a separação da FLL, após ligeira homogeneização manual, foi sonificado por três minutos com pulsações de intervalo de um segundo, a uma energia de 400 J mL⁻¹ (Branson Sonifier 250), para a obtenção da fração leve intra-agregado (FLI), ou seja, a fração orgânica do solo não associada com partículas minerais, mas retida internamente nos agregados.

Após centrifugação, para obter a FLI, foram feitas a centrifugação, filtragem e cuidadosa lavagem com água destilada da mesma maneira descrita para a obtenção da FLL. As frações leves livres e intra-agregados obtidas foram, juntamente com os filtros, secas a 105°C, pesadas e moídas. Foram realizadas três repetições de laboratório para cada fração, sendo estas combinadas em uma única amostra, para a determinação de carbono e nitrogênio totais por via seca. A análise de carbono e nitrogênio pelo processo de combustão seca foi realizada em analisador Perkin Elmer CHNS, através da pesagem em recipientes de alumínio de mais ou menos 10 mg de solo finamente moído (Solo macerado em almofariz até à granulometria de talco), sendo a digestão dessas materiais processada em câmara de combustão fechada a 900°C. Os coeficientes de variação das análises dos teores totais de C e N no analisador CHNS foram inferiores a 3 %.

Após a extração das frações leves do material de solo, na mesma amostra, a fração organomineral (fração pesada) foi separada por granulometria, de acordo com procedimento proposto por Gavinelli et al. (1995). Adicionaram-se às amostras residuais 0,5 g de hexametafosfato (HMP) e 300 mL de água destilada, deixando-se agitar por uma noite. A matéria orgânica associada à areia (> 53 µm) foi obtida por peneiramento úmido e a associada a silte (2-53 µm) e argila (0-2 µm) foi determinada a partir da coleta de alíquotas das frações granulométricas de 0-2 µm e 0-53 µm, que foram separadas por sedimentação. Após secagem a 60°C, as frações granulométricas separadas foram pesadas e moídas,

para posterior determinação dos teores totais de carbono e nitrogênio.

Para verificar as diferenças significativas entre os teores de C e N totais e das frações da MOS nos diferentes sistemas de preparo do solo e rotação de culturas, foi realizada a análise de variância, usando-se as três repetições de campo. As análises estatísticas foram efetuadas pelo uso do 'software' estatístico Sanest (Zonta & Machado, 1980). Os dados levantados para a área de referência (Cerrado) foram excluídos da análise de variância e dos testes de médias, pelo fato de o local não compor o desenho estatístico usado para avaliar o efeito de diferentes sistemas de cultivo sobre os diversos parâmetros aqui estudados. Desse modo, as médias dos diversos atributos avaliados na área de Cerrado são apresentadas somente com seus respectivos erros-padrões das médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação à área de Cerrado, os solos cultivados apresentaram menor acidez, tendo sido notado um aumento nos teores de cátions básicos e de fósforo disponível na camada de 0-5 cm (Quadro 1), decorrente da calagem efetuada no início do experimento e das freqüentes adubações de fósforo e potássio realizadas para a condução das culturas, principalmente o arroz.

O quadro 2 contém as médias dos teores totais de C e N, da relação C/N e dos estoques de C e N, em Mg ha⁻¹, para a vegetação de Cerrado e para os diferentes sistemas de preparo de solo e rotação de culturas. Exceto para a relação C/N, na camada de 10-20 cm do solo sob PC, não houve efeito significativo do sistema de rotação de culturas para nenhuma variável analisada, indicando que a freqüência de pousio ou a maior diversificação de culturas na rotação não influenciaram significativamente o teor total de C ou N no solo.

Em relação ao Cerrado, os teores de C e N totais foram menores em todos os solos sob cultivo, quando se analisou a camada de solo de 0-5 cm (Quadro 2). Todavia, nesta profundidade de solo, nenhum tratamento (tipo de preparo, rotação de culturas e preparo x rotação) acarretou impacto significativo nos teores totais de C e N do solo (Quadro 4).

Avaliando os efeitos de tipos de preparo do solo, em condições edafoclimáticas completamente distintas das deste estudo, sobre a distribuição em profundidade da matéria orgânica de solos de três localidades no estado do Illinois, EUA, Wander et al. (1998) não observaram diferença significativa entre os teores de carbono orgânico num solo argiloso sob PD e PC, na camada de 0-5 cm, mas, sim, na de 5 a 17,5 cm. Segundo os autores, além da textura do solo e da baixa densidade do solo, as características

Quadro 2. Teores totais de C e N e relação C/N em amostras superficiais de Latossolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo e rotação de culturas^(1,2)

Camada	Sistema ⁽³⁾	C	N	C/N	Densidade do solo	C	N
cm		g kg ⁻¹			kg dm ⁻³		Mg ha ⁻¹
0-5	Cerrado	46,8 (4,5)	2,6 (0,2)	18,0	0,78	18,3 (1,8)	1,0 (0,1)
	PD P/A-P/S	21,4 (2,9) a	1,5 (0,2) a	14,3 a	1,26	13,5 (1,8) a	1,0 (0,1) a
	PD Cr/A-Mi/S	19,4 (1,3) a	1,4 (0,1) a	14,4 a	1,33	12,9 (0,8) a	0,9 (0,1) a
	PC P/A-P/S	24,2 (2,5) a	1,7 (0,2) a	14,5 a	1,13	13,7 (1,4) a	1,0 (0,1) a
	PC Cr/A-Mi/S	25,1 (2,6) a	1,7 (0,1) a	14,5 a	1,30	16,2 (1,7) a	1,1 (0,1) a
5-10	Cerrado	32,8 (2,8)	1,8 (0,1)	18,4	0,87	14,3 (1,2)	0,8 (0,1)
	PD P/A-P/S	19,2 (2,9) a	1,1 (0,1) b	17,8 a	1,27	12,2 (1,8) a	0,7 (0,1) b
	PD Cr/A-Mi/S	16,9 (0,9) a	1,0 (0,1) b	16,6 a	1,27	10,7 (0,6) a	0,6 (0,0) b
	PC P/A-P/S	22,4 (2,2) a	1,5 (0,2) a	15,2 b	1,27	14,2 (1,4) a	0,9 (0,1) a
	PC Cr/A-Mi/S	22,4 (2,7) a	1,5 (0,2) a	14,7 b	1,33	15,5 (1,8) a	1,0 (0,2) a
10-20	Cerrado	24,8 (2,7)	1,4 (0,2)	17,3	1,02	12,7 (1,4)	0,7 (0,1)
	PD P/A-P/S	18,3 (2,7) b	1,2 (0,2) b	15,9 a	1,18	10,8 (1,6) b	0,7 (0,1) b
	PD Cr/A-Mi/S	14,6 (0,7) b	1,0 (0,0) b	15,0 a	1,21	8,8 (0,4) b	0,6 (0,0) b
	PC P/A-P/S	21,4 (1,8) a	1,4 (0,2) a	14,9 b	1,27	13,6 (1,1) a	0,9 (0,1) a
	PC Cr/A-Mi/S	21,6 (2,4) a	1,6 (0,2) a	13,3 c	1,45	15,7 (1,7) a	1,2 (0,2) a
20-30	Cerrado	14,6 (0,8)	0,9 (0,0)	15,8	1,00	7,3 (0,4)	0,5 (0,0)
	PD P/A-P/S	16,9 (2,8) a	1,0 (0,2) a	16,6 a	1,27	10,8 (1,8) a	0,7 (0,1) a
	PD Cr/A-Mi/S	11,9 (1,8) a	0,7 (0,1) a	17,5 a	1,30	7,7 (1,2) a	0,4 (0,1) a
	PC P/A-P/S	18,4 (3,3) a	1,1 (0,2) a	16,3 a	1,33	12,3 (2,2) a	0,8 (0,2) a
	PC Cr/A-Mi/S	20,3 (2,2) a	1,2 (0,2) a	16,5 a	1,27	12,9 (1,4) a	0,8 (0,1) a
0-30	Cerrado					52,6 (7,2)	2,9 (0,3)
	PD P/A-P/S					47,3 (12,2) b	3,0 (0,8) b
	PD Cr/A-Mi/S					40,2 (4,7) b	2,5 (0,3) b
	PC P/A-P/S					53,8 (10,2) a	3,6 (0,8) a
	PC Cr/A-Mi/S					60,4 (11,2) a	4,1 (0,9) a

⁽¹⁾ Valores entre parênteses referem-se ao erro-padrão da média ($n = 3$). ⁽²⁾ Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, dentro de cada camada de solo, não diferem entre si pelo teste F. ⁽³⁾ PD: plantio direto; PC: preparo convencional; A: arroz; Cr: crotalária; Mi: milheto, P: pousio; S: soja.

climáticas e a porosidade do solo podem ter contribuído para os efeitos diferenciados dos tipos de preparo do solo na distribuição em profundidade da matéria orgânica dos solos das três localidades.

Tanto nos solos sob Cerrado, como nos cultivados, houve uma tendência geral de diminuição nos teores de C e N totais com o aumento da profundidade do solo. No solo sob Cerrado, a diminuição dos teores de C e N totais em profundidade deveu-se ao fato de a maior parte dos resíduos orgânicos ficarem depositados na superfície do solo, aumentando, assim, o acúmulo de matéria orgânica em superfície. Isto ocorreu também nos solos cultivados, mas os contrastes entre as camadas de 0-5 cm e 5-10 cm foram menores que no solo sob Cerrado.

Além disso, outros fatores também influenciaram a distribuição da matéria orgânica do solo em profundidade (por exemplo, tipo de preparo do solo, rotação de culturas). A diminuição no teor de matéria orgânica do solo sido observada por outros

autores (Silva et al., 1994). Os teores de N orgânico do solo seguiram tendência similar à observada para os teores de carbono orgânico, todavia, a discussão limitar-se-á aos resultados obtidos para C orgânico.

Os teores de C e N nos solos sob PD não foram maiores do que os observados em área sob PC nas camadas analisadas. É importante observar que, na camada de 0-30 cm, os estoques de carbono orgânico dos solos sob PD também não foram maiores que dos solos sob PC. No quadro 4, pode-se verificar que, dentre os três efeitos considerados (preparo do solo, rotação de culturas e preparo x rotação), somente o preparo do solo teve impacto significativo nos estoques de carbono mas seu efeito ficou limitado apenas à camada de 10-20 cm, ou seja, às camadas de aração e imediatamente inferior ao 'pé-de-arado'. Também, somente na camada de 10-20 cm, verificou-se que os teores e estoques de carbono dos solos sob PC foram, significativamente, maiores que sob PD. Um Alfissolo sob PC na Nigéria Ocidental também

apresentou estoque de carbono na profundidade abaixo de 15 cm superior ao mesmo tipo de solo sob PD (Lal, 1997).

Vários autores já demonstraram que a concentração de matéria orgânica do solo nas camadas abaixo da profundidade de aração podem ser maiores que nas camadas de solos sob PD (Ismail et al., 1994; Haynes & Beare, 1996). Balesdent et al. (2000) alertaram para o fato de o arado de aiveca incorporar resíduos em profundidade e ser a MOS translocada para profundidades abaixo do pé-de-arado. Na camada de 0-30 cm, o estoque de C na área sob Cerrado foi de 52,6 Mg ha⁻¹ de C, ao passo que o estoque de C encontrado no solo sob PD foi de 40,2 a 47,3 Mg ha⁻¹ de C. Em comparação com a área sob PD, o solo sob PC apresentou estoque de C significativamente superior (53,8 a 60,4 Mg ha⁻¹ de C).

Num estudo realizado em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (510 g kg⁻¹ de argila no solo), da região Centro-Sul de Goiás, Freitas et al. (2000) encontraram resultados similares aos aqui descritos, tendo em vista que esses autores verificaram que, na camada de 0-40 cm, o solo sob cultura de feijão irrigado em PC (quatro anos de grade pesada ou aradora com profundidade de operação a 15 cm, seguida de dupla gradagem niveladora) apresentou 84,4 Mg ha⁻¹ de C, o solo sob milho em PD (quatro anos de condução) apresentou 82,5 Mg ha⁻¹ de C e o solo sob Cerrado apresentou 81,9 Mg ha⁻¹ de C.

Estes resultados não concordam com os apresentados por Corazza et al. (1999) e Bayer & Bertol (1999). Corazza et al. (1999) observaram maior capacidade de acumulação de C e N num Latossolo Vermelho-Escuro sob PD, na camada de 0-100 cm, em área no Distrito Federal com condições climáticas idênticas às descritas neste estudo, mas com 19 anos sob PD e PC (preparo com arado de discos). Já Bayer & Bertol (1999) constataram maior incremento de C e N no solo sob nove anos de cultivo em PD comparado com PC (uma aração de discos seguida de duas gradagens niveladoras), mas a uma profundidade de 0-20 cm de um Cambissolo Húmico do município de Lages (SC).

A comparação de resultados de acumulação de carbono orgânico em solos sob diferentes usos e manejos deve ser feita, considerando, além do tempo de adoção de determinado tipo de preparo do solo e rotação de culturas, a textura do solo e fatores climáticos locais (Paustian et al., 1995), assim como a quantidade, característica e forma de adição de resíduos no solo (Wander et al., 1998).

Scholes et al. (1997) demonstraram, por meio de modelos de simulação da dinâmica da matéria orgânica do solo, que as perdas da matéria orgânica nos solos cultivados mostram-se também condicionadas pela vegetação original do solo.

Neste estudo, antes da instalação do experimento, o solo fora cultivado por oito anos com a forrageira *Andropogon gayanus*. Segundo Fisher et al. (1994), a forrageira *Andropogon gayanus* tem grande capacidade de enraizamento em profundidade. Investigando um Oxissolo (textura argilosa) de Savana da Colômbia com 186,2 Mg ha⁻¹ de C, eles constataram, na mesma profundidade (0-100 cm), após três anos sob forrageira *Andropogon gayanus*, 237,2 Mg ha⁻¹ de C, ou seja, uma diferença superior a, aproximadamente, 50 Mg ha⁻¹ de C. No presente estudo, o carbono orgânico oriundo de vários anos sob forrageira, associado ao curto tempo de condução do sistema em PD, poderia explicar a capacidade deste sistema em não superar o acúmulo de C apresentado pelo solo sob PC. Desjardins et al. (1991) também observaram, em solos do Cerrado, o efeito da herança de carbono orgânico 'antigo' em cultivos recentes.

A relação C/N do solo variou de 13,3 a 18 (Quadro 2), estando de acordo com os dados apresentados por Freitas et al. (2000), em um Latossolo Vermelho-Escuro. Os valores altos de relação C/N dos solos de Cerrado podem ser devidos a seu alto teor de alumínio e baixo valor de pH (Quadro 1), que tendem a reduzir a degradação do C. As diferenças observadas nestes valores são atribuídas aos sistemas de preparo do solo. Na camada de 0-5 cm do solo, não foram observadas diferenças significativas entre PD e PC, porém notou-se, em ambos os sistemas, uma redução deste valor em relação ao Cerrado. Tal resultado está de acordo com o descrito por Duxbury et al. (1989), que relataram maior preservação de C em áreas sob vegetação natural, em relação a solos cultivados. Todavia, nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, a relação C/N em PD foi maior do que em PC, atingindo valor mais próximo ao encontrado no Cerrado, notadamente de 5-10 cm, o que mostra ser este sistema menos perturbado e favorecer menor perda de C em relação a N.

No quadro 3, são apresentados os teores de C das frações leves e pesadas da matéria orgânica do solo. A recuperação do carbono orgânico pelo fracionamento foi de aproximadamente 90 % do total encontrado do solo, refletindo, assim, o adequado desempenho do procedimento, apesar de intensa manipulação da amostra durante a análise. As frações mais lábeis da MOS (frações leves) representaram pequena percentagem do C total, enquanto a fração pesada, mais humificada, contribuiu com mais de 70 % da MOS (Quadro 3). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Christensen (1992), Stevenson (1994) e Feller & Beare (1997).

O teor de C da fração leve livre sofreu grande redução em decorrência do cultivo, principalmente na camada superficial do solo (Quadro 4). Em relação ao solo sob Cerrado, que apresentou 46,8 g kg⁻¹ de C

Quadro 3. Teores de carbono (g kg^{-1} solo) e relação C/N nas frações orgânicas de amostras superficiais de Latossolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de cultivo⁽¹⁾

Profundidade (cm)	Fração ⁽²⁾	Plantio direto						Preparo convencional					
		Cerrado		P/A-P/S		Cr/A-Mi/S ⁽³⁾		P/A-P/S		Cr/A-Mi/S ⁽³⁾			
		C	C/N	C	C/N	C	C/N	C	C/N	C	C/N	C	C/N
0-5	FLL	8,6 (1,8)	24,9	1,4 (0,2)	20,5	0,9 (0,1)	16,7	1,4 (0,2)	22,1	1,3 (0,1)	20,4		
	FLI	0,8 (0,2)	20,5	0,7 (0,1)	19,5	0,2 (0,0)	17,8	0,2 (0,0)	18,5	0,2 (0,0)	16,9		
	Areia	1,3 (0,2)	15,3	0,7 (0,0)	15,5	0,6 (0,0)	17,1	1,1 (0,0)	17,4	1,1 (0,0)	16,3		
	Silte	13,9 (1,2)	13,8	7,8 (0,4)	13,5	7,7 (0,2)	13,4	9,8 (0,7)	13,6	10,4 (0,6)	13,3		
	Argila	13,2 (1,6)	11,4	9,0 (0,7)	11,9	9,0 (0,4)	12,0	9,1 (0,1)	12,2	8,9 (0,6)	11,8		
Recuperação (%) ⁽⁴⁾		81,5		93,9		96,0		90,8		88,2			
5-10	FLL	1,0 (0,4)	25,5	0,7 (0,1)	25,0	0,4 (0,0)	22,8	0,8 (0,1)	25,0	0,7 (0,1)	24,4		
	FLI	0,3 (0,1)	22,5	0,2 (0,0)	22,1	0,1 (0,0)	24,4	0,2 (0,0)	24,6	0,2 (0,0)	22,5		
	Areia	1,2 (0,2)	15,9	0,6 (0,0)	14,8	0,4 (0,0)	14,0	0,8 (0,0)	15,9	0,7 (0,0)	15,4		
	Silte	10,6 (1,3)	13,8	6,7 (0,4)	13,1	4,9 (0,4)	12,7	9,2 (0,5)	13,8	9,6 (0,6)	13,5		
	Argila	10,0 (1,2)	12,4	8,3 (0,6)	12,9	8,8 (0,4)	11,7	9,2 (0,1)	12,3	8,0 (0,4)	12,7		
Recuperação (%)		75,9		90,2		88,5		90,6		84,4			
10-20	FLL	1,0 (0,1)	22,0	0,7 (0,1)	25,9	0,4 (0,0)	28,6	0,8 (0,1)	27,9	0,7 (0,1)	27,9		
	FLI	0,3 (0,0)	32,0	0,2 (0,0)	30,0	0,1 (0,0)	30,0	0,2 (0,0)	24,4	0,2 (0,0)	27,1		
	Areia	0,5 (0,1)	14,5	0,5 (0,0)	14,2	0,4 (0,0)	14,4	0,6 (0,0)	15,2	0,7 (0,0)	15,4		
	Silte	10,4 (0,7)	13,5	7,4 (0,4)	14,0	5,7 (0,5)	13,3	10,0 (0,8)	14,1	9,8 (0,5)	13,2		
	Argila	9,6 (0,4)	12,4	8,4 (0,8)	12,6	7,3 (0,6)	12,3	8,5 (0,3)	13,7	8,7 (0,6)	13,4		
Recuperação (%)		90,1		97,9		95,4		94,6		95,0			

⁽¹⁾ Valores entre parênteses referem-se ao erro-padrão da média ($n = 3$). ⁽²⁾ FLL: fração leve livre; FLI: fração leve intra-agregado; areia, silte e argila: matéria orgânica associada a areia, silte e argila. ⁽³⁾ A: arroz; Cr: crotalária; Mi: milheto; P: pousio; S: soja.

⁽⁴⁾ Relação entre o teor de C orgânico total da amostra de solo e a soma do C orgânico determinado em cada fração.

na camada de 0-5 cm, a diminuição da concentração de C orgânico do solo sob PC foi de 48 a 46 % e sob PD foi de 54 a 58 %. Por outro lado, a diminuição de C da FLL na profundidade de 0-5 cm foi de 83 a 84 %, para solo sob PC, e de 84 a 89 %, para solo sob PD. Nesta camada, os efeitos do preparo do solo, a rotação de culturas e a interação preparo x rotação foram significativos para o carbono orgânico da FLI, fração areia (preparo do solo) e fração silte (preparo do solo e interação preparo x rotação) (Quadro 4).

O declínio mais acentuado do carbono orgânico das frações leves deveu-se, provavelmente, à labilidade destas frações e à grande redução dos aportes de resíduos vegetais nos sistemas agrícolas, fatores que contribuíram para redução nos estoques de MOS (Janzen et al., 1992; Camardella & Elliott, 1994; Wander & Traina, 1996). A fração leve livre mostrou-se mais sensível aos efeitos do cultivo do solo, quando comparada aos teores totais de C, podendo ser considerada como um indicador precoce do declínio nos níveis de MOS.

Apesar de o impacto da interação preparo do solo x rotação de cultura não ter sido significativo no teor de C das FLL do solo nas camadas de 0-5 e 5-10 cm

(Quadro 4), o tratamento PD Cr/A-Mi/S apresentou os menores teores de C nestas frações (Quadro 3). Este resultado contrasta-se com o observado por Biederbeck et al. (1994), que verificaram que os principais efeitos do manejo do solo são encontrados em superfície (0-10 cm).

Na camada de 10-20 cm de solo, os valores de C da FLL nos sistemas PC foram maiores do que em PD, em decorrência da incorporação dos resíduos vegetais. O efeito do preparo do solo e da rotação de cultura foi significativo somente nesta profundidade (Quadro 4). Além disto, esta foi a única camada onde o efeito do preparo do solo foi significativo para a maioria das medições realizadas. Observaram-se, ainda, nessa profundidade de 10-20 cm, maiores teores de C das FLL para a rotação que envolveu o pousio (P/A-P/S).

Apesar de as rotações com pousio serem freqüentemente relatadas como atividades que degradam as frações lábeis da MOS em solos temperados (Janzen et al., 1992; Biederbeck et al., 1994), em condições tropicais, nas quais foi realizado o estudo, o pousio elevou significativamente os níveis destas frações no solo à profundidade de 10-20 cm

Quadro 4. Análise de variância (valores de F) para os diferentes efeitos nos teores e estoques de carbono orgânico do solo e de carbono orgânico das frações leve (< 1,8 g cm⁻³) e pesada (> 1,8 g cm⁻³) a diferentes profundidades de um Latossolo Amarelo

Causa da variação	C	N	C	C da FLL⁽¹⁾	C da FLI⁽²⁾	C da fração		
						Areia	Silte	Argila
0-5 cm								
Preparo do solo	2,97ns	2,80ns	1,38ns	1,22ns	22,9**	179,44**	45,38*	6,28ns
Rotação de cultura	0,05ns	0,06ns	0,42ns	3,97ns	20,50**	0,01ns	0,54ns	1,88ns
Preparo x rotação	0,37ns	0,43ns	1,12ns	1,26ns	18,11**	1,53ns	12,91**	0,67ns
5-10 cm								
Preparo do solo	4,40ns	7,29*	5,13ns	2,54ns	0,61ns	1,29ns	5,55ns	8,11ns
Rotação de cultura	0,07ns	0,00ns	0,00ns	4,34ns	3,82ns	2,77ns	0,26ns	0,30ns
Preparo x rotação	0,49ns	0,16ns	0,88ns	0,04ns	0,40ns	0,04ns	5,79ns	1,95ns
10-20 cm								
Preparo do solo	6,12*	8,50*	13,27**	7,91*	5,04ns	85,75*	58,23*	192,86**
Rotação de cultura	0,76ns	0,00ns	0,00ns	10,90*	4,48ns	1,60ns	6,14ns	2,77ns
Preparo x rotação	0,95ns	1,31ns	2,40ns	1,32ns	0,24ns	2,34ns	0,00ns	0,59ns
20-30 cm								
Preparo do solo	3,70ns	3,67ns	3,99ns	24,33**	10,31*	ND ⁽³⁾	ND	ND
Rotação de cultura	0,37	0,45ns	0,53ns	4,12ns	6,40*	ND	ND	ND
Preparo x rotação	1,77ns	1,55ns	1,18ns	0,46ns	7,19*	ND	ND	ND

⁽¹⁾ FLL: fração leve e livre. ⁽²⁾ FLI: fração leve intra-agregado. ⁽³⁾ ND: não determinado. *, ** e ns Significativos a 5 e 1 % e não-significativo, respectivamente.

(Quadros 3 e 4). Nesta profundidade, o impacto do efeito rotação de cultura foi levemente maior que o impacto do tipo de preparo do solo ($F = 10,9$; $P < 5\%$ e $F = 7,91$; $P < 5\%$ para rotação de cultura e preparo do solo, respectivamente). Tal fato deveu-se provavelmente à ausência de revolvimento com o arado, após colheita de verão e subsequente pousio em sistemas PC, e à contribuição dos aportes de gramíneas e outras plantas nativas que crescem sobre o solo descoberto, durante o período de pousio.

O teor de C da fração leve intra-agregado, na camada de 0-5 cm, apresentou valores semelhantes em solo sob vegetação de Cerrado e sob PD e inferiores sob sistemas PC. Esta fração lável, confinada no interior de agregados, mostrou-se mais protegida do ataque de microrganismos, se comparada à fração leve livre. À medida que os agregados eram destruídos, esta matéria orgânica lável era rapidamente mineralizada, o que explica a redução desta fração em sistemas PC (Beare et al., 1994).

A fração pesada da MOS contribuiu com cerca de 70-80 % do carbono total em solo sob Cerrado. Esta contribuição foi ainda maior em solos cultivados, passando a representar mais de 90 % da MOS.

Semelhante constatação foi relatada por Tiessen & Stewart (1983) em solos dos EUA. Além disto, estes resultados comprovaram a maior estabilidade da fração pesada, preservada nos agroecossistemas (Hassink & Whitmore, 1997). Os teores de C da MOS, associados aos de areia e silte, foram superiores em solos sob plantio convencional, para todas as camadas de solo (Quadro 3). O efeito do preparo do solo no carbono orgânico associado à areia e ao silte foi significativo nas camadas de 0-5 e 10-20 cm e o efeito da interação preparo do solo x rotação foi significativo para o carbono orgânico da fração silte na camada de 0-5 cm. A matéria orgânica associada a argila, contudo, sofreu influência significativa apenas do preparo do solo na camada de 10-20 cm (Quadro 4), indicando menor sensibilidade ao manejo.

Os valores obtidos para a relação C/N da FLL foram bastante variáveis (valores entre 16 e 30) e superiores aos obtidos para o solo (Quadros 2 e 3). Na camada superficial (0-5 cm), os valores no solo sob Cerrado superaram os dos sistemas de cultivo, indicando maior aporte de resíduos orgânicos frescos e, ou, uma menor atividade degradadora, dadas as características químicas deste solo (Quadro 1). O preparo do solo foi o único fator que teve impacto

significativo na relação C/N da FLL nas camadas de 0-5 cm ($F = 21,93$; $P < 5\%$) e 5-10 cm ($F = 27,09$; $P < 5\%$). Na camada de 10-20 cm, nenhum tratamento teve impacto significativo na relação C/N (dados não apresentados). A relação C/N da fração leve intra-agregado atingiu valores semelhantes àqueles obtidos para a fração leve livre, mas com variação ligeiramente maior. Na FLI, a interação preparo do solo x rotação na profundidade de 5-10 cm apresentou impacto significativo na relação C/N ($F = 39,0$; $P < 1\%$) somente na camada de 5-10 cm.

A relação C/N das frações pesadas foi menor que a das frações leves e tendeu a diminuir com a redução do tamanho da partícula mineral associada, conforme observado por Christensen (1992), Schulten et al. (1993) e Feller & Beare (1997).

CONCLUSÕES

1. Os estoques de carbono e nitrogênio não foram superiores em solos sob plantio direto, em relação às áreas com revolvimento do solo.

2. A rotação que envolveu pousio mostrou-se eficaz em aumentar a biodisponibilidade da MOS, pois apresentou os maiores teores de C nas frações leves livres e intra-agregados.

3. O carbono na forma de fração pesada representou mais de 80 % da matéria orgânica em solos cultivados, sendo pouco modificado pelas práticas de manejo adotadas nos diferentes sistemas de cultivo estudados.

4. A fração leve livre constituiu o compartimento orgânico mais sensível à degradação do solo pelo cultivo, podendo ser utilizada como um indicador precoce do declínio da matéria orgânica do solo.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pelo apoio financeiro, e à professora Lúcia Helena dos Anjos, pelas valiosas sugestões na redação deste trabalho.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, D.W. Decomposition of organic matter and carbon emissions from soils. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. & STEWART, B.A., eds. Soils and global change. Boca Raton, CRC Press, 1995. p.165-175.
- BALESIDENT, J.; CHENU, C. & BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.*, 53:215-230, 2000.
- BAYER, C. & BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:485-752, 1999.
- BEARE, M.H.; CABRERA, M.L.; HENDRIX, P.F. & COLEMAN, D.C. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:787-795, 1994.
- BIEDERBECK, V.O.; JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A. & ZENTNER, R.P. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment. *Soil Biol. Biochem.*, 26:1647-1656, 1994.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:123-130, 1994.
- CASTRO FILHO, C.; VIEIRA, M.J. & CASÃO Jr., R. Tillage methods and soil and water conservation in southern Brazil. *Soil Till. Res.*, 20:271-283, 1991.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:527-538, 1998.
- CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.*, 20:1-90, 1992.
- COLLINS, H.P.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. & ELLIOTT, E.T. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: PAUL, E.A.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K. & COLE, C.V., eds. Soil organic matter in temperate agroecosystems: long-term experiments in North America. Boca Raton, CRC Press, 1997. p.51-72.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:425-432, 1999.
- DESJARDINS, T.; ANDREAUX, F.; VOLKOFF, B. & CERRI, C. Distribution de l'isotope ^{13}C dans des sols ferrallitiques du Brésil. *Cah. Orstom, Sér. Pedol.*, 26:343-348, 1991.
- DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S. & DORAN, J.W. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C. Dynamics of soil organic matter in the tropics. Honolulu, University of Hawai Press, 1989. p.33-67.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise do solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FELLER, C. & BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, 79:69-116, 1997.
- FISHER, M.J.; RAO, I.M.; AYARZA, M.A.; LASCANO, C.E.; SANZ, J.I.; THOMAS, R.J. & VERA, R.R. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature*, 371:236-238, 1994.

- FREITAS, P.L.; BLANCANEAX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M.C. & FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:157-170, 2000.
- GAVINELLI, E.; FELLER, C.; LARRÉ-LARROUY, M.C. & BACYE, B. A routine method to study soil organic matter by particle-size fractionation: examples for tropical soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 26:1749-1760, 1995.
- HASSINK, J. & WHITMORE, A.P. A model of the physical protection of organic matter in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:131-139, 1997.
- HAYNES, R.L. & BEARE, M.H. Aggregation and organic matter storage in meso-thermal, humid-soils. In: CARTER, M.R. & STEWART, B.A., eds. *Structure and organic matter in agricultural soils. Advances in Soil Science*. Boca Raton, Lewis-CRC Press, 1996. p.213-263.
- HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H. & SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:145-154, 1999.
- ISMAIL, I.; BLEVINS, R.L. & FRYE, W.W. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:193-198, 1994.
- JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; BRANDT, S.A.; LAFOND, G.P. & TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:1799-1806, 1992.
- LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil Till. Res.*, 43:81-107, 1997.
- NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: PAGE, A.L., MILLER, R.H. & KEENEY, D.R., eds. *Methods of soil analysis* 2.ed. Madison, American Society of Agronomy Inc., Soil Science Society of America, 1982. p.539-579.
- PAUSTIAN, K.; COLLINS, H.P. & PAUL, E.A. Management controls on soil carbon. In: PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T. & COLE, C.V., eds. *Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America*. Boca Raton, CRC Press, 1995. p.15-49.
- RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G.C. & SANTOS, E.J.S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:713-721, 1998.
- SCHULTEN, H.R.; LEINWEBER, P. & SORGE, C. Composition of organic matter in particle-size fractions of an agricultural soil. *J. Soil Sci.*, 44:677-691, 1993.
- SCHOLES, M.C.; POWLSON, D.; TIAN, G. Input control of organic matter dynamics. *Geoderma*, 79:25-47, 1997.
- SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:541-547, 1994.
- SOHI, S.; MAHIEU, N.; ARAH, J.R.M.; POWLSON, D.S.P.; MADARI, B. & GAUNT, J.L. procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modelling. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2001. (in press)
- STEVENSON, F.J. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1994. 496p.
- TIESSEN, H. & STEWART, J.W.B. Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter . II. Cultivation effects on organic matter composition in size fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47:509-514, 1983.
- WANDER, M.M. & TRAINA, S.J. Organic matter fractions from organically and conventionally managed soils: I. Carbon and nitrogen distribution. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:1081-1087, 1996.
- WANDER, M.M.; BIDART, M.G. & AREF, S. Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three Illinois soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:1704-1711, 1998.
- ZONTA, E.P. & MACHADO, A.A. SANEST – Sistema de Análise Estatística. São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1980. (Software)