

Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo

Cristiane Pereira de Assis⁽¹⁾, Ivo Jucksch⁽¹⁾, Eduardo de Sá Mendonça⁽¹⁾ e Júlio César Lima Neves⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade Federal de Viçosa, Dep. de Solos, CEP 36570-000 Viçosa, MG. E-mail: cpdeassis@yahoo.com.br, ivo@ufv.br, esm@ufv.br, julio@ufv.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar as mudanças ocorridas nas formas de carbono (C) e nitrogênio (N), em agregados de um Latossolo Vermelho de textura média, submetido a diferentes sistemas de uso e manejo do solo, em Capinópolis, MG. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0–5, 5–10 e 10–20 cm. Os tratamentos foram: plantio direto por quatro anos, sucessões milho (silagem)/soja (PDs); plantio direto por quatro anos, sucessões milho/milho/milho/soja (PDg); plantio direto com tifton (feno) por três anos e soja no último ano (PDtf); sistema de cultivo convencional (SC) por 30 anos, com soja nos últimos quatro anos; e mata nativa (MN). Foram estudadas três classes de agregados (4–2; 2–0,25 e 0,25–0,105 mm), nas quais foram extraídas frações húmicas (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas). Os maiores teores de substâncias húmicas estavam associados aos agregados maiores. Houve redução nos teores de C e N com a diminuição no tamanho dos agregados. A matéria orgânica menos humificada estava associada com os agregados menores. Os sistemas de uso e manejo propiciam mudanças nos teores de C e N, nas diferentes classes de tamanho dos agregados, e o cultivo do solo reduz os teores de C e N das frações húmicas.

Termos para indexação: estrutura do solo, substâncias húmicas, cultivo, soja, milho.

Carbon and nitrogen in aggregates of an Oxisol submitted to different use and management systems

Abstract – The objective of this work was to evaluate the changes occurred in the forms of carbon (C) and nitrogen (N), in aggregates of an Oxisol with loam texture, submitted to different uses and managements, in Capinópolis, MG, Brazil. Soil samples were collected in the different layers 0–5, 5–10 and 10–20 cm. The treatments were: no-tillage, during four years, succession corn (ensilage)/soybean (PDs); no-tillage during four years, succession corn/corn/corn/soybean (PDg); no-tillage with tifton (hay) for three years and soybean in the last year (PDtf); conventional tillage system for 30 years with crop system (corn/soybean), being soybean in the last four years (SC); and native forest (MN). Three aggregate classes (4–2; 2–0.25 e 0.25–0.105 mm) were studied, from which humic fractions were extracted (fulvic acids, humic acids and humins). The largest contents of humic substances were associated with the larger aggregates. There was decrease of C and N contents with decrease in the size of aggregates classes. The less recalcitrant organic matter was associated with the smaller aggregates. The use and management systems cause changes in the C and N contents in the different classes of aggregate sizes, and the soil cultivation reduces the C and N contents of the humic fractions.

Index terms: soil structure, humic substances, tillage, soybean, corn.

Introdução

O uso intensivo e o manejo inadequado do solo podem propiciar perdas consideráveis de matéria orgânica do solo, por mineralização e erosão hídrica. A manutenção ou recuperação dos teores iniciais da matéria orgânica do solo depende do tipo, da quantidade e da qualidade do material orgânico

adicionado à superfície, da sequência de culturas adotada, do sistema de manejo do solo e do tempo de adoção dos sistemas de manejo (Mengel, 1996).

A agregação do solo resulta de um arranjo das partículas, decorrente de processos de floculação e cimentação (Duiker et al., 2003). Com relação ao tamanho, os agregados podem ser divididos em macroagregados (>250 µm) e microagregados

(<250 μm) (Tisdall & Oades, 1982). Os macroagregados são menos estáveis que os microagregados (Cambardella & Elliot, 1993) e, portanto, mais susceptíveis à quebra em consequência do cultivo do solo. A divisão dos agregados em classes de tamanho está baseada em propriedades tais como ligantes e relação carbono/nitrogênio (C/N) no solo (Bronick & Lal, 2005).

Castro Filho et al. (2002), ao trabalhar com Latossolos argilosos cultivados com trigo, milho e soja, no Estado do Paraná, mostraram que a distribuição de tamanho dos agregados pode ser uma boa indicadora da qualidade física do solo. Sistemas de preparo conservacionistas do solo favorecem a estabilidade dos agregados, assim como o aumento do teor da matéria orgânica do solo (Studdert & Echeverria, 2000).

Muitos estudos têm demonstrado que o uso de sistemas de manejo, com pouco ou nenhum revolvimento do solo, favorecem o incremento da matéria orgânica, assim como a estruturação do solo (Kern & Johnson, 1993; Bayer & Bertol, 1999). Em estudo realizado em Latossolo Vermelho distrófico, para avaliar diferentes usos e manejos, Pinheiro et al. (2004) demonstraram que a quebra dos agregados pelo cultivo e a consequente diminuição da concentração de C serviam como indicadores da erosão hídrica no solo.

As mudanças ocorridas no solo, decorrentes de sistemas de manejo inadequados, podem reduzir rapidamente os estoques de C (Janzen et al., 1998; Corazza et al., 1999) e contribuir com o aumento das emissões de gás carbônico (CO_2) à atmosfera. Assim, o sequestro de C no solo tem importante papel ambiental, uma vez que os ambientes terrestres vêm sendo apontados como alternativas mitigadoras das mudanças climáticas, discutidas em foros internacionais como o Protocolo de Kyoto. De acordo com Bronick & Lal (2005), sistemas de manejo que reduzem a taxa de decomposição de resíduos vegetais diminuem as emissões de CO_2 e ocasionam aumento no estoque de C no solo.

O conteúdo de N nas frações humificadas do solo é de extrema importância, pois esse elemento é indispensável no crescimento e desenvolvimento das plantas. As frações humificadas que apresentam maiores teores de N são mais susceptíveis à biodegradação, podendo, assim, ser fonte desse

elemento para as plantas. Entre os compostos orgânicos nitrogenados, identificados em maior proporção no solo, encontram-se os aminoácidos e os açúcares aaminados. Entretanto, somente 40 a 50% do N orgânico nos solos podem ser identificados como componentes com classes químicas definidas (Duxbury et al., 1989). Além dessas formas, uma porção significativa do N do solo ocorre como componente estrutural dos ácidos húmicos (Schulten & Schnitzer, 1997).

Com o objetivo de aprimorar o conhecimento sobre o comportamento das formas de C e de N, em agregados do solo, estabeleceu-se a hipótese de que os conteúdos destes elementos nos agregados são alterados pelo uso e manejo. Assim, o objetivo específico do trabalho foi quantificar e avaliar as mudanças nas formas de C e N, em agregados de amostras de um Latossolo Vermelho, submetido a diferentes usos e manejos, em Capinópolis, MG.

Material e Métodos

Foram selecionadas quatro áreas sob diferentes usos e manejos, pertencentes à Central de Experimentação de Pesquisa e Extensão do Triângulo Mineiro/Universidade Federal de Viçosa (Cepet/UFV), e uma área adjacente com sistema convencional de preparo do solo, pertencente a um produtor. A região de estudo está situada a $16^{\circ}68'S$ e $46^{\circ}57'W$, com 621,5 m de altitude. O clima da região é Aw, segundo Köppen, caracterizado por inverno seco e verão quente e úmido. A temperatura média anual é de aproximadamente 23°C , com precipitação média anual de 1.300 mm (medidos de 1992 a 2002). O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho, textura franco-argilo-arenosa, relevo suave ondulado, e vegetação nativa fase floresta subcaducifólia. O uso e o manejo do solo das áreas amostradas, que representam os tratamentos, estão descritos na Tabela 1.

As áreas dos tratamentos PDs (plantio direto silagem), PDg (plantio direto grão) e PDtf (plantio direto tifton – *Cynodon dactylon*) não sofreram revolvimento do solo a partir de 1998. Nos anos anteriores, durante aproximadamente 30 anos, essas áreas foram manejadas com o sistema convencional (com uma aração e duas gradagens de nivelamento), com cultivos alternados de milho (*Zea mays*) e soja

(*Glycine max*). A área cultivada com sistema convencional sempre foi preparada com uma aração e três gradagens de nivelamento e, nos últimos dois anos, o arado foi substituído pela grade aradora. A mata nativa (MN) foi considerada como testemunha.

A amostragem do solo foi realizada entre os dias 14 e 16 de agosto, final da época seca, do ano de 2002. Cada área que representou um determinado tratamento foi dividida em quatro quadrantes de 0,5 ha, nos quais foram feitas amostragens em três camadas de solo (0–5; 5–10 e 10–20 cm). Para cada camada, foram coletadas cinco amostras simples, para compor uma amostra composta. A coleta foi feita com auxílio de pá-de-corte de pedreiro, sem destruição dos torrões, que foram acondicionados em sacos de plástico e, posteriormente, secados ao ar. Após a coleta, as amostras foram passadas em peneiras de 4 e 2 mm, e os agregados retidos na menor peneira foram separados por tamisamento via úmida, conforme descrito por Wendling et al. (2005), e distribuídos nas seguintes classes de tamanho: 4–2; 2–1; 1–0,5; 0,5–0,25; 0,25–0,105 e menor que 0,105 mm. A partir dessas classes, foram obtidos os intervalos de agregados utilizados para este trabalho: 4–2 (macroagregados maiores), 2–0,25 (macroagregados menores) e 0,25–0,105 mm (microagregados).

As características físicas e químicas e, também, o estoque de C e N do solo estão apresentados na Tabela 2.

O fracionamento químico das substâncias húmicas foi realizado com base nas características de solubilidade diferencial, tendo-se obtido como produtos as seguintes frações: ácidos fúlvicos

(FAF) solúveis em ácido e em álcali; ácidos húmicos (FAH) solúveis em álcali e insolúveis em ácido; e huminas (FHN) insolúveis em ácido e em álcali (Schnitzer, 1982). A determinação do C orgânico das FAF, FAH e FHN foi feita pelo processo de dicromatometria com aquecimento externo (Yeomans & Bremner, 1988). A determinação do N total (NT) foi feita pelo método de Kjeldahl, descrito por Tedesco et al. (1985).

Os tratamentos foram constituídos pelos usos e manejos do solo e analisados conforme o delineamento inteiramente casualizado. As análises de variância foram realizadas para cada camada, com o auxílio do sistema computacional SAEG (Fundação Arthur Bernardes, 1993). Os graus de liberdade para tratamento foram decompostos em quatro contrastes, ortogonais entre si, dentro de cada camada (Tabela 1). A significância dos contrastes foi testada pelo teste F até 10% de probabilidade. O efeito cultivo (contraste C1) estabeleceu uma comparação entre os tratamentos sob cultivo e a mata nativa. O efeito plantio direto (contraste C2) comparou este sistema com o preparo convencional. O efeito tifton (contraste C3) comparou esta gramínea com outros tratamentos (com as culturas de milho e soja sob plantio direto). O efeito silagem (contraste C4) foi estabelecido para comparar os impactos sobre o solo desta área, com outra onde não se realizou esta prática.

Resultados e Discussão

De modo geral, para os teores médios de C orgânico total (COT) das frações húmicas, a fração humina (FHN) tendeu a suplantiar as frações de ácido

Tabela 1. Descrição e histórico de uso das áreas experimentais em Capinópolis, MG, contrastes estabelecidos e coeficientes utilizados.

Tratamentos ⁽¹⁾	Estações sazonais ⁽²⁾	Histórico de uso das áreas				Contraste ⁽³⁾			
		1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002	C1	C2	C3	C4
PDs	Úmida	Milho (silagem)	Soja	Milho (silagem)	Soja	1	1	1	1
	Seca	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio				
PDg	Úmida	Milho (grão)	Milho (grão)	Milho (grão)	Soja	1	1	1	-1
	Seca	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio				
PDtf	Úmida	Tifton (feno)	Tifton (feno)	Tifton (feno)	Soja	1	1	-2	0
	Seca	Tifton	Tifton	Tifton	Pousio				
SC	Úmida	Soja	Soja	Soja	Soja	1	-3	0	0
	Seca	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio				
MN	Úmida/seca	Mata nativa	Mata nativa	Mata nativa	Mata nativa	-4	0	0	0

⁽¹⁾PD: cultivado sob sistema de plantio direto; SC: cultivado sob sistema convencional de preparo; MN: mata nativa, nunca cultivada. ⁽²⁾Úmida refere-se ao período de outubro a março, e seca ao período de abril a setembro. ⁽³⁾Efeito do contraste: C1, cultivo; C2, plantio direto; C3, tifton fenado; C4, silagem.

fúlvico (FAF) e ácido húmico (FAH) (Tabela 3). Esse resultado sugere um possível grau avançado de humificação da matéria orgânica do solo. Diversos estudos, realizados em solos sob clima tropical, também apresentaram teores da FHN superiores aos das FAF e FAH (Mendonça et al., 1991; Nascimento et al., 1992; Conteh & Blair, 1998), o que sugere maior interação da fração mineral desses solos tropicais com a matéria orgânica. As huminas são substâncias altamente desenvolvidas e resistentes à degradação microbiana, constituídas por ácidos húmicos de natureza mais simples, fortemente combinadas à fração mineral do solo, principalmente em solos oxídicos (Stevenson, 1994).

O comportamento do COT das frações húmicas variou de acordo com a classe de agregados e com o uso e manejo do solo (Tabela 3). Todas as frações húmicas tenderam a apresentar maiores valores de COT nos macroagregados (4–2 e 2–0,25 mm), em relação aos microagregados (0,25–0,105 mm). Essas frações húmicas são importantes agentes na formação e estabilização desses macroagregados. Os microagregados podem ser estabilizados por matéria orgânica mais persistente, antiga e resistente à degradação microbiana (Puget et al., 1995). Os macroagregados contêm mais C orgânico que os microagregados, uma vez que, a formação desses macroagregados é resultado da união dos

microagregados (Tisdall & Oades, 1982). Os teores de COT nas FAF, FAH e FHN tenderam a diminuir com a profundidade do solo em todos os tratamentos e classes de agregados.

Em geral, para a fração FHN, os agregados tenderam a apresentar valores maiores de COT na camada de 0–5 cm (Tabela 3). Esse comportamento deve estar relacionado à maior aeração e variação do ciclo de umedecimento e secagem e com a alteração da microbiota na superfície (Mendonça et al., 1991). Essas condições podem acarretar a perda de material orgânico mais instável para a profundidade ou para fora do sistema, ocasionando aumento na porcentagem da fração húmica e, também, podem intensificar a polimerização dos compostos orgânicos, favorecendo o acúmulo da fração húmica.

A FAF foi maior no sistema convencional que no plantio direto, exceto na camada de 10–20 cm, na classe de agregados 0,25–0,105 mm (microagregados) (Tabela 3). Os microagregados são os primeiros a se formarem no solo, principalmente quando este é perturbado pelo revolvimento mecânico. A exposição desses microagregados à aeração resulta em maior atividade microbiana, o que pode favorecer a formação, em primeira instância, da FAF. Os ácidos fúlvicos associados aos óxidos amorfos podem apresentar importante efeito estrutural e fazer com

Tabela 2. Atributos químicos, físicos e estoques de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho, sob sistemas de uso e manejo, em diferentes camadas de solo. Os valores representam a média de quatro repetições.

Camadas (cm)	Sistema ⁽¹⁾	pH ⁽²⁾	SB ⁽³⁾ (t) ⁽⁴⁾ (T) ⁽⁵⁾ ----- (cmol _c dm ⁻³) -----			V ⁽⁶⁾ (%)	C ⁽⁷⁾ ----- (Mg ha ⁻¹) -----	N ⁽⁸⁾	Argila (g kg ⁻¹)	Densidade ⁽⁹⁾ (g cm ⁻³)
			3,3	3,3	5,3					
0–5	PDs	5,8	3,3	3,3	5,3	62,1	15,24	0,73	287	1,59
	PDg	5,9	3,5	3,5	5,2	67,2	17,76	0,72	250	1,56
	PDtf	4,8	1,0	1,4	5,6	18,1	18,23	0,72	252	1,55
	SC	5,6	3,0	3,0	7,1	41,9	19,27	0,76	350	1,71
	MN	6,4	7,5	7,5	13,1	57,3	24,07	1,30	268	1,17
5–10	PDs	5,2	1,5	1,6	4,6	32,5	15,30	0,50	314	1,67
	PDg	5,2	1,8	1,9	4,8	37,8	18,71	0,50	265	1,66
	PDtf	4,8	1,0	1,3	5,3	19,3	17,83	0,67	268	1,53
	SC	5,1	1,9	2,1	6,8	27,6	19,67	0,66	346	1,75
	MN	5,8	4,1	4,1	9,6	42,9	20,80	0,99	273	1,30
10–20	PDs	5,5	1,5	1,5	3,9	38,3	24,13	0,91	314	1,65
	PDg	5,0	1,2	1,4	4,2	27,9	31,66	0,95	272	1,60
	PDtf	4,9	6,5	6,7	10,5	62,1	35,30	1,31	271	1,56
	SC	5,0	1,7	1,9	6,2	27,5	37,14	1,18	376	1,68
	MN	5,2	2,5	2,6	7,5	33,2	37,23	1,50	277	1,28

⁽¹⁾PDs: plantio direto (milho/silagem); PDg: plantio direto (milho/grão); PDtf: plantio direto tifton; SC: sistema convencional; MN: mata nativa.
⁽²⁾pH em água – relação 1:2,5. ⁽³⁾Soma de bases trocáveis. ⁽⁴⁾Capacidade de troca catiônica efetiva. ⁽⁵⁾Capacidade de troca catiônica a pH 7.
⁽⁶⁾Saturação por bases. ⁽⁷⁾Carbono orgânico total. ⁽⁸⁾Nitrogênio total. ⁽⁹⁾Densidade do solo – método do anel volumétrico.

que os agregados se tornem mais estáveis (Karlsson et al., 1987). Para Mendonça & Rowell (1996) os ácidos fúlvicos possuem maior capacidade de formar complexos argilo-húmicos, que torna esses ácidos mais estáveis que os ácidos húmicos e, por consequência, mais importantes na formação dos agregados em solos com textura argilosa. Esses mesmos autores, trabalharam com Latossolos Vermelho-Amarelo e encontraram maiores conteúdos de C nos solos de textura argilosa do que nos de textura arenosa.

Para a classe de agregados 0,25–0,105 mm, o sistema plantio direto apresentou maior teor da FAH do que o sistema de preparo convencional, o que indica um possível processo de estabilização da fração húmica, decorrente da melhoria do manejo do solo no plantio direto (Tabela 3). As diferenças observadas nos teores das substâncias húmicas, comparando-se esses dois sistemas (contraste C2), podem ser atribuídas à movimentação do solo no preparo convencional.

Tabela 3. Carbono orgânico total (g kg^{-1}) nas frações humificadas, em três classes de agregados, para os diferentes tratamentos e camadas de um Latossolo Vermelho e estimativas dos contrastes médios. Os valores representam a média de quatro amostras.

Tratamento ⁽¹⁾	Fração ácido fúlvico (FAF)			Fração ácido húmico (FAH)			Fração húmica (FHN)		
	Classe 1 ⁽²⁾	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
0–5 cm									
PDs	1,56	1,25	0,76	1,42	0,90	0,43	7,94	4,93	2,90
PDg	1,80	1,36	1,00	1,04	0,55	0,44	18,88	12,24	7,52
PDtf	1,97	1,45	0,84	2,01	3,73	3,27	7,09	4,60	2,86
SC	1,84	1,32	1,23	1,73	1,28	0,63	6,88	4,45	3,92
MN	3,64	3,05	0,58	5,60	4,81	0,45	18,49	14,22	7,56
Contraste ⁽³⁾									
C1 (Cultivo)	-1,85**	-1,71**	0,38**	-4,05**	-3,19**	0,75**	-8,29**	-7,67**	-3,26**
C2 (P. direto)	-0,07 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,37**	-0,24 ^{ns}	0,44*	0,76**	4,43**	2,81**	0,51 ^{ns}
C3 (Tifton)	-0,29 ^o	-0,14 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,78**	-3,01**	-2,84**	6,32**	3,98**	2,34**
C4 (Silagem)	-0,24 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,24**	0,38 ^{ns}	0,35 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-10,95**	-7,31**	-4,62**
5–10 cm									
PDs	1,41	1,16	0,74	0,82	0,73	0,52	4,63	2,93	1,81
PDg	1,71	1,08	0,88	1,41	0,82	0,64	13,16	7,51	10,68
PDtf	1,90	1,62	0,48	2,04	3,36	2,86	4,80	3,86	3,50
SC	1,63	1,52	1,16	2,24	1,25	0,73	5,51	4,84	4,31
MN	2,63	2,23	0,94	4,61	3,57	0,99	9,90	8,05	5,04
Contraste									
C1 (Cultivo)	-0,96**	-0,88**	-0,12 ^{ns}	-2,98**	-2,03**	0,20 ^{ns}	-2,88**	-3,27**	0,03 ^{ns}
C2 (P. direto)	0,04 ^{ns}	-0,23 ^o	-0,46*	-0,81**	0,38*	0,61**	2,02*	-0,07 ^{ns}	1,03*
C3 (Tifton)	-0,34*	-0,50**	0,33 ^{ns}	-0,93**	-2,59**	-2,28**	4,10**	1,36**	2,75**
C4 (Silagem)	-0,30 ^o	0,09 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,59**	-0,09 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	8,53**	-4,58**	-8,87**
10–20 cm									
PDs	1,36	1,06	0,88	0,76	0,59	0,41	4,45	3,21	2,29
PDg	1,36	1,12	0,84	0,93	0,64	0,48	10,38	6,94	11,04
PDtf	1,74	1,20	0,61	2,10	2,91	2,84	4,08	3,64	2,66
SC	1,60	1,15	1,02	1,97	1,58	0,61	6,85	4,11	3,50
MN	2,28	1,92	1,28	3,79	2,76	1,12	8,81	6,49	5,48
Contraste									
C1 (Cultivo)	-0,76*	-0,79**	-0,45**	-2,35**	-1,33**	-0,04 ^{ns}	-2,37**	-2,02**	-0,61 ^{ns}
C2 (P. direto)	-0,12 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,71**	-0,21 ^{ns}	0,63**	-0,55 ^{ns}	0,48 ^{ns}	1,83*
C3 (Tifton)	-0,38 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-1,25**	-2,29**	-2,39**	3,34**	1,44*	4,01**
C4 (Silagem)	0,01 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-5,93**	-3,73**	-8,76**

⁽¹⁾PDs: plantio direto milho (silagem)/soja/milho (silagem)/soja; PDg: plantio direto milho/milho/milho/soja; PDtf: plantio direto três anos com tifton (feno)/soja; SC: sistema convencional durante quatro anos seguidos com soja; MN: mata nativa. ⁽²⁾Classe 1 = 4–2; Classe 2 = 2–0,25; Classe 3 = 0,25–0,105 mm de Ø. ⁽³⁾C1 = $\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} + \overline{SC} - 4\overline{MN}$; C2 = $\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} - 3\overline{SC}$; C3 = $\overline{PDs} + \overline{PDg} - 2\overline{PDtf}$; C4 = $\overline{PDs} - \overline{PDg}$. ^{ns}Não-significativo. ^o, * e **Significativo a 10, 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

O efeito tifton (contraste C3) elevou os teores de COT da FAH em todas as camadas, e na classe de agregados de 4–2 mm, esses valores tenderam a aumentar com a profundidade (Tabela 3). Houve menor conteúdo da FHN em todas as camadas e classes de agregados pelo efeito tifton. O tifton é uma gramínea perene que possui relação C/N alta, o que lhe confere maior tempo de decomposição. O sistema radicular das gramíneas favorece o aumento do teor de C em profundidade, com conseqüente aumento nos teores das substâncias húmicas (Greenland, 1971).

Para todas as frações, o cultivo do solo (contraste C1) causou redução nos teores de COT da FHN nos macroagregados (>0,25 mm) e aumento nos teores das FAF e FAH nos microagregados (<0,25 mm), na superfície. Esse resultado mostra a relação existente entre o tamanho e a estabilidade dessas moléculas orgânicas responsáveis pela agregação. A presença em maior quantidade da FHN nos macroagregados sinaliza a importância dessa fração no processo de agregação. A mata nativa, quando comparada com os solos cultivados (contraste C1) apresentou maiores teores de FAF e FAH nos macroagregados (>0,25 mm), e o COT da FHN se manteve superior em todas as classes. Mesmo no solo cultivado por cerca de 30 anos (SC), os teores da FHN nos macroagregados tenderam a ser maiores que os demais.

Os teores de COT da FAF tenderam a ser maiores que os da FAH nos tratamentos PDs e PDg. Wendling et al. (2005), ao trabalhar com esses mesmos tratamentos, encontraram maiores proporções de agregados >2 mm, para a mata nativa e para cultivo com tifton sob plantio direto.

O cultivo do solo (contraste C1) propiciou menor índice FAH/FAF nos agregados maiores na superfície. Nas camadas de 5–10 e 10–20 cm, essa diminuição se manifestou apenas nos macroagregados maiores (Tabela 4). O plantio direto apresentou maior índice FAH/FAF nos agregados de 2–0,25 e 0,25–0,105 mm, na camada de 0–5 cm, quando comparado ao sistema convencional de preparo (contraste C2). Esse mesmo comportamento se manteve para os microagregados (0,25–0,105 mm), nas camadas de 5–10 e 10–20 cm. Quando não há perturbação do solo, há maior polimerização de compostos húmicos, o que aumenta a proporção de FAH em relação à FAF. Além disto, o maior acúmulo de matéria

orgânica, nesses sistemas de plantio direto, pode ter contribuído para aumento dos teores de ácidos húmicos. Em geral, na superfície, observou-se predomínio de FAF em relação a FAH (Tabela 4).

Os ácidos fúlvicos são importantes na formação dos agregados de solos com textura argilosa (Mendonça & Rowell, 1996). A tendência de ocorrência da FAF em relação à FAH, nos agregados à superfície do solo, também pode ser conseqüência da realização da amostragem na época seca, o que pode ter favorecido uma maior concentração dessa fração, a qual, segundo Lazerte & Findes (1994) pode ser lixiviada no perfil e acumulada em horizontes inferiores.

Observou-se tendência dos agregados maiores em apresentar maior índice FHN/(FAF + FAH) (Tabela 4), o que pode indicar presença de material mais humificado nos macroagregados. Conteh & Blair (1998) observaram que a predominância da humina sobre as outras frações húmicas é maior nos agregados maiores, enquanto nos agregados menores os compostos mais reativos (FAF e FAH) têm maior participação na agregação. Para o efeito tifton (contraste C3), a FAH teve maior participação em todas as classes de agregados, com tendência a ser maior para os agregados menores. Já para os demais tratamentos, PDs e PDg, desse mesmo contraste, a FHN predominou em todas as classes de agregados. Portanto, o material vegetal, que provém do sistema de manejo com tifton, pode favorecer a formação de ácidos húmicos em detrimento das demais frações.

Entre os tratamentos PDs e PDg, os maiores valores do índice FHN/(FAF + FAH) foi apresentado pelo PDg (contraste C4), com tendência à participação mais efetiva dos agregados maiores na superfície e, dos menores, na profundidade. A manutenção da palhada de milho no PDg, quando comparada à prática de silagem, pode ter favorecido o incremento da FHN, possivelmente herança da lignina.

Houve tendência de diminuição dos teores de NT, com a diminuição do tamanho dos agregados (Tabela 5). A presença de N nas frações húmicas indica que parte do N do solo se encontrava estabilizado nessas frações, com baixa taxa de reciclagem e disponibilidade para as plantas. A quebra de macroagregados em microagregados geralmente causa aumento da mineralização do C e do N (Balesdent et al., 2000).

Para as três frações húmicas estudadas, a FHN tendeu a apresentar maiores teores de NT. O processo de humificação que segue desde a FAF (FAF → FHN) pode indicar que esses maiores teores resultaram da ligação e estabilidade das FAF com a fração mineral do solo.

A mata nativa apresentou os maiores teores de NT na FAF dos macroagregados (4–2 e 2–0,25 mm) nas camadas de 0–5 e 5–10 cm, do que nos demais tratamentos (contraste C1). Contudo, na camada de 10–20 cm, esse comportamento se manteve para todas as classes de agregados (Tabela 5). Os maiores teores

de NT nos macroagregados sob mata nativa pode indicar recentes aportes de material orgânico nesses agregados. Para essa mesma fração, o cultivo do solo (contraste C1) proporcionou aumento do NT nos microagregados (<0,25 mm), na camada de 0–5 cm (Tabela 5), semelhantemente ao observado para o COT. O efeito plantio direto (contraste C2) propiciou aumento do NT somente nos agregados de 4–2 mm, na camada de 10–20 cm (Tabela 5). O manejo do solo com tifton foi eficiente em aumentar os teores de NT da FAF na camada de 10–20 cm, e pode ser consequência de baixa atividade microbiológica na profundidade, tendo

Tabela 4. Relações entre os teores de carbono das frações de ácido húmico (FAH)/frações de ácido fúlvico (FAF) e frações de huminas (FHN)/(FAF + FAH), em três classes de agregados, para os diferentes tratamentos e camadas de um Latossolo Vermelho e estimativas dos contrastes médios. Os valores representam a média de quatro amostras.

Tratamento ⁽¹⁾	FAH/FAF			FHN/(FAF + FAH)		
	Classe 1 ⁽²⁾	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
0–5 cm						
PDs	0,92	0,72	0,57	2,65	2,31	2,45
PDg	0,57	0,43	0,47	6,87	6,48	5,26
PDtf	1,05	2,58	4,08	1,75	0,89	0,70
SC	0,95	0,97	0,51	1,94	1,71	2,11
MN	1,55	1,58	1,42	2,01	1,82	9,34
Contraste ⁽³⁾						
C1 (Cultivo)	-0,68**	-0,40**	-0,02 ^{ns}	1,29**	1,03*	-6,71**
C2 (Plantio direto)	-0,10 ^{ns}	0,27*	1,20**	1,81**	1,52**	0,70 ^{ns}
C3 (Tifton)	-0,30°	-2,01**	-3,56**	3,01**	3,50**	3,16*
C4 (Silagem)	0,35°	0,29*	0,10 ^{ns}	-4,22**	-4,17**	-2,81°
5–10 cm						
PDs	0,59	0,62	0,70	2,10	1,61	1,48
PDg	0,85	0,83	0,74	4,24	3,98	7,15
PDtf	1,07	2,08	7,44	1,22	0,78	1,04
SC	1,39	0,83	0,68	1,43	1,78	2,29
MN	1,77	1,61	1,28	1,37	1,39	2,79
Contraste						
C1 (Cultivo)	-0,79**	-0,52 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,88**	0,65**	0,20 ^{ns}
C2 (Plantio direto)	-0,55**	0,35 ^{ns}	2,28*	1,09**	0,35*	0,93*
C3 (Tifton)	-0,35*	-1,36*	-6,72**	1,95**	2,01**	3,27**
C4 (Silagem)	-0,26°	-0,21 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-2,15**	-2,38**	-5,67**
10–20 cm						
PDs	0,57	0,54	0,46	2,14	1,98	1,83
PDg	0,70	0,62	0,60	4,89	4,10	8,70
PDtf	1,31	2,42	5,01	1,06	0,88	0,77
SC	1,30	1,49	0,63	1,90	1,55	2,15
MN	1,72	1,44	0,94	1,45	1,39	2,35
Contraste						
C1 (Cultivo)	-0,75**	-0,17 ^{ns}	0,73 ^{ns}	1,05*	0,74°	1,01 ^{ns}
C2 (Plantio direto)	-0,44°	-0,30 ^{ns}	1,40**	0,79 ^{ns}	0,77°	1,62°
C3 (Tifton)	-0,67**	-1,84**	-4,48**	2,46**	2,16**	4,49**
C4 (Silagem)	-0,13 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-2,75**	-2,11**	-6,87**

⁽¹⁾PDs: plantio direto milho (silagem)/soja/milho (silagem)/soja; PDg: plantio direto milho/milho/milho/soja; PDtf: plantio direto três anos com tifton (feno)/soja; SC: sistema convencional durante quatro anos seguidos com soja; MN: mata nativa. ⁽²⁾Classe 1 = 4–2; Classe 2 = 2–0,25; Classe 3 = 0,25–0,105 mm de Ø. ⁽³⁾C1 = PDs + PDg + PDtf + SC - 4MN; C2 = PDs + PDg + PDtf - 3SC; C3 = PDs + PDg - 2PDtf; C4 = PDs - PDg. ^{ns}Não-significativo. °, * e **Significativo a 10, 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

garantido, assim, maior proteção do NT. Os maiores teores de NT da FAH foram observados no solo sob mata nativa, quando comparado com o solo cultivado. A mata também apresentou elevados teores de NT na FHN, exceto quanto aos microagregados (0,25–0,105 mm) na camada de 0–5 cm. Para o efeito silagem (contraste C4), houve aumento do NT da FAH: na classe de agregados de 4–2 mm, na camada de 0–5 cm; nas classes de 4–2 e de 2–0,25 mm, na camada de 5–10 cm; e em todas as classes de agregados na camada de 10–20 cm. Esse comportamento pode ser indicativo da dinâmica do N dentro de cada classe de agregados.

A prática de silagem propiciou aumento nos teores de N da FAH na camada de 10–20 cm, em todas as classes de agregados. Contudo, na superfície, observou-se efeito desse contraste apenas nos agregados de 4–2 mm. Nas camadas mais profundas do solo, a silagem propiciou melhor distribuição do NT na FAH, entre as classes de agregados; na camada superficial, os teores de NT na FAH tenderam a aumentar, em razão da diminuição do tamanho dos agregados (Tabela 5). A prática de silagem pode contribuir para a diminuição dos teores de NT da FAH nos microagregados, na superfície do solo. Essa mesma prática não influenciou

Tabela 5. Teores de nitrogênio total (g kg^{-1}) das frações humificadas, em três classes de agregados, para os diferentes tratamentos e camadas de um Latossolo Vermelho e estimativas dos contrastes médios. Os valores representam a média de quatro amostras.

Tratamento ⁽¹⁾	Fração ácido fúlvico (FAF)			Fração ácido húmico (FAH)			Fração humina (FHN)		
	Classe 1 ⁽²⁾	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
0–5 cm									
PDs	0,21	0,18	0,16	0,14	0,10	0,11	0,60	0,36	0,21
PDg	0,34	0,28	0,84	0,30	0,22	0,18	0,97	0,58	0,39
PDtf	0,42	0,32	0,29	0,40	0,30	0,21	0,62	0,49	0,29
SC	0,35	0,28	0,29	0,38	0,40	0,21	0,74	0,56	0,41
MN	0,47	0,46	0,30	0,79	0,75	0,35	1,96	1,30	0,39
Contraste ⁽³⁾									
C1 (Cultivo)	-0,14*	-0,19**	0,0022**	-0,45**	-0,50**	-0,17*	-1,22*	-0,80*	-0,06 ^{ns}
C2 (Plantio direto)	-0,02 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,19**	-0,05 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,11*
C3 (Tifton)	-0,14*	-0,09 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,31**	-0,14 ^o	-0,07 ^{ns}	0,17 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}
C4 (Silagem)	-0,13 ^o	-0,10 ^{ns}	-0,31**	-0,17*	-0,12 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,36*	-0,22**	-0,18**
5–10 cm									
PDs	0,22	0,14	0,12	0,15	0,14	0,13	0,34	0,24	0,18
PDg	0,30	0,22	0,32	0,39	0,29	0,28	0,67	0,43	0,34
PDtf	0,36	0,31	0,28	0,45	0,38	0,21	0,47	0,38	0,32
SC	0,23	0,18	0,27	0,36	0,34	0,27	0,68	0,49	0,44
MN	0,39	0,36	0,31	0,68	0,48	0,94	0,88	0,71	0,63
Contraste									
C1 (Cultivo)	-0,11 ^o	-0,14**	-0,06 ^{ns}	-0,34**	-0,19**	-0,72**	-0,34**	-0,32**	-0,31**
C2 (Plantio direto)	0,07 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,19**	-0,14**	-0,16*
C3 (Tifton)	-0,08 ^{ns}	-0,13*	-0,06 ^{ns}	-0,18*	-0,17**	-0,001 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
C4 (Silagem)	-0,12 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,20 ^o	-0,23**	-0,15*	-0,15 ^{ns}	-0,33**	-0,19**	-0,16**
10–20 cm									
PDs	0,23	0,19	0,13	0,07	0,10	0,08	0,37	0,23	0,17
PDg	0,32	0,04	0,13	0,31	0,23	0,27	0,54	0,34	0,32
PDtf	0,36	0,43	0,29	0,36	0,32	0,22	0,39	0,38	0,27
SC	0,23	0,26	0,23	0,38	0,28	0,19	0,73	0,45	0,39
MN	0,35	0,31	0,42	0,55	0,51	0,35	0,72	0,51	0,39
Contraste									
C1 (Cultivo)	-0,06 ^o	-0,08*	-0,23**	-0,27**	-0,28**	-0,16**	-0,21 ^o	-0,16**	-0,10*
C2 (Plantio direto)	0,07*	-0,04 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,13*	-0,06 ^{ns}	0,004 ^{ns}	-0,30*	-0,14**	-0,13**
C3 (Tifton)	-0,09*	-0,31**	-0,16*	-0,17**	-0,16**	-0,05 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,09*	-0,02 ^{ns}
C4 (Silagem)	-0,08 ^o	0,16**	0,003 ^{ns}	-0,24**	-0,13*	-0,19**	-0,18 ^{ns}	-0,11*	-0,15**

⁽¹⁾PDs: plantio direto milho (silagem)/soja/milho (silagem)/soja; PDg: plantio direto milho/milho/milho/soja; PDtf: plantio direto três anos com tifton (feno)/soja; SC: sistema convencional durante quatro anos seguidos com soja; MN: mata nativa. ⁽²⁾Classe 1= 4–2; Classe 2 = 2–0,25; Classe 3 = 0,25–0,105 mm de ϕ . ⁽³⁾ $\bar{C}1 = \overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} + \overline{SC} - 4\overline{MN}$; $\bar{C}2 = \overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} - 3\overline{SC}$; $\bar{C}3 = \overline{PDs} + \overline{PDg} - 2\overline{PDtf}$; $\bar{C}4 = \overline{PDs} - \overline{PDg}$. ^{ns}Não-significativo. ^o, * e **Significativo a 10, 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

no aumento dos teores de NT da FHN, com exceção dos agregados de 4–2 mm, e na camada de 10–20 cm, onde o efeito silagem (contraste C4) não foi significativo.

Observou-se que o NT da FHN tendeu a diminuir, à medida que diminuiu o tamanho das classes de agregados (Tabela 5), o que indica a participação de compostos nitrogenados na formação dos agregados. Em comparação ao plantio direto, o sistema convencional de preparo aumentou os teores de NT da FHN nos microagregados (0,25–0,105 mm) na superfície do solo (camada 0–5 cm), enquanto nas camadas subsequentes esse aumento ocorreu em todas as classes de agregados. O aumento do NT em profundidade pode estar relacionado à incorporação de resíduos culturais com o revolvimento do solo em sistemas convencionais de preparo.

Conclusões

1. O comportamento das substâncias húmicas varia com a classe de agregados e é alterado pelo sistema de manejo do solo, sendo que os agregados maiores apresentam maiores teores de carbono e nitrogênio totais.

2. Os teores de carbono e de nitrogênio totais são reduzidos pelo cultivo do solo quando comparado com a mata nativa.

3. Os agregados sob sistema de plantio direto não apresentam incremento nos teores de carbono e nitrogênio totais, comparativamente aos agregados observados sob preparo convencional.

4. Entre os sistemas com plantio direto, a gramínea tifton mostra-se eficiente em aumentar os teores de carbono e nitrogênio totais das frações fúlvicas e húmicas, das classes de agregados avaliadas.

Agradecimentos

Ao CNPq, pelo apoio financeiro; à Cepet/UFV, pela concessão da área experimental.

Referências

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, v.53, p.215-230, 2000.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.687-694, 1999.

BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v.124, p.3-22, 2005.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.1071-1076, 1993.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. de F.; FONSECA, I.C.B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.65, p.45-51, 2002.

CONTEH, A.; BLAIR, G.J. The distribution and relative losses of soil organic carbon fractions in aggregate size fractions from cracking clay soils (vertisols) under cotton production. **Australian Journal of Soil Research**, v.36, p.257-271, 1998.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.425-432, 1999.

DUIKER, S.W.; RHOTON, F.E.; TORRENT, J.; SMECK, N.E., LAL, R. Iron (hydr)oxide crystallinity effects on soil aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, v.67, p.606-611, 2003.

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, C.; SZOTT, L.; VANCE, E. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: NifTAL Project, 1989. p.33-67.

FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES. **SAEG: sistema para análise estatística v.5.0**. Viçosa, 1993. 59p.

GREENLAND, D.J. Change in the nitrogen status and physical condition of soils under pastures, with special reference to the maintenance of the fertility of Australian soils used for growing wheat. **Soil and Fertilizers**, v.34, p.237-251, 1971.

JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; IZAURRALDE, R.C. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. **Soil and Tillage Research**, v.47, p.181-195, 1998.

KARLSSON, S.; KAKANSSON, K.; ALLARD, B. Simultaneous dissolution of organic acids in sequential leaching of sediment bound trace metals. **Journal of Environmental Science and Health**, v.22, p.549-562, 1987.

KERN, J.S.; JOHNSON, M.G. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.200-210, 1993.

LAZERTE, B.; FINDEIS, J. Acidic leaching of podzol B_f horizon from the precambrian shield, Ontario, Canada. **Canadian Journal of Soil Science**, v.74, p.321-333, 1994.

MENDONÇA, E.S.; MOURA FILHO, W.; COSTA, L.M. Organic matter and chemical characteristics of aggregates from a red-yellow latosol under natural forest, rubber plant and grass, in Brazil. In: WILSON, W.S. (Ed.). **Advances in soil organic matter research: the impact on agriculture and the environment**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1991. p.185-195.

MENDONÇA, E.S.; ROWELL, D.L. Mineral and organic fractions of two oxisols and their influence on effective cation-exchange capacity. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, p.188-192, 1996.

MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. **Plant and Soil**, v.181, p.83-93, 1996.

- NASCIMENTO, V.M.; ALMENDROS, G.; FERNANDES, F.M. Soil humus characteristics in virgin and cleared areas of the Paraná river basin in Brazil. **Geoderma**, v.54, p.137-150, 1992.
- PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a red latosol from Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.77, p.79-84, 2004.
- PUGET, P.; CHENU, C.; BALESSENT, J. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. **European Journal of Soil Science**, v.46, p.449-459, 1995.
- SCHNITZER, M. Organic matter characterization. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (Ed.). **Methods of soil analysis**. chemical and microbiological properties. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1982. v.2, p.581-594.
- SCHULTEN, H.R.; SCHNITZER, M. Chemical model structures for soil organic matter and soils. **Soil Science**, v.162, p.115-130, 1997.
- STEVENSON, F.J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. 2nd ed. New York: Wiley, 1994. 496p.
- STUDDERT, G.A.; ECHEVERRIA, H.E. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.1496-1503, 2000.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHEN, H. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1985. 186p. (Boletim técnico de solos, 5).
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.33, p.141-163, 1982.
- WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.487-494, 2005.
- YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1467-1476, 1988.

Recebido em 16 de setembro de 2005 e aprovado em 24 de julho de 2006