

Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos

Benó Wendling⁽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: benowendling@yahoo.com.br, ivo@ufv.br, esm@ufv.br, jcneves@ufv.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi verificar a influência de diferentes manejos no carbono orgânico e na estabilidade de agregados em um Latossolo Vermelho. Os seguintes tratamentos foram avaliados: PDs - plantio direto, por quatro anos, com a sucessão milho (silagem)/soja; PDg - plantio direto, por quatro anos, com a sucessão milho/milho/milho/soja; PDtf - três anos contínuos, com tifton (feno), e no quarto ano, soja sob plantio direto; SC - sistema convencional com soja, nos últimos quatro anos; e MN - mata nativa. A estabilidade de agregados foi expressa pelos índices: diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico, porcentagem de agregados maiores que 2,0 mm estáveis em água e índice de estabilidade de agregados. Em todos os tratamentos, houve diminuição da estabilidade de agregados com o aumento da profundidade. Os tratamentos cultivados tiveram seus índices de agregação reduzidos em relação à mata nativa. O sistema convencional apresentou os menores índices de agregação. O uso da gramínea perene tifton foi o tratamento que promoveu a melhor recuperação da estabilidade de agregados em água. Correlações significativas e positivas foram obtidas entre carbono orgânico total e os índices de estabilidade estudados.

Termos para indexação: solos tropicais, cerrado, plantio direto, agregação.

Organic carbon and aggregate stability of a Red Latosol under different managements

Abstract – The objective of this work was to verify the influence of different managements on organic carbon and on aggregate stability of a Red Latosol (Typic Haplorthox). The following treatments were appraised: PDs - no tillage for four years with successions corn (silage)/soybean; PDg - no tillage for four years with the successions corn/corn/corn/soybean; PDtf - three years with tifton (hay) and soybean in the fourth year; SC - conventional cultivation with soybean in the last four years; and MN - native forest. The aggregate stability was expressed by the indexes: mean weight diameter, mean geometric diameter, percentage of stable aggregates >2.0 mm, and stable aggregates index. The aggregate stability in all the treatments decreased with depth. Indexes in cultivated treatments reduced in relation to native forest ones. The conventional system presented the worse indexes. Perennial grass tifton was the best treatment to recover aggregate stability. Significant positive correlations were obtained between total organic carbon and the studied aggregate stability indexes.

Index terms: tropical soils, savannah, no tillage, aggregation.

Introdução

O uso, o manejo, o nível e o tempo de utilização promovem alterações nas propriedades do solo. Entre elas, destaca-se a estrutura que está relacionada com a agregação. São vários os agentes que causam essas alterações, que podem ser passageiras ou prolongadas por vários anos. Na maioria dos casos, o uso intensivo causa redução da estabilidade dos agregados, deixando os solos mais suscetíveis aos processos erosivos. Para um mesmo solo, diferentes práticas de manejo podem afe-

tar distintamente as propriedades, incluindo os processos de agregação (Roth & Pavan, 1991; Castro Filho et al., 1998).

O cultivo intensivo, aliado à alta taxa de revolvimento, é responsável pela redução do conteúdo de matéria orgânica do solo, que é um dos principais agentes de formação e estabilização dos agregados (Tisdall & Oades, 1982; Castro Filho et al., 1998). Práticas conservacionistas, como plantio direto (PD), que revolvem menos o solo e recebem um maior aporte de resíduos orgânicos, geralmente têm-se mostrado eficientes

em aumentar a estabilidade de agregados (Alvarenga et al., 1986; Carpenedo & Mielniczuk, 1990). Roth et al. (1991) também constataram que manejos que mantêm o solo descoberto diminuem a estabilidade de agregados, causando selamento superficial, reduzindo a infiltração de água e, conseqüentemente, induzindo à enxurrada e à erosão. Por isso, a estabilidade de agregados tem sido usada como indicador da qualidade física do solo, pois é sensível às alterações, conforme o manejo adotado.

A vegetação é um fator importante de formação de agregados, mediante a ação mecânica das raízes ou pela excreção de substâncias com ação cimentante, e isto, indiretamente, fornece nutrientes à fauna do solo (Kiehl, 1979). O tipo de vegetação também interfere na estruturação dos solos, ou seja, as gramíneas são mais eficientes em aumentar e manter a estabilidade de agregados do que as leguminosas (Carpenedo & Mielniczuk, 1990), por apresentarem um sistema radicular extenso e renovado constantemente (Harris et al., 1966). Esses mesmos autores ressaltaram a importância do uso de leguminosas em rotações com pastagens perenes, pelo seu fornecimento de nitrogênio e conseqüente maior taxa de decomposição dos resíduos, em decorrência da menor relação carbono/nitrogênio. Perin et al. (2002), ao trabalharem com cobertura viva de leguminosas herbáceas perenes, concluíram que essas proporcionaram maiores índices de estabilidade de agregados, na camada de 0–5 cm de profundidade, em relação à uma área capinada usada como testemunha.

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência de diferentes manejos no carbono orgânico e na estabilidade de agregados, em um Latossolo Vermelho.

Material e Métodos

Foram selecionadas quatro áreas sob diferentes manejos, pertencentes ao Cepet/UFV – Centro de Experimentação, Pesquisa e Extensão do Triângulo – Universidade Federal de Viçosa, e uma área adjacente de um produtor, no Município de Capinópolis, MG. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho e apresenta relevo suave-ondulado. O clima da região se enquadra como Aw, segundo a classificação proposta por Köppen, com temperatura média anual em torno de 23°C, precipitação média anual de 1.300 mm (medidos entre 1992 e 2002) e vegetação nativa fase floresta subcaducifólia.

Os tratamentos e seus respectivos históricos são apresentados na Tabela 1. Os tratamentos PDs, PDg e PDTf não sofreram revolvimento do solo nos últimos quatro anos; as culturas foram implantadas no sistema de plantio direto. Nos anos anteriores aos descritos na Tabela 1, o sistema convencional foi adotado nessas áreas, com cultivos alternados de milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*). O tratamento SC sempre foi cultivado no sistema de preparo convencional, com uma aração e duas a três gradagens de nivelamento, conforme a necessidade. Nesse tratamento, nos últimos dois anos, o arado foi substituído pela grade aradora, que limita o revolvimento do solo até a profundidade de 10 cm. A mata nativa (MN) foi considerada como testemunha. O tratamento SC foi tomado como base transitória, ou seja, para indicar o estado estrutural do solo, antes da adoção da prática de plantio direto.

As coletas de amostras de solo foram realizadas entre os dias 14 e 16 de agosto, final da época seca do ano 2002. A área de cada tratamento foi dividida em quatro quadrantes, cada um constituindo uma parcela. Para melhor entendimento das mudanças e evitar que os efeitos fossem diluídos no perfil, foram feitas amostragens nas profundidades: 0–5 cm, 5–10 cm e 10–20 cm. A análise textural, bem como o grau de floculação e densidade de partículas, de cada área, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 1. Descrição e histórico dos últimos quatro anos agrícolas de cada área (tratamento).

Tratamento ⁽¹⁾	Época	Histórico dos últimos quatro anos agrícolas			
		1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002
PDs	Águas	Milho (silagem)	Soja	Milho (silagem)	Soja
	Seca	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio
PDg	Águas	Milho (grão)	Milho (grão)	Milho (grão)	Soja
	Seca	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio
PDTf	Águas	Tifton (feno)	Tifton (feno)	Tifton (feno)	Soja
	Seca	Tifton	Tifton	Tifton	Pousio
SC	Águas	Soja	Soja	Soja	Soja
	Seca	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio
MN	Contínuo	Mata nativa	Mata nativa	Mata nativa	Mata nativa

⁽¹⁾PDs: milho (silagem)/soja/milho (silagem)/soja; PDg: milho/milho/milho/soja; PDTf: três anos com tifton (feno)/soja; SC: quatro anos seguidos com soja; MN: mata nativa.

Tabela 2. Conteúdo de areia grossa (AG), areia fina (AF), silte (S) e argila (A), grau de floculação (GF) e densidade de partículas (Dp). Médias de três profundidades.

Tratamento ⁽¹⁾	AG	AF	S	A	GF	Dp
	(kg kg ⁻¹)				(%)	(kg dm ⁻³)
PDs	0,337	0,293	0,065	0,305	75,56	2,69
PDg	0,358	0,334	0,046	0,262	75,58	2,70
PDTf	0,374	0,314	0,048	0,264	76,66	2,71
SC	0,284	0,280	0,079	0,358	77,95	2,70
MN	0,424	0,249	0,054	0,273	82,93	2,68

⁽¹⁾PDs: milho (silagem)/soja/milho (silagem)/soja; PDg: milho/milho/milho/soja; PDTf: três anos com tifton (feno)/soja; SC: quatro anos seguidos com soja; MN: mata nativa.

A fitomassa sobre o solo (serrapilheira) foi determinada usando-se um gabarito com 0,25 m² (0,5x0,5 m) e três amostragens por parcela, retirando-se todo material vegetal sobre o solo que, após ser secado, foi pesado, e o resultado foi expresso em massa de matéria seca por hectare. Para a determinação do carbono orgânico total (COT), coletaram-se cinco amostras simples, para compor uma amostra composta, nas três profundidades e nas quatro repetições de cada tratamento que, depois de homogeneizadas, foram secadas ao ar (TFSA) e analisadas, conforme proposto por Yeomans & Bremner (1988).

Para a determinação da estabilidade de agregados, coletaram-se cinco amostras simples, para formar uma amostra composta nas profundidades, repetições e tratamentos descritos anteriormente. A coleta foi feita com auxílio de pá-de-corte e colher de pedreiro, sem destruição dos torrões, que foram acondicionados em sacos de plástico e, posteriormente, secados ao ar. No preparo das amostras, os torrões foram desmanchados manualmente, tomando-se cuidado para não destruir os agregados; a seguir, foram tamisados em peneiras de 4 mm e 2 mm, e os agregados retidos na menor peneira foram selecionados para a análise laboratorial via úmida (Embrapa, 1997).

Para a determinação da distribuição das classes de agregados, foi utilizado o tamisamento via úmida, com o aparelho preconizado por Yoder (1936), que foi calibrado para funcionar durante 15 min, com 38 oscilações por min, num intervalo espacial de 3,5 cm de amplitude entre o ponto máximo e mínimo. Para cada amostra oriunda do campo, foram feitas quatro repetições no laboratório. A umidade residual foi determinada utilizando-se uma amostra adicional. Cada amostra foi colocada em placas de Petri e umedecida, lentamente, com água deionizada, com auxílio de um atomizador manual, durante 15 min. Depois de passadas duas horas do início do umedecimento, as amostras foram transferidas para o aparelho de Yoder, adaptado com peneiras de malhas de 2,0, 1,0, 0,5, 0,25 e 0,105 mm de abertura. Após o término das oscilações, o conteúdo retido em cada uma das peneiras foi secado em estufa a 105°C, durante 24 horas, e em seguida foi pesado. A classe menor do que 0,105 mm foi calculada por diferença, tomando-se o peso inicial, menos a umidade residual, e o peso das demais classes como base. Todos esses procedimentos foram realizados conforme Embrapa (1997).

Testes preliminares realizados conforme Castro Filho et al. (1998) não detectaram partículas maiores do que 2,0 mm nos agregados (cascalhos).

Foram calculados: o diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG), a porcentagem de agregados estáveis >2,00 mm (AGRI) e o índice de estabilidade de agregados da classe <0,105 mm (IEA). O DMP e o IEA foram obtidos segundo fórmulas propostas por Castro Filho et al. (1998), e o IEA foi adaptado por Perin (2002). O DMG foi calculado segundo Schaller & Stockinger (1953), citados por Alvarenga et al. (1986). As equações utilizadas foram as seguintes:

$$\text{DMG} = \text{antilog} \frac{\sum (n \log d)}{\sum n} \quad (1)$$

$$\text{DMP} = \sum_{i=1}^N (w_i d) \quad (2)$$

$$\text{AGRI} = w_{i>2} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{IEA} = (P_s - w_{p0,105} - \text{areia}) / (P_s - \text{areia}) \times 100 \quad (4)$$

em que n é a porcentagem de agregados nas diversas classes de peneiras; d é o valor médio dos limites, superior e inferior, de cada classe (mm); w_i é a proporção de cada classe, em relação ao total (g); $w_{i>2}$ representa a proporção de agregados >2,00 mm; P_s é a massa da amostra seca (g) e $w_{p0,105}$ é a massa dos agregados da classe <0,105 mm (g).

Não foi descontada a areia nos cálculos do DMP, do DMG e de AGRI, uma vez que essas partículas participam do processo de agregação do solo (Castro Filho et al., 1998).

Os dados de fitomassa sobre o solo (MS) foram submetidos à análise de variância (ANOVA), em que os tratamentos foram constituídos pelos diferentes usos e manejos adotados, considerando-se o delineamento inteiramente casualizado. Em relação às demais variáveis, os dados foram submetidos à análise de variância, no esquema de parcelas subdivididas, em que os manejos constituíram as parcelas, e as profundidades as subparcelas.

Os graus de liberdade para tratamento foram decompostos em quatro contrastes ortogonais entre si, dentro de cada profundidade, para isolar os efeitos cultivo, plantio direto, tifton e silagem (Tabela 3). Trabalhou-se com contrastes médios, dividindo-se o resultado de cada contraste pelo respectivo coeficiente. A significância dos contrastes foi testada pelo teste F ($P < 0,05$), a partir do quadrado médio do resíduo combinado, e o efeito de determinada característica aumentou ou diminuiu quando os sinais das estimativas dos contrastes calculados foram positivos ou negativos, respectivamente.

O efeito cultivo (contraste C1) estabelece comparação entre os tratamentos cultivados e mata nativa. O efeito plantio direto (contraste C2) compara esse sistema com o preparo convencional. O efeito tifton (contraste C3) compara essa gramínea com outros tratamentos, também sem revolvimento do solo, mas somente com as culturas milho e soja, sob plantio direto. O efeito silagem (contraste C4) foi estabelecido para comparar o impacto sobre o solo dessa área com o de outra, na qual não se realizou essa prática.

Foi utilizado o teste de Tukey ($P < 0,05$) para comparar as profundidades dentro de cada tratamento. As correlações entre as diversas variáveis tiveram seus níveis de significância testados pelo teste t.

Resultados e Discussão

O cultivo, em relação à condição natural (contraste C1), acarretou redução da fitomassa sobre o solo, que aumentou com a adoção do plantio direto, quando comparado com o cultivo convencional (Figura 1, contraste C2). Esperava-se, também, que o teor de COT (Figura 2) fosse significativo, para o efeito cultivo nas camadas superiores, o que não ocorreu e pode ser justificado pelo fato de essa área possuir maior teor de argila (Tabela 2); isto confere ao carbono orgânico proteção coloidal maior e dificulta a degradação do material orgânico. O efeito tifton (contraste C3) também foi eficiente em aumentar a fitomassa sobre o solo. Isso aconteceu porque essa cultura é perene e possui alta relação C/N, o que lhe confere tempo de decomposição e de residência da matéria orgânica mais prolongado, e deve acarretar maior conteúdo de carbono orgânico total no solo. O efeito silagem (contraste C4) revela que houve diminuição da cobertura do solo com o uso dessa prática, o que se reflete numa diminuição do conteúdo de carbono orgânico total no solo, nesse sistema (Figura 2).

A fitomassa (MS), além de acarretar maior aporte de

Tabela 3. Nomes, coeficientes e efeitos dos contrastes estabelecidos entre os tratamentos.

Nome	Tratamentos ⁽¹⁾					Efeito do contraste
	PDs	PDg	PDtf	SC	MN	
C1	1	1	1	1	-4	Cultivo
C2	1	1	1	-3	0	Plantio direto
C3	-1	-1	2	0	0	Tifton (feno)
C4	1	-1	0	0	0	Silagem

⁽¹⁾PDs: milho (silagem)/soja/milho (silagem)/soja; PDg: milho/milho/milho/soja; PDtf: três anos com tifton (feno)/soja; SC: quatro anos seguidos com soja; MN: mata nativa.

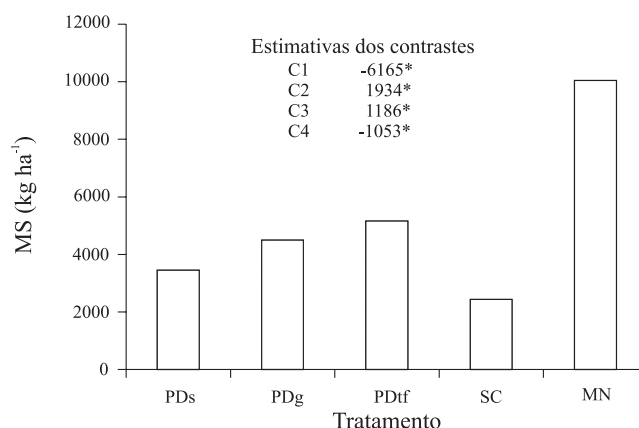


Figura 1. Quantidade de matéria seca (MS) sobre o solo e estimativa dos contrastes médios estabelecidos para os tratamentos. PDs: milho (silagem)/soja/milho (silagem)/soja; PDg: milho/milho/milho/soja; PDtf: três anos com tifton (feno)/soja; SC: quatro anos seguidos com soja; MN: mata nativa; C1 = [(PDs + PDg + PDtf + SC) vs. (-4MN)]; C2 = [(PDs + PDg + PDtf) vs. (-3SC)]; C3 = [(-PDs - PDg) vs. (2PDtf)]; C4 = [(PDs) vs. (-PDg)]. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, conforme os contrastes estabelecidos.

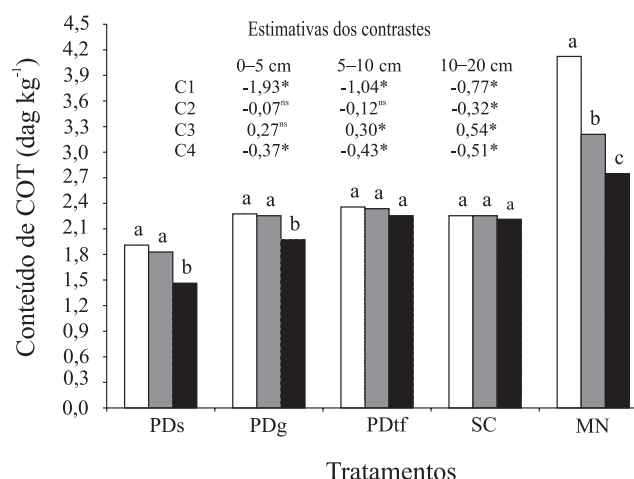


Figura 2. Distribuição dos teores de carbono orgânico total (COT) e estimativa dos contrastes médios, estabelecidos para os cinco tratamentos e três profundidades. Camada de 0-5 cm (□); 5-10 cm (■); 10-20 cm (■); PDs: milho (silagem)/soja/milho (silagem)/soja; PDg: milho/milho/milho/soja; PDtf: três anos com tifton (feno)/soja; SC: quatro anos seguidos com soja; MN: mata nativa; C1 = [(PDs + PDg + PDtf + SC) vs. (-4MN)]; C2 = [(PDs + PDg + PDtf) vs. (-3SC)]; C3 = [(-PDs - PDg) vs. (2PDtf)]; C4 = [(PDs) vs. (-PDg)]; médias com letras iguais, para o mesmo tratamento e diferentes profundidades, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}Não-significativo. *Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade, conforme os contrastes estabelecidos.

carbono, também tem influência nas propriedades do solo, uma vez que atua como isolante entre o solo e a atmosfera. Solos com uma boa cobertura impedem ou diminuem a ação direta das gotas de chuva, mantêm mais uniforme a umidade e temperatura, favorecem o desenvolvimento do sistema radicular e atividade microbiana e contribuem para a criação de um ambiente mais favorável à agregação (Campos et al., 1999).

No SC o conteúdo de COT não foi influenciado pela profundidade (Figura 2). Esse resultado é consequência do revolvimento do solo, por ocasião do preparo. No tratamento PDtf, essa tendência também ficou evidente, em decorrência do cultivo da gramínea perene tifton para feno, por três anos antes da soja. O tifton possui um sistema radicular bastante agressivo e profundo, o que contribuiu para uma melhor distribuição do COT em profundidade. A prática da fenação, que constitui na retirada constante da parte aérea da cultura, também contribuiu para uma menor deposição de resíduos orgânicos na camada superficial, distribuindo melhor o COT por causa do efeito das raízes. Corazza et al. (1999) trabalharam com pastagens e constataram comportamento semelhante, diferente somente na fenação, em favor do pastejo por animais.

O cultivo do solo (contraste C1) reduziu drasticamente o conteúdo de COT, em todas as camadas (Figura 1). Corazza et al. (1999) relataram que a substituição da vegetação nativa, por culturas anuais, causa essa redução, em decorrência do revolvimento do solo, que favorece a oxidação da matéria orgânica. O plantio direto (contraste C2) não foi eficiente em aumentar o conteúdo de COT, pelo contrário, apresentou uma tendência de diminuição que não chegou a ser significativa nas duas camadas superficiais. O uso do tifton (contraste C3) aumentou, significativamente, o conteúdo de COT nas duas camadas inferiores, mas não na camada superficial, em relação aos demais tratamentos com plantio direto. Na área cultivada com milho para silagem, houve redução no conteúdo do COT, por causa da exportação da parte aérea da cultura, que diminui o aporte de material vegetal nesse tratamento (contraste C4).

Todos os índices de agregação utilizados foram mais elevados na camada de 0–5 cm em relação às demais (Tabela 4). Comparando esses resultados com os da Figura 2, supõe-se que o COT tenha contribuído para esse aumento. Entretanto, tal comportamento não pode ser explicado somente pelo maior conteúdo de COT presente nessa camada, pois se assim fosse, o SC não apresentaria a mesma tendência, uma vez que o con-

teúdo de COT não varia nesse tratamento. O que também pode ter contribuído para essa proporção de agregados maiores, na camada superficial, são os ciclos sucessivos de umedecimento e secagem. Como a camada superficial está sujeita a mais ciclos de umedecimento e secagem, também mais intensos, esses podem ter contribuído para aumentar a estabilidade de agregados da mesma. Esses ciclos levam à desidratação de ligantes orgânicos e inorgânicos do solo, que proporcionam a formação de agregados de maior tamanho (Horn &

Tabela 4. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), porcentagem de agregados >2,00 mm estáveis em água (AGRI), índice de estabilidade de agregados (IEA) e estimativas dos contrastes médios estabelecidos para cada profundidade⁽¹⁾.

Tratamento ⁽²⁾	Índices de agregação			
	DMP (mm)	DMG (mm)	AGRI (%)	IEA (%)
Profundidade de 0–5 cm				
PDs	1,44a	0,72a	33,35a	63,48a
PDg	1,29a	0,68a	25,60a	59,47a
PDtf	2,13a	1,44a	59,55a	76,13a
SC	0,91a	0,42a	11,50a	62,75a
MN	2,62a	2,24a	80,82a	92,17a
Contrastes ⁽³⁾				
C1	-1,18*	-1,43*	-48,32*	-26,72*
C2	0,71*	0,53*	28,00*	3,61 ^{ns}
C3	0,77*	0,74*	30,08*	14,65 ^{ns}
C4	0,15 ^{ns}	0,04 ^{ns}	7,75 ^{ns}	4,01*
Profundidade de 5–10 cm				
PDs	0,66b	0,32b	6,65b	53,30a
PDg	0,78b	0,37b	9,02b	42,98a
PDtf	2,09a	1,48a	56,10a	84,83a
SC	0,62b	0,29a	4,77a	47,96a
MN	2,46ab	2,04ab	72,67ab	92,56a
Contrastes				
C1	-1,42*	-1,43*	-53,54*	-35,29*
C2	0,56*	0,43*	19,15*	12,41*
C3	1,36*	1,14*	48,26*	36,69*
C4	-0,12 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-2,37 ^{ns}	10,32 ^{ns}
Profundidade de 10–20 cm				
PDs	0,60b	0,30b	5,35b	47,96a
PDg	0,69b	0,34b	6,35b	56,59a
PDtf	1,85b	1,24a	44,12b	84,58a
SC	0,63b	0,31a	4,37a	55,51a
MN	2,35b	1,94b	67,40b	93,83a
Contrastes				
C1	-1,41*	-1,39*	-52,35*	-32,67*
C2	0,42*	0,32*	14,23*	7,54 ^{ns}
C3	1,20*	0,92*	38,27*	32,31*
C4	-0,09 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-1,00 ^{ns}	-8,64 ^{ns}

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, na coluna de variáveis e diferentes profundidades, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

⁽²⁾PDs: milho (silagem)/soja/milho (silagem)/soja; PDg: milho/milho/milho/soja; PDtf: três anos com tifton (feno)/soja; SC: quatro anos seguidos com soja; MN: mata nativa. ⁽³⁾C1 = [(PDs + PDg + PDtf + SC) vs. (-4MN)]; C2 = [(PDs + PDg + PDtf) vs. (-3SC)]; C3 = [(-PDs - PDg) vs. (2PDtf)]; C4 = [(PDs) vs. (-PDg)]. ^{ns}Não-significativo. *Significativo pelo teste F ($P < 0,05$), conforme os contrastes estabelecidos.

Dexter, 1988; Horn, 1990). Oliveira et al. (1996) trabalharam com ciclos de umedecimento e secagem de latossolos brasileiros e concluíram que o efeito desses, sobre os agregados maiores, se manifesta mais na superfície.

O DMP foi 2,87 vezes maior na MN, em relação ao SC, na camada superficial (Tabela 4). Com relação ao DMG e à AGRI, a diferença foi maior; para IEA essa diferença não passou de 1,47 vezes. Esses resultados comprovam uma maior sensibilidade do DMP, do DMG e da AGRI, comparativamente ao IEA, em função dos usos e manejos adotados. Nas demais profundidades essa tendência prevaleceu. As correlações estabelecidas confirmam essa análise, pelos menores coeficientes obtidos para esse índice (Tabela 5). O IEA, ao contrário dos demais índices, não diferiu significativamente entre as diferentes profundidades (Tabela 4).

O cultivo do solo (contraste C1) acarretou redução dos índices de agregação, em todas as profundidades, comprovando a perda da estabilidade dos agregados, pelo uso agrícola das terras, em relação à mata nativa (Tabela 4). Carpenedo & Mielniczuk (1990) também verificaram menor agregação do solo submetido ao preparo convencional, com cultivos de trigo e soja, em relação à mata nativa. No contraste C2, houve efeito positivo do plantio direto no DMP, no DMG e na AGRI, em relação ao sistema de preparo convencional, o que mostra a importância do não revolvimento em sistemas agrícolas, deixando o solo mais resistente aos processos erosivos (Cogo et al., 2003).

O tifton (Contraste C3) foi eficiente em aumentar a estabilidade de agregados, em todos os índices calculados, exceto para IEA na camada superficial. Autores como Tisdall & Oades (1979) Carpenedo & Mielniczuk (1990) e Silva & Mielniczuk (1997) também resalta-

ram a maior eficiência das gramíneas, na formação de agregados estáveis. Esse efeito pode ser proporcionado pela liberação de exsudatos orgânicos e pela compressão das partículas unitárias e remoção de água, favorecendo a coesão entre as partículas do solo (Silva & Mielniczuk, 1997; Silva et al., 1998). A grande quantidade de raízes nas gramíneas causa secamento, localizado em torno das mesmas, e atua na aproximação das partículas minerais, por causa da pressão exercida em seu avanço, através dos espaços porosos do solo. Esses fatores, associados à liberação de substâncias orgânicas na rizosfera, favorecem a agregação do solo (Reinert, 1993; Mielniczuk, 1999).

Não houve efeito da retirada da parte aérea de milho para silagem (contraste C4) nos índices de agregação (Tabela 4). Era de se esperar que esse contraste fosse significativo, já que esse efeito reduziu o conteúdo de COT do solo (Figura 2). A retirada da parte aérea do milho silagem é uma prática que utiliza intenso tráfego de máquinas pesadas, o que pode ter causado uma compactação maior nessa área e pode ter contribuído para o aumento da estabilidade de agregados na camada superficial, nesse tratamento, compensando o menor conteúdo de COT do solo.

Os coeficientes de correlação do COT com os valores dos índices de agregação foram positivos e significativos para DMP, DMG, AGRI e IEA ($P < 0,001$) e para IEA na camada intermediária ($P < 0,01$) (Tabela 5). Paladini & Mielniczuk (1991) e Palmeira et al. (1999) também obtiveram boas correlações entre essas variáveis, no que se refere ao DMP. Castro Filho et al. (1998) encontraram correlações semelhantes às do presente trabalho, na camada de 0–10 cm, em um Latossolo Vermelho distroférrico, para os parâmetros DMP ($r = 0,746$), DMG ($r = 0,765$) e IEA ($r = 0,749$); já na camada de 10–20 cm, as correlações por eles obtidas foram menores para DMP ($r = 0,585$) e DMG ($r = 0,681$), e maiores para IEA ($r = 0,815$).

Entre os índices de agregação, o IEA apresentou as menores correlações. Isso porque esse índice é calculado baseado apenas na classe de agregados $< 0,105$ mm, que não é determinada por pesagem, mas por diferença. E essa classe não engloba apenas agregados ou areia (grãos simples), mas também toda a argila dispersa durante o processo de agitação da amostra para o tamisamento, que não se caracteriza como agregados. Portanto, trata-se de um índice que não caracteriza diretamente a estabilidade de agregados, pois é calculado com base na proporção instável da amostra.

Tabela 5. Coeficientes de correlação entre carbono orgânico total (COT) e os índices de agregação diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), porcentagem de agregados $> 2,00$ mm estáveis em água (AGRI) e índice de estabilidade de agregados (IEA), em diferentes profundidades.

Variáveis	COT		
	0–5 cm	5–10 cm	10–20 cm
DMP	0,74***	0,76***	0,77***
DMG	0,83***	0,78***	0,78***
AGRI	0,75***	0,77***	0,77***
IEA	0,69***	0,65**	0,76***

** e ***Significativo a 1% e a 0,1% pelo teste t, respectivamente.

Conclusões

1. O cultivo do solo reduz a estabilidade de agregados em água, quando comparado aos valores anteriores ao desmatamento.

2. O plantio direto aumenta os índices de agregação em relação ao preparo convencional, mas diminui em relação à mata nativa.

3. A gramínea perene tifton constitui-se numa opção para formação e estabilização de agregados estáveis em água.

4. A retirada da parte aérea da cultura do milho para silagem reduz o conteúdo de carbono orgânico total no solo.

5. O carbono orgânico apresenta boa correlação com os índices de estabilidade de agregados.

Agradecimentos

À Capes, pelo apoio financeiro; ao Cepet – Centro de Experimentação, Pesquisa e Extensão do Triângulo –, pela concessão da área de estudo.

Referências

ALVARENGA, R.C.; FERNANDES, B.; SILVA, T.C.A.; RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.273-277, 1986.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L.C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.383-391, 1999.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade dos agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.99-105, 1990.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.527-538, 1998.

COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declividade e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.743-753, 2003.

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.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq, 1997. 212p.

HARRIS, R.F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. **Advances in Agronomy**, v.18, p.107-169, 1966.

HORN, R. Aggregate characterization as compared to soil bulk properties. **Soil and Tillage Research**, v.17, p.265-289, 1990.

HORN, R.; DEXTER, R.A. Dynamics of soil aggregation in an irrigated desert loess. **Soil and Tillage Research**, v.13, p.253-266, 1988.

KIEHL, E.K. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1979. 262p.

MIELNICZUK, J. Importância do estudo de raízes no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: metodologias e estudo de caso, 1999, Aracaju, SE. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p.13-17.

OLIVEIRA, T.S.; COSTA, L.M.; REGAZZI, A.J.; FIGUEIREDO, M.S. Efeito de ciclos de umedecimento e secagem sobre a estabilidade de agregados em água de quatro latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.509-515, 1996.

PALADINI, F.C.S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.135-140, 1991.

PALMEIRA, P.R.T.; PAULETTO, E.A.; TEIXEIRA, C.F.A.; GOMES, A.S.; SILVA, J.B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.189-195, 1999.

PERIN, A.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G.; PEREIRA, M.G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um Argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.713-720, 2002.

REINERT, D.J. **Recuperação da agregação pelo uso de leguminosas e gramíneas em solo Podzólico Vermelho-Amarelo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1993. 62p.

ROTH, C.H.; CASTRO FILHO, C.; MEDEIROS, G.B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.241-248, 1991.

ROTH, C.H.; PAVAN, M.A. Effect of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. **Geoderma**, v.48, p.351-361, 1991.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.313-319, 1997.

SILVA, M.L.N.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J.M.; MARQUES, J.J.G.S.M.; CARVALHO, A.M. Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.97-103, 1998.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.33, p.141-163, 1982.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root system of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, v.17, p.429-441, 1979.

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.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of America Society of Agronomy**, v.28, p.337-357, 1936.

Recebido em 7 de julho de 2004 e aprovado em 8 de dezembro de 2004