

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

ATRIBUTOS DE AGREGAÇÃO INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO NA REGIÃO DOS CERRADOS NO SUL DO ESTADO DE GOIÁS⁽¹⁾

A. F. D'ANDRÉA⁽²⁾, M. L. N. SILVA⁽³⁾, N. CURI⁽³⁾ & M. M. FERREIRA⁽³⁾

RESUMO

Os Latossolos sob cerrado têm sido intensivamente incorporados ao processo produtivo agrícola. No entanto, são escassos estudos de qualidade do solo nesse ambiente. O objetivo deste trabalho foi verificar alterações em atributos de agregação indicadores da qualidade do solo, em decorrência da adoção de sistemas de manejo em áreas de cerrado nativo, e selecionar os atributos com melhor desempenho em indicar tais alterações. Foram coletadas amostras nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, num Latossolo Vermelho distrófico típico, em Morrinhos (GO) e avaliados: diâmetro médio geométrico, percentagem de agregados maiores que 2 mm (> 2 mm), percentagem de agregados menores que 0,25 mm (< 0,25 mm), índice de floculação, carbono orgânico total e carbono da biomassa microbiana. Os sistemas de manejo consistiram de: (1) cerrado nativo; (2) pastagem; (3) plantio direto irrigado; (4) plantio direto irrigado com histórico de gradagem superficial; (5) plantio convencional irrigado; (6) plantio convencional irrigado recente após pastagem. Os sistemas plantio direto, pastagem e plantio convencional recente não alteraram os atributos de agregação avaliados em relação ao cerrado nativo, enquanto o sistema convencional de longa duração reduziu a estabilidade de agregados em água. Na camada superficial do solo, o teor de carbono orgânico total apresentou correlação positiva com o DMG (0,865^{*}) e com a classe de agregados > 2 mm (0,852^{*}) e negativa com a classe de agregados < 0,25 mm (-0,903^{**}). O DMG e as percentagens de agregados > 2 mm e < 0,25 mm apresentaram bom desempenho em indicar alterações em relação ao cerrado, podendo ser sugeridos como componentes a serem utilizados na elaboração de um índice de qualidade do solo para a região.

Termos de indexação: sustentabilidade, estabilidade de agregados, diâmetro médio geométrico, plantio convencional, plantio direto.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Recebido para publicação em julho de 2001 e aprovado em julho de 2002.

⁽²⁾ Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista do CNPq. E-mail: dandrea@ufla.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. Bolsista do CNPq. E-mails: marx@ufla.br; niltcuri@ufla.br; mozartmf@ufla.br

SUMMARY: *AGGREGATION ATTRIBUTE INDICATORS OF SOIL QUALITY IN MANAGEMENT SYSTEMS OF A CERRADO REGION IN THE SOUTH OF GOIÁS STATE, BRAZIL*

Latosols (Oxisols) under cerrado vegetation have been intensively incorporated into the agricultural production process. However, studies involving soil quality in this environment are scarce. The objective of this work was to verify alterations on aggregation attribute indicators of soil quality, as a result of the management systems adopted for the native cerrado, and to select the best attributes indicating such alterations. The samples were collected at depths of 0-10, 10-20, and 20-40 cm from a typic Dystrophic Red Latosol (Oxisol) in Morrinhos, Goiás State, Brazil. The following attributes were evaluated: mean geometric diameter (MGD), percentage of aggregates > 2 mm, percentage of aggregates < 0.25 mm, flocculation index, total organic carbon and carbon of microbial biomass. The management systems included: (1) native cerrado; (2) pasture; (3) irrigated no-tillage; (4) irrigated no-tillage with earlier superficial harrowing; (5) irrigated conventional tillage; (6) irrigated conventional tillage after recent pasture conversion. The no-tillage, pasture and recent conventional tillage systems did not alter the evaluated aggregation attributes in relation to the native cerrado, while the long-term conventional system reduced the aggregate stability in water. In the soil surface layer, the total organic carbon amount presented positive correlation with the MGD (0.865) and with the > 2 mm aggregate class (0.852*), and a negative correlation (-0.903**) with the < 0.25 mm aggregate class. The MGD and the > 2 mm- and < 0.25 mm-aggregate groups were good indicators for alterations in relation to the native cerrado and can be suggested as useful components for the elaboration of a regional soil quality index.*

Index terms: sustainability, aggregate stability, mean geometric diameter, conventional tillage, no-tillage.

INTRODUÇÃO

Estudos recentes desenvolvidos no contexto da qualidade do solo têm destacado as relações existentes entre este e os demais componentes do ecossistema. Ao solo são atribuídas as funções de sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde humana, animal e vegetal (Doran & Parkin, 1994). Os atributos considerados indicadores de mudanças na qualidade do solo devem ter a capacidade de serem sensíveis ao manejo numa escala de tempo que permita a verificação de suas alterações (Islam & Weil, 2000). Muitos atributos físicos têm sido utilizados como tal, sendo necessário o monitoramento periódico desses atributos em decorrência da sua importância para a produtividade das culturas e resistência do solo à erosão hídrica e degradação ambiental (Karlen & Stott, 1994; Resende et al., 1996).

A estabilidade de agregados faz parte de um conjunto de dados proposto para monitoramento da qualidade do solo (Papendick, 1991, citado por Karlen & Stott, 1994), tendo sido incluída em um índice conceitual de qualidade do solo formulado por Karlen & Stott (1994), relacionado com a resistência do solo à degradação. No Brasil, estudos de avaliação de atributos indicadores da qualidade do solo na região

Sul (Silva et al., 2000) ou na região dos cerrados (Beutler et al., 2001) têm envolvido a quantificação de índices de estabilidade de agregados e da distribuição de agregados por classe de tamanho, estabelecendo relações com atributos químicos e físicos em vários sistemas de manejo e situações de cobertura do solo.

O estado de agregação do solo pode indicar mudanças decorrentes do manejo, tanto com relação ao tamanho e estabilidade dos agregados (Silva et al., 1998; Alcântara & Ferreira, 2000; Beutler et al., 2001), como à concentração dos agregados em determinada classe de tamanho, em Latossolos (Da Ros et al., 1997; Castro Filho et al., 1998; Beutler et al., 2001) ou solos menos intemperizados (Palmeira et al., 1999). A estabilidade de agregados tem sido relacionada com o teor de carbono orgânico em cultivos anuais (Silva & Mielniczuk, 1997b; 1998; Castro Filho et al., 1998) ou perenes (Alcântara & Ferreira, 2000), sendo relatado que o cultivo intensivo provoca a redução da estabilidade com o aumento da taxa de oxidação da matéria orgânica (Oades, 1984).

Vale destacar que a agregação do solo é também influenciada pela cobertura vegetal, havendo estudos que indicam que gramíneas causam efeito benéfico na agregação (Allison, 1973; Reid & Goss, 1980). Neste sentido, diferenças na estabilidade de

agregados têm sido relatadas em áreas de gramíneas perenes (Silva & Mielniczuk, 1997a,b; 1998), de gramíneas usadas como plantas de inverno, antecedendo o plantio direto (Campos et al., 1999), e de gramíneas usadas na adubação verde (Silva et al., 1998), em relação a outros sistemas de manejo.

Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar alterações em atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em decorrência da adoção de sistemas de manejo em área de cerrado nativo, selecionando os atributos com melhor desempenho em indicar tais alterações, num Latossolo Vermelho distrófico típico do sul do estado de Goiás.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no município de Morrinhos, localizado no sul do estado de Goiás e situado na unidade geomorfológica do Planalto Central Goiano, subunidade Planalto Rebaixado de Goiânia. O Latossolo Vermelho distrófico típico foi desenvolvido a partir de cobertura detrito-laterítica Pleistocênica sobre micaxistos do grupo Araxá do Proterozóico Inferior. O clima da região é Aw (tropical estacional de savana) no sistema de Köppen, com inverno seco e verão quente, e temperatura do mês mais frio superior a 18 °C. A precipitação média da região é de 1.380 mm, com período chuvoso de outubro a abril e período seco de maio a setembro, estando 80 % das chuvas concentradas entre dezembro e março (Freitas & Blancaneaux, 1998).

Para as amostragens, foram selecionadas cinco propriedades agrícolas (uma para cada sistema de manejo em estudo), com base na sua representatividade para a região no que se refere ao histórico de uso da terra e às características dos sistemas de manejo adotados, conforme revelaram estudos anteriores (Carvalho Filho et al., 1998; Teixeira et al., 1998). Foram escolhidas duas situações de plantio direto, duas de plantio convencional e uma pastagem. Em adição, foi selecionada uma área sob vegetação de cerrado nativo, empregado como referência por se tratar de um sistema em equilíbrio e sem histórico de intervenção humana.

Os sistemas de manejo foram assim denominados: (a) CER: vegetação nativa típica de cerrado 'stricto sensu'; (b) PAS: pastagem plantada de *Brachiaria decumbens* de longo uso, sob pastejo contínuo de gado bovino em regime extensivo e sem manejo da fertilidade nos 10 anos anteriores à amostragem; (c) PD1: plantio direto irrigado por pivô central desde o ano agrícola 1995/96, com cultivo principal de milho para semente sucedido por feijão na época seca, tendo sido feita uma subsolagem a 15 cm de profundidade para incorporação de termofosfato em 1998; (d) PD2: plantio direto irrigado por pivô central desde 1995/96, com cultivo de milho, feijão e arroz e

uma safra de tomate industrial em 1998, quando foi efetuada uma gradagem superficial a 10 cm de profundidade; (e) PC1: plantio convencional de longa duração, com uso de grade pesada, e irrigado por pivô central desde 1998/99, com cultivo de milho após mais de 15 anos de rotação soja/milho na condição de sequeiro; (f) PC2: plantio convencional recente sob pivô central e com uso de grade aradora pesada desde o ano agrícola 1998/99, com histórico de rotação de culturas com abóbora/feijão/milho-doce, após mais de 10 anos sob pastagem de *Brachiaria decumbens*.

As amostragens foram efetuadas em fevereiro de 2000, em três profundidades (0-10, 10-20 e 20-40 cm). Em cada profundidade, e em cada sistema de manejo, inclusive no cerrado nativo, foram retiradas três amostras compostas, cada uma constituindo uma repetição.

A análise granulométrica foi realizada após dispersão da amostra com NaOH 1 mol L⁻¹ e agitação rápida (6.000 rpm) por 15 minutos sendo a argila determinada pelo método da pipeta (Day, 1965) (Quadro 1). Por se tratar de um Latossolo, determinouse, também, a textura em amostras coletadas na profundidade de 80-100 cm, representando o horizonte Bw. Em todos os sistemas de manejo estudados, o solo foi enquadrado na textura argilosa (dados não apresentados).

A argila dispersa em água foi determinada sem o uso de dispersante químico, tendo sido o índice de floculação calculado de acordo com EMBRAPA

Quadro 1. Características granulométricas de Latossolo Vermelho distrófico típico submetido a seis sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Areia	Silte		Argila
		g kg ⁻¹		
		0-10 cm		
CER	467	198		335
PAS	319	248		433
PD1	300	257		443
PD2	388	249		363
PC1	374	295		331
PC2	508	167		325
		10-20 cm		
CER	390	219		391
PAS	317	286		397
PD1	290	303		407
PD2	360	300		340
PC1	360	238		402
PC2	509	135		356
		20-40 cm		
CER	357	203		440
PAS	300	309		391
PD1	293	267		440
PD2	329	243		428
PC1	400	190		410
PC2	487	158		355

(1997). A quantificação de caulinita e gibbsita foi feita por meio de análise térmica diferencial (ATD) na fração argila desferrificada, obtida no resíduo do tratamento com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) (Mehra & Jackson, 1960). Os óxidos extraídos pelo ataque sulfúrico (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5) foram determinados segundo EMBRAPA (1997) (Quadro 2), para fins de caracterização do solo, em amostra coletada na área sob cerrado nativo.

O pH foi determinado em água e em solução normal de KCl, segundo Vettori (1969), sendo o delta pH (ΔpH) calculado pela expressão: $\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} - \text{pH}_{\text{KCl}}$. O carbono orgânico total foi determinado por oxidação a quente com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal (Walkley & Black, 1934). O carbono da biomassa microbiana foi avaliado pelo método da fumigação-extração (Vance et al., 1987), em amostras especialmente protegidas de luz e acondicionadas em caixas térmicas. O carbono de amostras fumigadas e não fumigadas com clorofórmio foi extraído com K_2SO_4 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e a uma alíquota desse extrato foram adicionados $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,0667 \text{ mol L}^{-1}$ e $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_3\text{PO}_4$ (1:2), com aquecimento. A titulação foi feita com solução de sulfato ferroso amoniacal $0,0333 \text{ mol L}^{-1}$, enquanto o carbono da biomassa microbiana foi calculado pela seguinte expressão: $\text{Cmic} = (\text{F} - \text{NF}) / \text{Kec}$, sendo Cmic: carbono da biomassa microbiana ($\mu\text{g g}^{-1}$); F: $\mu\text{g g}^{-1}$ de carbono da amostra fumigada; NF: $\mu\text{g g}^{-1}$ de carbono da amostra não fumigada; Kec: fator para converter o carbono extraído a Cmin (foi usado 0,30, o valor mais freqüente encontrado por Feigl et al., 1995).

Agregados com diâmetro de 4,76 a 7,93 mm foram obtidos nas amostras por peneiramento do solo, sendo a estabilidade de agregados determinada por peneiramento em água, após pré-umedecimento lento por capilaridade (Oliveira et al., 1983; Kemper & Rosenau, 1986). Foram usadas peneiras de malhas correspondentes a 2, 1, 0,5, 0,25 e 0,105 mm para separação das classes de tamanho dos agregados. O diâmetro médio geométrico, a percentagem de agregados maiores que 2 mm e a percentagem de agregados menores que 0,25 mm foram calculados, respectivamente, com o uso das seguintes expressões:

$$\text{DMG} = \exp \left[\frac{\sum (w_i \cdot \text{Ln } x_m)}{\sum w_i} \right],$$

$$> 2 \text{ mm} = 100 \cdot \left[\frac{(w_{>2})}{\sum w_i} \right],$$

$$< 0,25 \text{ mm} = 100 \cdot \left[\frac{(w_{<0,25})}{\sum w_i} \right],$$

em que DMG: diâmetro médio geométrico (mm); w_i : massa dos agregados de cada classe de tamanho (g); $\text{Ln } x_m$: logaritmo natural do diâmetro médio de cada classe de tamanho; $\sum w_i$: massa total da amostra (g); $> 2 \text{ mm}$: percentagem de agregados maiores que 2 mm (%); $w_{>2}$: massa de agregados com diâmetro maior que 2 mm (g); $< 0,25 \text{ mm}$: percentagem de agregados menores que 0,25 mm (%); $w_{<0,25}$: massa de agregados com diâmetro menor que 0,25 mm (g).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com estrutura em faixas conforme as profundidades de amostragem. Para verificar os pressupostos da análise de variância (aditividade do modelo e normalidade de distribuição dos erros), foram utilizados os procedimentos "Univariate" e "General Linear Models" (GLM) do pacote estatístico SAS (SAS Institute, 1985).

Os resultados foram submetidos à análise de variância para verificar os efeitos dos sistemas de manejo, da profundidade e da interação sistema x profundidade. As comparações múltiplas de médias foram feitas com o uso do teste de Tukey, a 5 % de probabilidade, utilizando-se o programa SISVAR (Ferreira, 2000). O modelo usado no delineamento foi: $Y_{ij} = m + S_i + \text{Erro (Sistema)} + P_j + \text{SP}_{ij} + \text{Erro (Geral)}$, em que Y_{ij} : valor de cada observação; m: média da observação no sistema i e profundidade j; S_i : efeito do sistema i; Erro (Sistema): erro atribuído ao efeito da repetição dentro do sistema i; P_j : efeito da profundidade j; SP_{ij} : efeito da interação entre o sistema i e a profundidade j; Erro (Geral): resíduo geral. Foram feitas análises de correlação de Pearson, bem como verificada a significância dos coeficientes de correlação efetuada pelo teste t de Student.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O diâmetro médio geométrico (DMG) variou entre os sistemas de manejo, sendo observadas diferenças

Quadro 2. Características mineralógicas e químicas em Latossolo Vermelho distrófico típico do sul do estado de Goiás

Profundidade	Ct	Gb	Gt	Hm	Ataque sulfúrico					Ki	Kr
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅		
cm	g kg ⁻¹										
0-20	188	335	59	19	123	174	140	13	1	1,20	0,80
20-40	192	457	66	19	128	208	153	21	1	1,05	0,71

Ct: caulinita; Gb: gibbsita; Gt: goethita; Hm: hematita; Ki: relação sílica/alumina; Kr: relação sílica/sesquióxidos.

significativas em todas as profundidades estudadas (Quadro 3). Os maiores valores absolutos de DMG foram encontrados no cerrado nativo (CER), com 4,62 mm na profundidade de 10-20 cm, e no sistema pastagem (PAS), com 4,65 mm na camada superficial e 4,48 mm na profundidade de 20-40 cm. Os sistemas plantio direto (PD1 e PD2) e o convencional recente após pastagem (PC2) apresentaram valores de DMG que não diferiram estatisticamente dos maiores valores nas três profundidades de amostragem. Por outro lado, a adoção do sistema convencional de longa duração (PC1) resultou em diminuição do DMG nas três profundidades amostradas, com valores significativamente menores do que os do cerrado nativo, variando de 3,04 a 3,42 mm.

Esse mesmo padrão foi observado quando a estabilidade de agregados foi expressa pela porcentagem de agregados > 2 mm, com os valores obtidos no sistema CER sempre superiores aos do sistema PC1 (Quadro 3). O PC1 reduziu os valores de DMG em 26, 32 e 31 %, respectivamente, para as profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, e os valores

da porcentagem de agregados > 2 mm em 13, 12 e 16 %, na mesma ordem e em relação ao cerrado nativo. Em contrapartida, a porcentagem de agregados < 0,25 mm no sistema convencional de longa duração (PC1) superou as dos demais sistemas de manejo em todas as profundidades, com valores entre 5,4 e 8,4 %, com aumentos que variaram de quatro vezes (profundidades de 0-10 e 20-40 cm) a 11 vezes (profundidade de 10-20 cm), em relação ao sistema CER.

O efeito da profundidade sobre os índices de estabilidade de agregados foi significativo apenas para o DMG e porcentagem de agregados > 2 mm, sendo observada uma redução nos valores desses índices com o aumento da profundidade (Quadro 3). Uma vez que não foram observadas diferenças significativas nos teores de carbono orgânico total entre os sistemas de manejo estudados (análise de variância, dados não apresentados), esse comportamento decorre, possivelmente, do efeito físico das raízes das plantas em cada sistema de manejo, uma vez que a maior parte do sistema radicular concentra-se perto da superfície.

No presente estudo, a elevada estabilidade de agregados em água no sistema cerrado (CER) é resultado de uma situação mais equilibrada encontrada nesse sistema, uma vez que não existe movimentação do solo por implementos agrícolas com a sua conseqüente desagregação. Além disso, a diversidade de espécies vegetais do cerrado, oriundas tanto de estratos arbóreos e arbustivos como graminóides, permite a existência de diferentes substâncias orgânicas depositadas na rizosfera, como mucilagens e mucigel, favorecendo a atividade de microrganismos que podem contribuir com a produção de polissacarídeos extracelulares, fatores promotores de melhorias na agregação do solo (Oades, 1984; Moreira & Siqueira, 2002).

Quanto ao sistema pastagem (PAS), os elevados valores de DMG e porcentagem de agregados maiores que 2 mm obtidos evidenciam a relação com as características do sistema radicular da *Brachiaria decumbens*. Apesar da ausência de manejo da fertilidade nesse sistema (conforme seu histórico de uso), foi constatada grande quantidade de raízes no perfil do solo (observações de campo), o que resulta num efeito rizosférico elevado e bastante benéfico para a agregação do solo, o que é amplamente documentado no caso de gramíneas perenes (Alexander, 1980; Reid & Goss, 1980; Oades, 1984; Silva & Mielniczuk, 1997a; Silva et al., 1998; Moreira & Siqueira, 2002). As gramíneas são consideradas por Oades (1984) os mais eficientes melhoradores da estrutura do solo, uma vez que produzem cerca de 50 % dos seus fotossintatos abaixo da superfície do solo, na zona do sistema radicular.

Os sistemas plantio direto avaliados também apresentaram elevada estabilidade de agregados, tanto pelos altos valores de DMG e porcentagem de

Quadro 3. Índices de estabilidade de agregados e índice de floculação (IF) em Latossolo Vermelho distrófico típico submetido a seis sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	DMG	> 2,0 mm < 0,25 mm		IF
		mm	%	
0-10 cm				
CER	4,64 a	97,5 a	1,0 b	72 a
PAS	4,65 a	97,3 a	0,8 b	80 a
PD 1	4,36 a	94,1 ab	1,4 b	76 a
PD 2	4,54 a	96,7 a	1,4 b	88 a
PC 1	3,42 b	85,1 b	5,4 a	76 a
PC 2	4,25 a	93,3 ab	2,2 b	85 a
Média	4,31 A	94,0 A	2,0 A	79 A
10-20 cm				
CER	4,62 a	96,4 a	0,7 b	82 a
PAS	4,42 a	94,2 ab	0,9 b	88 a
PD 1	4,38 a	94,8 a	1,6 b	83 a
PD 2	4,38 a	94,8 a	1,7 b	89 a
PC 1	3,15 b	84,4 b	8,4 a	78 a
PC 2	4,56 a	96,8 a	1,3 b	85 a
Média	4,25 AB	93,6 A	2,5 A	84 A
20-40 cm				
CER	4,39 a	93,8 a	1,2 b	88 a
PAS	4,48 a	94,7 a	0,9 b	79 a
PD 1	3,84 ab	89,1 a	3,0 b	76 a
PD 2	3,85 ab	88,4 ab	2,7 b	82 a
PC 1	3,04 b	78,8 b	6,0 a	86 a
PC 2	4,41 a	95,3 a	1,9 b	75 a
Média	4,00 B	90,0 B	2,6 A	81 A

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. Letras minúsculas comparam sistemas de manejo dentro das profundidades estudadas e maiúsculas comparam o valor médio dos atributos avaliados em cada profundidade.

agregados maiores que 2 mm, quanto pela reduzida percentagem de agregados pequenos, menores que 0,25 mm (Quadro 3). Naturalmente, a ausência de movimentação do solo nesses sistemas (exceto na linha de plantio) favorece a formação e estabilização dos agregados do solo, uma vez que a ruptura de agregados grandes em pequenos pela ação de implementos é mínima, ao contrário de sistemas com movimentação do solo para o plantio (convencionais). Além disso, é possível que as maiores adições de matéria orgânica ao solo decorrentes do manejo das plantas de cobertura possam contribuir com maior suprimento de carbono ao solo, favorecendo a atividade microbiana e, conseqüentemente, a estabilização dos agregados.

Dentre os sistemas estudados, a situação menos adequada em termos de agregação do solo foi observada no sistema convencional PC1. Caracterizado por constantes e sucessivas operações de movimentação do solo ao longo dos anos de cultivo, o PC1 apresentou redução dos valores da classe de agregados maiores que 2 mm e um aumento dos valores da classe de agregados menores que 0,25 mm, o que indica a desagregação e pulverização do solo resultantes do uso continuado de implementos de discos. Destaca-se que o DMG observado no solo do outro sistema convencional (PC2) foi muito elevado para todas as profundidades, não tendo diferido do cerrado nativo (Quadro 3).

Considerando que o histórico de uso do PC2 reflete um plantio convencional recente, com apenas três cultivos agrícolas após longo uso com pastagem de *Brachiaria* sp., os resultados evidenciam que o tempo de cultivo sob sistema convencional não foi suficiente para alterar o efeito estável de agregação

obtido pela ação contínua do sistema radicular da gramínea, conforme destacado por Silva et al. (1998), uma vez que o elevado valor de DMG no PC2 contrasta com aquele observado no sistema convencional de longa duração (PC1), o menor dentre os sistemas estudados.

Apesar das diferenças significativas encontradas entre os sistemas de manejo, no que se refere aos índices de estabilidade de agregados, os valores obtidos podem ser atribuídos, em geral, ao bom estado de agregação do solo, uma vez que os sistemas de manejo, em sua maioria, apresentaram mais de 90 % dos agregados na classe > 2 mm (Quadro 3), e, mesmo no sistema menos conservacionista, plantio convencional de longa duração (PC1), houve 85, 84 e 79 % de agregados > 2 mm, respectivamente, para as profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Este fato está, possivelmente, relacionado com as características mineralógicas do solo estudado (Quadro 2), onde a estrutura microgranular fortemente desenvolvida (observada no campo), mantida pela presença expressiva de gibbsita e óxidos de ferro (Resende et al., 1999), parece ser responsável por esse comportamento (Ferreira et al., 1999).

Buscando verificar o grau de dependência entre alguns atributos relacionados com a agregação do solo e os índices de agregação aqui avaliados, procedeu-se à análise de correlação entre eles (Quadro 4). A importante contribuição do carbono orgânico total no processo de agregação do solo na camada superficial é indicada pelos coeficientes de correlação significativos para o DMG (0,865*), % de agregados maiores que 2 mm (0,852*) e % de agregados menores que 0,25 mm (-0,903**).

Quadro 4. Coeficientes de correlação entre índices de estabilidade de agregados e atributos com estes relacionados, em Latossolo Vermelho distrófico típico submetido a seis sistemas de manejo em três profundidades de amostragem do solo

Sistema	Argila	ΔpH	IF	CO	Cmic
			0-10 cm		
DMG	0,040ns	0,252ns	0,161ns	0,865*	0,589ns
> 2 mm	0,363ns	0,229ns	0,178ns	0,852*	0,591ns
< 0,25 mm	-0,487ns	-0,345ns	-0,133ns	-0,903**	-0,562ns
			10-20 cm		
DMG	-0,350ns	0,247ns	0,660ns	0,090ns	0,605ns
> 2 mm	-0,401ns	0,160ns	0,641ns	0,021ns	0,542ns
< 0,25 mm	0,297ns	-0,327ns	-0,707ns	-0,205ns	-0,620ns
			20-40 cm		
DMG	-0,300ns	0,345ns	-0,332ns	-0,037ns	0,707ns
> 2 mm	-0,313ns	0,298ns	-0,411ns	-0,091ns	0,710ns
< 0,25 mm	0,139ns	-0,376ns	0,264ns	-0,036ns	-0,719ns

$\Delta pH = pH_{H_2O} - pH_{KCl}$; IF: índice de floculação; CO: carbono orgânico total; Cmic: carbono da biomassa microbiana.
*, ** e ns: Significativos a 5 e 1 % pelo teste t e não-significativo.

Estes resultados confirmam os de alguns trabalhos de avaliação da qualidade do solo desenvolvidos na região dos cerrados, nos quais foram verificadas relações entre o teor de carbono orgânico do solo e os atributos físicos usados como indicadores (Alvarenga et al., 1999; Alcântara & Ferreira, 2000; Beutler et al., 2001).

Alcântara & Ferreira (2000) destacaram a importância da matéria orgânica para a estabilidade dos agregados, em estudos envolvendo a avaliação da qualidade do solo. A participação do carbono orgânico total na agregação do solo não foi evidente nas profundidades de 10-20 cm e 20-40 cm, uma vez que não foram observadas correlações significativas. Segundo Castro Filho et al. (1998), os efeitos da matéria orgânica na agregação do solo mostraram-se maiores na superfície, revelando a atuação de outros mecanismos de agregação nas camadas mais profundas.

No presente estudo, o teor de argila não se correlacionou bem com os índices de agregação, indicando que o manejo a que o solo foi submetido nos diferentes sistemas avaliados exerceu maior influência sobre esses atributos do solo. Silva & Mielniczuk (1997a) destacaram a complexidade dos mecanismos responsáveis pela estabilidade de agregados, sendo difícil sua caracterização. A ausência de correlação significativa entre o carbono orgânico total e os índices de estabilidade de agregados, verificada no presente estudo, está de acordo com as afirmativas de alguns autores de que nem sempre essas relações se estabelecem (Silva & Mielniczuk, 1997a; Campos et al., 1999). Os resultados tornam evidente a importância da matéria orgânica para a agregação apenas na camada superficial do solo.

CONCLUSÕES

1. Os sistemas plantio direto irrigado, pastagem e plantio convencional recente após pastagem não causaram alterações significativas na agregação do solo em relação ao cerrado nativo. O sistema convencional de longa duração reduziu a estabilidade de agregados.

2. O diâmetro médio geométrico, a percentagem de agregados maiores que 2 mm e a percentagem de agregados menores que 0,25 mm apresentaram bom desempenho em indicar alterações decorrentes da adoção de sistemas de manejo distintos em relação ao cerrado nativo.

3. O carbono orgânico total apresentou correlação significativa com os índices de estabilidade de agregados avaliados somente na camada superficial do solo.

4. A adoção de um sistema de manejo com grande movimentação do solo por longo tempo em área

originalmente de cerrado nativo contribuiu para a redução da estabilidade de agregados em água, ao contrário de sistemas agrícolas mais conservacionistas, como o plantio direto, que mantiveram a agregação em níveis semelhantes aos do cerrado nativo.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro ao projeto. Aos produtores rurais do sul do estado de Goiás, pelas facilidades concedidas durante os trabalhos de campo e pela permissão de uso das áreas experimentais, as quais serviram de base para o desenvolvimento deste projeto.

LITERATURA CITADA

- ALEXANDER, M. Introducción a la microbiología del suelo. México, D.F. Libros y Editoriales, 1980. 491p.
- ALLISON, F.E. Soil organic matter and its role in crop production. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Co., 1973. 637p.
- ALCÂNTARA, E.N. & FERREIRA, M.M. Efeitos de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade física do solo. R. Bras. Ci. Solo, 24:711-721, 2000.
- ALVARENGA, M.I.N.; SIQUEIRA, J.O. & DAVIDE, A.C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. Ci. Agrotec., 23:617-625. 1999.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; PEREIRA FILHO, I.A. & CRUZ, J.C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no Estado de Minas Gerais. R. Bras. Ci. Solo, 25:129-136, 2001.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLÓDI, R. & CASSOL, L.C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. R. Bras. Ci. Solo, 23:383-391, 1999.
- CARVALHO FILHO, A.; MOTTA, P.E.F.; CHAGAS, C.S.; KER, J.C.; BLANCANEUX, P.; CARVALHO Jr., W.; AMABILE, R.F.; COSTA, L.D. & PEREIRA, N.R. A cobertura pedológica e as interações com as rochas, o relevo e a cobertura vegetal. In: BLANCANEUX, P., ed. Interações ambientais no cerrado - Microbacia Piloto de Morrinhos, estado de Goiás, Brasil. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1998. p.69-143.
- 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.
- DA ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A. & PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. R. Bras. Ci. Solo, 21:241-247, 1997.

- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.545-566.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In.: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (SSSA Special Publication, 35)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1997. 212p.
- FEIGL, B.J.; SPARLING, G.P.; ROSS, D.J. & CERRI, C.C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. *Soil Biol. Biochem.*, 27:1467-1472, 1995.
- FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para análise de variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, Anais. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 2000. p.255-258.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURTI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:515-524, 1999.
- FREITAS, P.L. & BLANCANEUX, P. Avaliação sobre os aspectos climatológicos e hidrológicos da microbacia piloto de Goiás, Morrinhos. In.: BLANCANEUX, P., ed. *Interações ambientais no Cerrado: microbacia piloto de Morrinhos, Estado de Goiás, Brasil*. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1998. p.31-52.
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. *J. Soil Water Conserv.*, 55:69-79, 2000.
- KARLEN, D.L. & STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.53-72. (SSSA Special Publication, 35)
- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. *Methods of soil analysis, Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2.ed. 1986. p 425-441. (Agronomy Monograph, 9)
- MEHRA, O.P. & JACKSON, N.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner.*, 3:317-327, 1960.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 625p.
- OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant Soil*, 76:319-337, 1984.
- OLIVEIRA, M.; CURTI, N. & FREIRE, J.C. Influência do cultivo na agregação de um Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa da região de Lavras (MG). *R. Bras. Ci. Solo*, 7:317-322, 1983.
- 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:189-195, 1999.
- REID, J.B. & GOSS, M.J. Changes in the aggregate stability of a sandy loam effected by growing roots of perenial ryegrass (*Lolium perenne*). *J. Sci. Food Agric.*, 31:325-328, 1980.
- RESENDE, M.; CURTI, N. & LANI, J.L. Tropical soils: implications on sustainable development. In: FORMOSO, M.L.L. & CERRI, C.C. *Workshop on tropical soils*. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Letras, 1999. p.155-170.
- RESENDE, M.; KER, J.C. & BAHIA FILHO, A.F.C. Desenvolvimento sustentado no cerrado. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.169-199.
- SAS INSTITUTE. *SAS User's guide: statistics*. 5.ed. Cary, N.C., 1985. 956p.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:113-117, 1997a.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:313-319, 1997b.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:311-317, 1998.
- SILVA, M.L.N.; BLANCANEUX, P.; CURTI, 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. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:97-103, 1998.
- SILVA, M.L.N.; CURTI, N. & BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:2485-2492, 2000.
- TEIXEIRA, S.M.; MILHOMEM, A.; FREITAS, P.L. & BLANCANEUX, P. Microbacias hidrográficas e desenvolvimento rural. Uma abordagem socioeconômica. In: BLANCANEUX, P., ed. *Interações ambientais no cerrado - Microbacia Piloto de Morrinhos, estado de Goiás, Brasil*. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1998. p.261-282.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil. Biol. Biochem.*, 19:703-707, 1987.
- VETTORI, L. *Métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37:29-38, 1934.