

BENO WENDLING

**EFEITOS DO USO E MANEJO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E NO CARBONO
ORGÂNICO DE UM LATOSSOLO VERMELHO NO TRIÂNGULO MINEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2003**

BENO WENDLING

**EFEITOS DO USO E MANEJO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E NO CARBONO
ORGÂNICO DE UM LATOSSOLO VERMELHO NO TRIÂNGULO MINEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

APROVADA: 07 de março de 2003.

Prof. Júlio César Lima Neves
(Conselheiro)

Prof^ª. Irene Maria Cardoso

Prof. Ricardo Henrique Silva Santos

Prof. Raphael Bragança Alves Fernandes

Prof. Ivo Jucksch
(Orientador)

As meus pais, Silvino e Irene

Aos meus irmãos, Nair, Ademir e Elena

E a minha filha Lívia...

... à quem dedico esta realização!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo direito de viver.

Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, que me concedeu o privilégio desta oportunidade.

À Coordenaria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Centro de Experimentação, Pesquisa e Extensão do Triângulo (CEPET/UFV) pela cedência da área para estudo.

Ao professor Ivo Jucksch, pela paciência, pelos ensinamentos, pela orientação e pela amizade transmitidas no decorrer deste percurso.

Aos conselheiros Julio César Lima Neves e Eduardo de Sá Mendonça, pela colaboração e dedicação.

Ao Chico, ao Bill, ao Maurinho e aos demais funcionários do CEPET/UFV, pela ajuda na coleta de solos e informações prestadas.

Ao Robson, pela disposição e ajuda na viagem de coleta de solos.

Aos laboratoristas Cláudio e Benedito; as secretárias Júnia, Luciana e Sônia, pela colaboração e amizade.

Aos professores com os quais tive a oportunidade de cursar disciplinas, pelos conhecimentos transmitidos.

A toda minha família, que sempre esteve do meu lado, podendo sempre contar com a ajuda deles.

Aos velhos amigos..., e aos novos também.

E a todos que, de alguma forma, tiveram contribuição na realização deste trabalho.

..... que Deus lhes seja grato, em todos os sentidos!!!

..... Meu Muito Obrigado!!!

BIOGRAFIA

BENO WENDLING, filho de Silvino José Wendling e Irene Maria Wendling, nascido aos 28 dias do mês de julho de 1972, em São João do Oeste-SC.

Em 1991, formou-se Técnico em Agropecuária pelo Colégio Agrícola São José (CASJ), Itapiranga-SC.

Em agosto de 2001, foi diplomado Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria-RS.

Em agosto de 2001 ingressou no mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, vinculado ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, vindo a defender o título de *Magister Scientiae* nesta ocasião.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
INTRODUÇÃO GERAL	1
ESTABILIDADE DE AGREGADOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DA ADOÇÃO DE DIFERENTES USOS E MANEJOS.....	3
RESUMO	3
SUMMARY	4
INTRODUÇÃO.....	5
MATERIAL E MÉTODOS.....	6
RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
CONCLUSÕES	18
LITERATURA CITADA.....	19
DENSIDADE, POROSIDADE E RETENÇÃO DE ÁGUA DE UM LATOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DA ADOÇÃO DE DIFERENTES USOS E MANEJOS	22
RESUMO	22
SUMMARY	23
INTRODUÇÃO.....	24
MATERIAL E MÉTODOS.....	25
RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
CONCLUSÕES	41
LITERATURA CITADA.....	42
CONCLUSÕES GERAIS	45
APÊNDICE	46

RESUMO

WENDLING, Beno, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2003. **Efeitos do uso e manejo nas propriedades físicas e no carbono orgânico de um Latossolo Vermelho no triângulo mineiro.** Orientador: Ivo Jucksch. Conselheiros: Júlio César Lima Neves e Eduardo de Sá Mendonça.

Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar propriedades físicas de cinco áreas submetidas a diferentes usos e manejos. As amostras de solo foram coletadas em agosto de 2002, no final do período seco, em Capinópolis-MG. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho, textura franco-argilo-arenosa, com relevo suavemente ondulado. O clima é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 23°C, precipitação média anual em torno de 1300 mm e vegetação nativa fase floresta subcaducifólia. Os tratamentos consistiram de diferentes usos: mata nativa e áreas cultivadas; e diferentes manejos: sistema de preparo convencional e plantio direto, onde dentro do último ainda foram avaliados três diferentes sistemas de manejo. Para a discussão dos resultados foram estabelecidos contrastes ortogonais para isolar os efeitos cultivo, plantio direto, tifton (gramínea perene) e silagem (de milho). Concluiu-se que: (i) o cultivo do solo levou a degradação física, comprovada pela redução da porosidade, da capacidade de aeração, dos teores de carbono orgânico total, da estabilidade de agregados e aumento da densidade do solo; (ii) o plantio direto contribuiu para a melhoria destas propriedades, porém ainda muito distante da mata nativa; (iii) entre os sistemas de plantio direto, aquele que utilizou a gramínea perene tifton, apresentou o melhor potencial para recuperação de propriedades físicas degradadas, podendo, portando, ser usada com sucesso para essa finalidade; (iv) a prática da silagem reduziu os teores de carbono orgânico total do solo, porém, as demais propriedades físicas avaliadas não foram afetadas significativamente; e (v) índices relacionando capacidade de aeração e capacidade de campo com porosidade total, foram sensíveis à adoção de diferentes usos e manejos.

ABSTRACT

WENDLING, Beno, M.S., Universidade Federal de Viçosa, march, 2003. **Effects of the use and management on the physical properties and on the organic carbon of a red latossol in the triangle of Minas Gerais-Brasil.** Adviser: Ivo Jucksch. Committee members: Júlio César Lima Neves e Eduardo de Sá Mendonça.

The goal of this study was to evaluate the physical properties of five areas subjected to different uses and managements. Samples were collected in August 2002, in Capinópolis-MG, at the end of the dry period. The soil of the location is a red latossol (*Typic Haplorthox*, with textural class sandy-clay-loam). The climate belongs to the type Aw, according to Köppen's classification, with annual average temperatures of 23°C, annual average precipitation around 1300 mm. The treatments consisted of different uses: native forest and cultivated areas; and different managements: conventional cultivation and no tillage. Orthogonal contrasts were done among the treatments to isolate the effects of: cultivation, no tillage, tifton (hay) and silage (of corn). It concluded that: (i) the cultivation of the soil caused a physical degradation, proved by the reduction of the porosity, of the aeration capacity, of the contents of total organic carbon, of the aggregate stability and increase of the soil density; (ii) the no tillage contributed to the improvement of the physicals properties, however still very distant of the native forest; (iii) among of no tillage systems, perennial tifton grass introduced presented the best potential to recover the degraded physical properties, and can be used with success for this purpose; (iv) the practice of silage reduced drastically the contents of organic carbon of the soil, however the other physical properties evaluated were not significantly affected and; (v) the values of the relations: air capacity/total porosity and field capacity/total porosity can be used as indicators of the good physical quality of the soil.

INTRODUÇÃO GERAL

A crescente demanda interna por alimentos e a necessidade de exportação de produtos agrícolas para aumentar as divisas do país, tem contribuído para o surgimento de uma agricultura cada vez mais impactante ao meio ambiente. A desestruturação do solo, a compactação, a redução da aeração, a diminuição da infiltração de água da chuva e redução dos teores de carbono orgânico total, são considerados os principais indicadores da degradação física dos solos agrícolas. Tal degradação, com todas as suas implicações e conseqüências, tem resultado no desafio de viabilizar sistemas de produção que possibilitem maior eficiência energética e conservação ambiental, criando-se novos paradigmas tecnológicos baseados na sustentabilidade.

Na região central do Brasil, a grande evolução na adoção do sistema de plantio direto, observada nos últimos anos, deu-se graças à solução parcial ou total dos problemas resultantes deste sistema, tais como a formação e manutenção de cobertura morta, correção das propriedades físicas e químicas do perfil do solo, mecanização do plantio, manejo das plantas daninhas e pragas, dentre outros. Entretanto, sob as condições climáticas reinantes neste bioma, tem sido difícil à formação e principalmente a manutenção de volume de palhada, em quantidade suficiente para proteger plenamente a superfície do solo, devido à presença de uma estação seca, que interrompe o crescimento dos vegetais.

O sistema de plantio direto tem resultado na maioria das situações, na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, contribuindo para aumentar a infiltração de água e a redução da erosão do solo, mantendo mais uniforme a umidade e temperatura do solo, melhorando desta forma a disponibilidade de nutrientes para as culturas.

A superioridade do sistema de plantio direto sobre o sistema de preparo convencional tem sido, em geral, provada em uma grande variedade de condições em todo o mundo. Agora é necessário desenvolver e adaptar o sistema em cada local e assegurar-se de que a tecnologia funcione sob as condições ambientais e sócio-econômicas regionais ou locais.

Neste sentido surgiu a preocupação em desenvolver esse trabalho, com o objetivo de avaliar as mudanças nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho em função da

adoção de diferentes usos e manejos, buscando subsidiar o agricultor em sua decisão de qual ou quais sistemas de manejo adotar, visando a conservação e recuperação de seus solos.

Esta tese foi dividida em dois artigos, apresentados conforme as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo.

ESTABILIDADE DE AGREGADOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DA ADOÇÃO DE DIFERENTES USOS E MANEJOS

RESUMO

Partindo da afirmação de que o uso e manejo do solo, o nível e o tempo de utilização influenciam na estabilidade de agregados, realizou-se este trabalho com o objetivo de verificar essa influência em um Latossolo Vermelho (*Typic Haplorthox*), localizado em Capinópolis/MG. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm, em agosto de 2002 (final da estação seca) e os tratamentos avaliados foram os seguintes: PDs – plantio direto (PD) por 4 anos com sucessões milho (silagem)/soja; PDg – PD por 4 anos com as sucessões milho/milho/milho/soja; PDtf – PD com 3 anos seguidos com tifton (feno) e soja no último ano; SC – sistema de cultivo convencional (SC) com soja nos últimos 4 anos; e MN – mata nativa. A estabilidade de agregados foi expressa pelos índices: DMP (diâmetro médio ponderado), DMG (diâmetro médio geométrico), AGRI (percentagem de agregados maiores que 2,0 mm estáveis em água) e IEA (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 tratamento SC sob preparo 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 ($P < 0,001$) e positivas foram obtidas para carbono orgânico total em relação aos índices de estabilidade estudados.

Termos de indexação: estabilidade de agregados, carbono orgânico, plantio direto.

SUMMARY

AGGREGATE STABILITY OF A RED LATOSSOL IN FUNCTION OF THE ADOPTION OF DIFFERENT USES AND MANAGERMENTS

Different uses and managements of the soil influence the aggregate stability. This work was carried out to verify these influences on a red latossol (*Tipic Haplorthox*), located in Capinópolis/MG (Brasil). Soil samples were collected in august of 2002 under the following treatments: PDs – no tillage (NT) for 4 years with successions corn (silage)/soybean; PDg – NT for 4 years with the successions corn/corn/corn/soybean; PDtf – NT for 3 years followed with tifton (hay) and soybean in the last year; SC –conventional cultivation (CC) with soybean in the last 4 years; and MN – native forest. The aggregate stability was expressed in the following indexes; mean weight diameter (MWD), mean geometric diameter (MGD), % of aggregates stables >2,00 mm (AGRI) and, stable aggregates index (SAI). In all the treatments the aggregate stability decreased with the depth. The indexes in the cultivated treatments reduced in relation to the native forest, except the treatment PDtf for IEA. The treatment SC under conventional cultivation presented the worse indexes. PDtf was best treatment to recover the aggregate stability. Significant positives correlations ($P<0,001$) were obtained amount of organic carbon in relation to the indexes of aggregate stability studied.

Indexation terms: aggregate stability, organic carbon, no tillage.

INTRODUÇÃO

O uso, o manejo, o nível e o tempo de utilização promovem alterações nas propriedades do solo. Dentre as propriedades afetadas, destaca-se a estrutura, que está relacionada com a agregação. São vários os agentes que causam essas alterações, podendo estas serem passageiras ou prolongadas por vários anos. Na maioria dos casos, o uso intensivo provoca alterações no sentido negativo, ou seja, a redução da estabilidade dos agregados, deixando estes solos mais susceptíveis aos processos erosivos. Para um mesmo solo, diferentes práticas de manejo podem afetar distintamente suas propriedades, incluindo os processos de agregação (Castro Filho et al., 1998; Roth & Pavan, 1991).

O cultivo intensivo, aliado a alta taxa de revolvimento do solo são responsáveis pela redução do conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS), que por sua vez é um dos principais agentes de formação e estabilização dos agregados (Tisdall & Oades, 1982; Castro Filho et al., 1998). Neste sentido, práticas conservacionistas, como plantio direto (PD), que revolvem menos o solo e onde o aporte de resíduos orgânicos geralmente é maior, têm-se mostrado eficientes em aumentar a estabilidade de agregados (Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Alvarenga et al., 1986). Roth et al. (1991) também verificaram que manejos que mantêm o solo descoberto diminuem a estabilidade de agregados, causando selamento superficial, reduzindo a infiltração de água e assim induzindo a enxurrada e a erosão. Por isso a estabilidade de agregados tem sido usada como um importante indicador da qualidade física do solo, pois é sensível a alterações conforme o manejo adotado.

A vegetação é um importante fator de formação de agregados, onde diretamente atua pela ação mecânica de suas raízes ou pela excreção de substâncias com ação cimentante e, indiretamente, fornecendo nutrientes aos macro e microorganismos do solo (Kiehl, 1979). O tipo de vegetação também interfere de maneira significativa na estruturação dos solos. Gramíneas são mais eficientes em aumentar e manter a estabilidade de agregados do que leguminosas (Carpenedo & Mielniczuk, 1990), por apresentarem um sistema radicular extenso e renovado constantemente (Harris et al., 1966). Esses mesmos autores ainda ressaltaram a importância do uso de leguminosas em rotações com pastagens perenes, onde as gramíneas pelas características citadas acima e as leguminosas pela contribuição de N e conseqüente aumento na taxa de decomposição dos resíduos devido a

menor relação C/N. Perin et al. (2002), trabalhando com cobertura viva de leguminosas herbáceas perenes concluiu que estas proporcionaram maiores índices de estabilidade de agregados na camada de 0 a 5 cm de profundidade em relação à outra área testemunha capinada.

Muitos trabalhos relacionados a este tema já foram desenvolvidos, mas são raros os estudos com Latossolo Vermelho com semelhantes teores de argila. Neste sentido desenvolveu-se este estudo com o objetivo de caracterizar a estabilidade de agregados em função de diferentes usos e manejos e estabelecer correlações com os teores de carbono orgânico do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem, descrição e histórico das áreas de estudo

Foram selecionadas cinco áreas sob diferentes usos e manejos, pertencentes ao CEPET/UFV (Centro de Experimentação, Pesquisa e Extensão do Triângulo) e a um produtor adjacente, no município de Capinópolis/MG. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho, apresentando 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 a 2002) e vegetação nativa fase floresta subcaducifólia.

Nas áreas escolhidas, realizou-se amostragens de solo, entre os dias 14 e 16 de agosto, final da época seca do ano 2002. Cada área que representou um determinado tratamento foi dividida em quatro quadrantes, cada um assumido como uma parcela. Para melhor entendimento das mudanças e evitar que os efeitos fossem diluídos no perfil, optou-se por fazer também amostragens em três profundidades, as subparcelas (0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm).

Os usos, os manejos e os respectivos históricos das áreas amostradas estão descritos no Quadro 1. Os tratamentos PDs, PDg e PDtf não sofreram revolvimento do solo neste período (últimos 4 anos), sendo as culturas implantadas no sistema de plantio direto (PD).

Nos anos anteriores aos descritos no Quadro 1 (em torno de 30 anos) o sistema convencional (SC) foi adotado nesta 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 necessidade. Neste 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, ou seja, indicadora de como todos os demais tratamentos se apresentavam antes do desmatamento e início da agricultura intensiva. O tratamento SC foi tomado como base transitória, ou seja, para indicar como os tratamentos com PD eram antes da adoção desta prática.

Quadro 1. Descrição e histórico dos últimos quatro anos agrícolas de cada tratamento.

Trat.	Época	Histórico dos últimos 4 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

* cultivados sob sistema de plantio direto (PD)

** cultivado sob sistema de preparo convencional (SC)

*** sob mata nativa, nunca cultivado (MN)

Análise textural e grau de floculação

A análise textural e a argila dispersa em água (ADA) foram determinados pelo método da pipeta, descrito por EMBRAPA (1997), com uma modificação para a dispersão mecânica, utilizando-se a agitação lenta por 16 horas com 42 rpm. O grau de floculação (GF) foi calculado com base na relação de ADA e argila total e expresso em percentagem.

Carbono orgânico total e fitomassa sobre o solo

Para determinação do Carbono Orgânico total (COT) coletou-se 5 amostras simples para compor uma amostra composta nas três profundidades e nas quatro repetições de cada tratamento, que após homogeneizadas foram secas ao ar (TFSA) e analisadas segundo o método Walkley Black (oxidação via úmida), modificado por Yeomans & Bremner (1988). A fitomassa sobre o solo foi determinada usando um gabarito com 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) e 3 amostragens por parcela, retirando todo material vegetal sobre o solo, que após seco foi pesado e o resultado expresso em massa seca por hectare.

Preparo das amostras para determinação da estabilidade dos agregados

Para a determinação da estabilidade de agregados coletou-se 5 amostras simples para formar uma amostra composta nas profundidades, repetições e tratamentos descritos anteriormente. A coleta no campo foi feita com auxílio de pá-de-corte e colher de pedreiro, tomando o cuidado para não destruir os torrões, que foram acondicionados em sacos plásticos e posteriormente secos ao ar. No preparo das amostras os torrões foram desmanchados com as mãos tomando o cuidado para não destruir os agregados. Na seqüência estes foram tamisados com peneiras de 4 e 2 mm, sendo que os agregados que passaram pela maior peneira e os retidos pela menor foram os utilizados para a análise via úmida de agregados em laboratório (EMBRAPA, 1997).

Distribuição dos agregados estáveis em água

Para a determinação da distribuição das classes de agregados foi utilizado o tamisamento via úmida com o aparelho preconizado por Yoder (1936). Este aparelho 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 de campo, foram feitas 4 repetições de laboratório. A umidade residual foi determinada utilizando 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, estas 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. Depois do término das oscilações, o conteúdo retido em cada uma das peneiras foi seco em estufa a 105°C durante 24 horas e pesadas posteriormente. A classe menor 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 baseados e realizados conforme metodologia descrita por EMBRAPA (1997).

Índices de estabilidade de agregados

Testes preliminares foram realizados para verificar a existência de partículas maiores que 2,0 mm nos agregados (Castro Filho et al., 1998), denominados cascalhos, para que pudessem ser descontados do peso inicial. No presente estudo, esse tamanho de partículas não se fez presente, dispensando esta fase. Não foi descontada a areia nos cálculos para DMP, DMG e AGRI, uma vez que estas partículas participam do processo de agregação do solo (Castro Filho et al., 1998).

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

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

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

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

$$\text{IEA} = \left(\frac{Ps - wp_{0,105} - \text{areia}}{Ps - \text{areia}} \right) 100 \quad \text{Eq (4)}$$

onde: n representa a percentagem de agregados nas diversas classes de peneiras; d o valor médio dos limites superior e inferior de cada classe (mm); w_i representa a proporção de cada classe em relação ao total (g); $w_{i>2}$ = representa a proporção de agregados >2,00 mm; Ps = peso da amostra seca (g); e $wp_{0,105}$ = peso dos agregados da classe <0,105 mm (g).

Análise estatística

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 o delineamento inteiramente casualizado. Para as demais variáveis estudadas, os dados foram submetidos à análise de variância no esquema de parcelas subdivididas, em que os usos e manejos constituíram os tratamentos da parcela e as profundidades as subparcelas.

Os graus de liberdade para tratamento foram decompostos em 4 contrastes ortogonais entre si, dentro de cada profundidade, para isolar os efeitos cultivo, plantio direto, tifton e silagem, conforme Quadro 2. Optou-se para trabalhar 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 para determinada característica aumenta ou diminui quando os sinais das estimativas dos contrastes calculados são positivos ou negativos, respectivamente.

O efeito cultivo (contraste C1) estabelece uma comparação entre os tratamentos cultivados e mata nativa. O efeito plantio direto (contraste C2) compara este sistema com o preparo convencional. O efeito tifton (contraste C3) compara esta 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 os impactos sobre o solo desta área com outra onde não se realiza esta 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” ($P < 0,001$, $P < 0,01$ e $P < 0,05$).

Quadro 2. Nome, coeficientes e efeitos dos contrastes estabelecidos.

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 (PD)
C3	-1	-1	2	0	0	Tifton fenado
C4	1	-1	0	0	0	Silagem

⁽¹⁾ PDs – milho (silagem)/soja/ milho (silagem)/soja; PDg – milho/milho/milho/soja; PDtf – 3 anos com tifton (feno)/soja; SC – 4 anos seguidos com soja e; MN – mata nativa

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização das áreas

Análise textural

Os valores da análise textural permitem classificar estes solos em franco-argilo-arenoso, com exceção para o tratamento SC, que se enquadra como argiloso-arenoso (Quadro 3). Os baixos teores de silte conferem a este solo uma baixa relação silte/argila, que é indicativo de solos bastante intemperizados, característica dos latossolos. As demais frações estão distribuídas proporcionalmente, o que deve proporcionar um bom ajuste entre as partículas do solo, o que pode contribuir para uma alta densidade do solo.

O conhecimento da distribuição das partículas primárias é muito importante no processo de formação de agregados, onde segundo Kiehl (1979), solos com altos teores de areia dificilmente formam agregados estáveis em água.

Quadro 3. Proporções de areia grossa (AG), areia fina (AF), silte (S), argila (A) nos diferentes tratamentos e suas profundidades.

Trat ⁽¹⁾	Camadas de solo amostradas e frações texturais											
	----- 0 a 5 cm-----				----- 5 a 10 cm -----				----- 10 a 20 cm -----			
	AG	AF	S	A	AG	AF	S	A	AG	AF	S	A
	----- kg/kg -----											
PDs	0,326	0,316	0,071	0,288	0,338	0,285	0,063	0,314	0,347	0,279	0,061	0,314
PDg	0,364	0,337	0,050	0,250	0,355	0,332	0,048	0,265	0,355	0,333	0,040	0,272
PDtf	0,385	0,313	0,051	0,252	0,372	0,315	0,045	0,268	0,365	0,315	0,049	0,271
SC	0,293	0,276	0,081	0,350	0,278	0,295	0,080	0,346	0,280	0,268	0,076	0,377
MN	0,436	0,242	0,054	0,268	0,422	0,251	0,054	0,273	0,413	0,255	0,055	0,277

⁽¹⁾ SDs – milho (silagem)/soja/ milho (silagem)/soja; SDg – milho/milho/milho/soja; SDtf – 3 anos com tifton (feno)/soja; SC – 4 anos seguidos com soja; e MN – mata nativa

Fitomassa, grau de flocculação e carbono orgânico

O cultivo do solo (contraste C1) causou diminuição da fitomassa sobre o solo (Quadro 5), que aumentou com a adoção do plantio direto (contraste C2), uma vez que esta prática mostrou-se eficiente em relação ao sistema convencional de preparo do solo para este fim. Esperava-se também que o teor de COT fosse significativo para o efeito cultivo nas camadas superiores, o que não ocorreu, o que pode ser justificado pelo fato desta área possuir maior teor de argila (Quadro 3), o que confere ao COT proteção coloidal maior,

dificultando a degradação do material orgânico. Bayer & Mielniczuk (1999), ressaltam que solos mais intemperizados, como os de cerrado, apresentam elevada área de superfície específica e os grupos funcionais dispostos na superfície determinam a grande interação desses minerais e a matéria orgânica do solo. Neste sentido, numa mesma região, teores maiores de argila apresentam também maior interação com COT. O efeito tifton também foi eficiente em aumentar a fitomassa sobre o solo. Isso aconteceu porque esta cultura é perene e possui alta relação C/N, o que lhe confere um tempo de decomposição muito mais prolongado. O efeito silagem (contraste C4) mostra que houve diminuição da cobertura do solo com o uso desta prática, o que se reflete numa diminuição nos teores de COT na área de silagem (Quadro 5).

A fitomassa sobre o solo (MS) exerce influência nas propriedades do solo, uma vez que esta atua como um 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 do solo, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular e atividade microbiana, contribuindo para a criação de um ambiente mais favorável a agregação (Campos et al., 1999). A cobertura vegetal do solo contribuiu para um maior aporte de material orgânico, favorecendo desta maneira a proliferação de micro e macroorganismos.

O grau floculação (GF) somente foi afetado significativamente no contraste C1, que compara a mata nativa com os tratamentos cultivados (Quadro 5). Esses resultados mostram que o GF não foi sensível às variações de manejo, somente ao uso, tratando-se de uma propriedade que reflete muito mais as condições de formação do solo do que o manejo ao qual este é submetido. Possivelmente, se as mudanças nos teores de carbono orgânico no solo sofrerem variações maiores, diferenças podem aparecer.

No SC os teores de COT variam pouco com a profundidade (Quadro 4), conseqüência do revolvimento do solo por ocasião do preparo. No tratamento PDtf, esta tendência também fica evidente, porém menos acentuada, conseqüência do cultivo da gramínea perene tifton para feno por 3 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, onde se retira constantemente à parte aérea da cultura, também contribuiu para uma menor deposição de resíduos orgânicos na camada superficial, distribuindo melhor o COT nas camadas devido ao efeito de raízes. Corazza et al. (1999), trabalhando com pastagens constatou comportamento semelhante, diferindo somente a fenação em favor do pastejo por animais.

O cultivo do solo (contraste C1) reduziu drasticamente os teores de COT, em todas as camadas (Quadro 5). Corazza et al. (1999) relataram que a substituição da vegetação nativa por culturas anuais causa essa redução, devido ao revolvimento do solo, que favorece a oxidação da matéria orgânica.

O plantio direto (contraste C2) não foi eficiente em aumentar os teores de COT, pelo contrário, apresentou uma tendência de diminuição, mas que não chega a ser significativa nas duas camadas superficiais (Quadro 5).

O uso do tifton (contraste C3), proporcionou elevação significativa nos teores de COT nas duas camadas inferiores, mas não na camada superficial, em relação aos demais tratamentos com plantio direto (Quadro 5).

Observou-se que o cultivo do milho para silagem provocou redução nos teores de COT do solo, devido à exportação da parte aérea da cultura, que diminui o aporte de material vegetal nesse tratamento (contraste C4, Quadro 5).

Quadro 4. Fitomassa sobre o solo (MS), grau de floculação (GF) e carbono orgânico total (COT) para os diferentes tratamentos e respectivas profundidades.

Trat. ⁽¹⁾	MS (kg/ha)	GF (%)			COT (dag/kg)		
		0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm
PDs	3445	74,75a*	76,43a	75,51a	1,91a	1,83a	1,46b
PDg	4498	76,65a	74,28a	75,81a	2,28a	2,25a	1,97b
PDtf	5157	78,60a	76,54a	74,84a	2,36a	2,34a	2,26a
SC	2433	78,20a	77,90a	77,83a	2,25a	2,26a	2,21a
MN	10048	86,20a	82,35ab	80,13b	4,12a	3,21b	2,75c

⁽¹⁾ SDs – milho (silagem)/soja/ milho (silagem)/soja; SDg – milho/milho/milho/soja; SDtf – 3 anos com tifton (feno)/soja; SC – 4 anos seguidos com soja; e MN – mata nativa

* médias seguidas de letras iguais na linha para cada variável não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05)

Quadro 5. Estimativas dos contrastes médios estabelecidos para fitomassa sobre o solo (MS), grau de floculação (GF) e carbono orgânico total (COT) entre os diferentes tratamentos e respectivas profundidades.

Cont. ⁽¹⁾	MS	GF			COT		
		0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm
C1	-6165*	-9,19*	-6,06*	-4,16*	-1,93*	-1,04*	-0,77*
C2	1934*	-1,54 ^{ns}	-2,15 ^{ns}	-2,35 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,32*
C3	1186*	2,92 ^{ns}	1,19 ^{ns}	-0,82 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,30*	0,54*
C4	-1053*	1,91 ^{ns}	2,15 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	-0,37*	-0,43*	-0,51*

⁽¹⁾ C1=(PDs+PDg+PDtf+SC – 4MN); C2=(PDs+PDg+PDtf – 3SC); C3=(-PDs-PDg + 2PDtf); e C4=(PDs – PDg)

*, ^{ns} significativo e não significativo pelo teste “F” (P<0,05) respectivamente

Estabilidade de agregados em água

A distribuição dos agregados estáveis em água para cada classe conforme os tratamentos utilizados, separados pelas suas respectivas profundidades, encontra-se na Figura 1. Em todos os tratamentos a classe >2,00 mm apresentou maiores proporções na camada de 0 a 5 cm em relação às outras camadas. Comparando esses resultados com o Quadro 4, supõe-se que o COT tenha contribuído para esse aumento. Entretanto, tal comportamento não pode ser explicado somente pelo maior teor de COT presente nesta camada, pois se assim o fosse o SC não apresentaria a mesma tendência (porém bem menos acentuada), uma vez que os teores de COT não variam neste tratamento. O que também pode ter contribuído para essa maior proporção de agregados grandes 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, pode ter contribuído para aumentar a estabilidade de agregados nesta camada. Esses ciclos levam a desidratação de ligantes orgânicos e inorgânicos do solo, que proporcionam a formação de agregados de maior tamanho (Horn & Dexter, 1988; Horn, 1990). Oliveira et al. (1996), trabalhando com ciclos de umedecimento e secagem de latossolos brasileiros, concluíram que o efeito destes sobre os agregados maiores se manifesta mais na superfície.

O DMP foi 2,87 vezes maior no MN em relação ao SC na camada superficial (quadro 6). Para DMG e AGRI a diferença foi maior ainda, sendo que para IEA esse diferença não passou de 1,47 vezes. Esses resultados comprovam uma maior sensibilidade de DMP, DMG e AGRI comparativamente ao IEA em função aos usos e manejos adotados. Nas demais profundidades essa tendência prevaleceu. As correlações estabelecidas no Quadro 8 confirmam essa afirmação, através dos menores coeficientes obtidos para esse índice. O IEA não foi variou significativamente nas diferentes profundidades, como é observado para os demais índices (Quadro 6).

O cultivo do solo (contraste C1) diminuiu significativamente os índices de agregação em todas as profundidades, comprovando a perda da estabilidade dos agregados pelo uso agrícola das terras em relação a mata nativa (Quadro 7). 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, pode-se ver o efeito positivo do plantio direto no DMP, DMG e AGRI em relação ao sistema de preparo convencional. Esse resultado mostra a importância do não revolvimento do solo em sistemas agrícolas, deixando este mais apto a resistir aos processos erosivos.

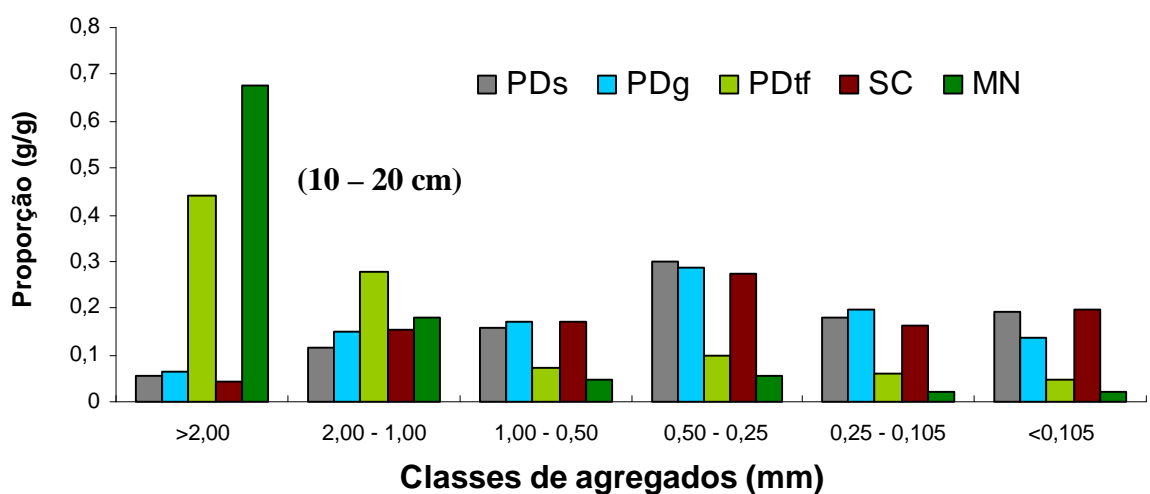
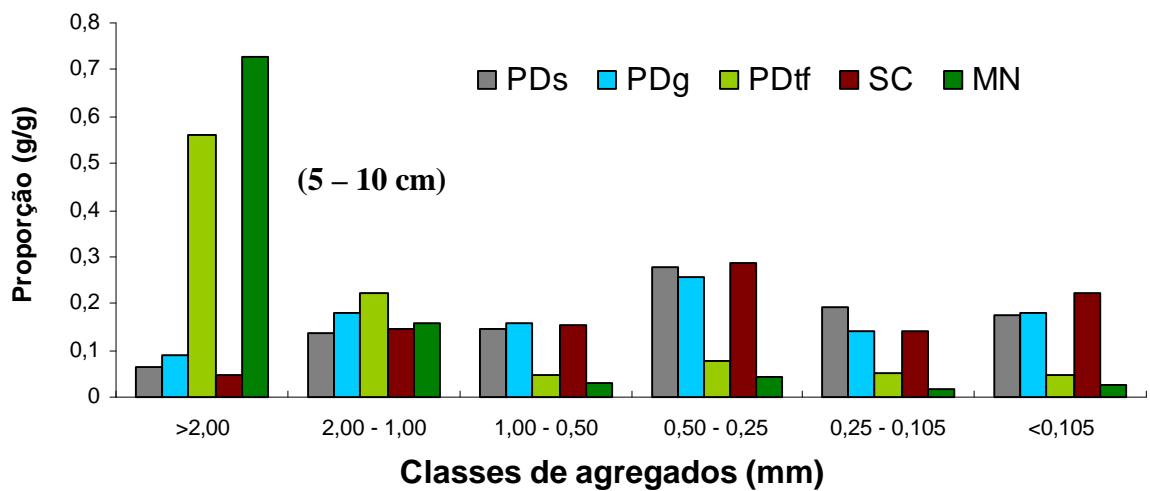
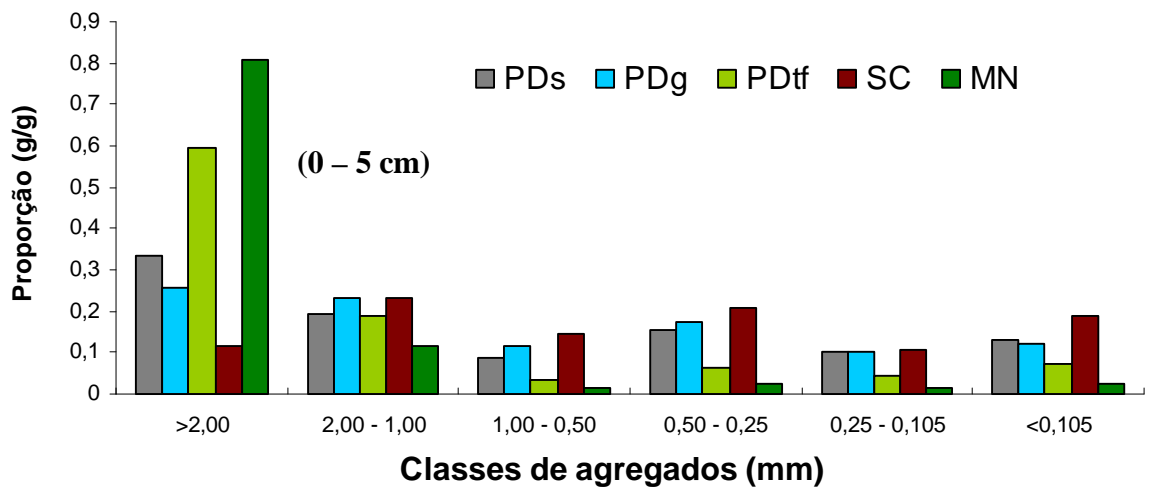


Figura 1. Distribuição das diferentes classes de agregados de cada tratamento nas profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm. PDs – milho (silagem)/soja/milho (silagem)/soja; PDg – milho/milho/milho/soja; PDtf – 3 anos com tifton (feno)/soja; SC – 4 anos seguidos com soja; e MN – mata nativa.

Quadro 6. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), percentagem de agregados > 2,00 mm estáveis em água (AGRI) e índice de estabilidade de agregados (IEA) nas respectivas profundidades.

Tratamentos ⁽¹⁾	Índices de agregação			
	DMP	DMG	AGRI	IEA
	----- mm -----		----- % -----	
----- Profundidade de 0 a 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
----- Profundidade de 5 a 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
----- Profundidade de 10 a 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

⁽¹⁾ SDs – milho (silagem)/soja/ milho (silagem)/soja; SDg – milho/milho/milho/soja; SDtf – 3 anos com tifton (feno)/soja; SC – 4 anos seguidos com soja; e MN – mata nativa

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

O tifton (Contraste C3) foi eficiente em aumentar a estabilidade de agregados para todos os índices calculados, exceto para IEA na camada superficial. Autores como Carpenedo & Mielniczuk (1990); Silva & Mielniczuk (1997) e Tisdall & Oades (1979), também ressaltaram a maior eficiência das gramíneas na formação de agregados estáveis. Esse efeito pode ser proporcionado por dois fatores diferentes: pela liberação de exsudatos orgânicos e ou 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 no entorno das mesmas e atuam na aproximação das partículas minerais devido à pressão exercida no seu avanço através dos espaços porosos do solo. Estes fatores, associados à liberação de substâncias orgânicas na rizosfera favorecem a agregação do solo (Reinert, 1993; Mielniczuk, 1999).

Não houve efeito da prática da ensilagem de milho (contraste C4) sobre os índices de agregação (Quadro 7). Era de se esperar que esse contraste fosse significativo, já que o

efeito silagem diminuiu significativamente os teores de COT (Quadro 3). A realização da silagem de milho, prática que utiliza intenso tráfego de máquinas pesadas, pode ter causado uma compactação levemente maior nesta área, o que pode ter contribuído para o aumento da estabilidade de agregados na camada superficial neste tratamento, levando a não expressão de diferença significativa deste efeito.

Quadro 7. Estimativas dos contrastes médios estabelecidos para diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), percentagem de agregados >2,00 mm estáveis em água (AGRI) e índice de estabilidade de agregados (IEA), para as diferentes profundidades.

Nome	Efeitos dos contrastes	Estimativas dos contrastes médios			
		DMP	DMG	AGRI	IEA
----- Profundidade de 0 a 5 cm -----					
C1	Cultivo	-1,18*	-1,43*	-48,32*	-26,72*
C2	Plantio direto	0,71*	0,53*	28,00*	3,61 ^{ns}
C3	Tifton	0,77*	0,74*	30,08*	14,65 ^{ns}
C4	Silagem	0,15 ^{ns}	0,04 ^{ns}	7,75 ^{ns}	4,01*
----- Profundidade de 5 a 10 cm -----					
C1	Cultivo	-1,42*	-1,43*	-53,54*	-35,29*
C2	Plantio direto	0,56*	0,43*	19,15*	12,41*
C3	Tifton	1,36*	1,14*	48,26*	36,69*
C4	Silagem	-0,12 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-2,37 ^{ns}	10,32 ^{ns}
----- Profundidade 10 a 10 cm -----					
C1	Cultivo	-1,41*	-1,39*	-52,35*	-32,67*
C2	Plantio direto	0,42*	0,32*	14,23*	7,54 ^{ns}
C3	Tifton	1,20*	0,92*	38,27*	32,31*
C4	Silagem	-0,09 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-1,00 ^{ns}	-8,64 ^{ns}

⁽¹⁾ C1=(PDs+PDg+PDtf+SC - 4MN); C2=(PDs+PDg+PDtf - 3SC); C3=(-PDs-PDg + 2PDtf); e C4=(PDs - PDg)

*, ^{ns} significativo e não significativo pelo teste "F" (P<0,05) respectivamente

Correlações estabelecidas entre carbono orgânico e índices de agregação

Os coeficientes de correlação do COT com os valores dos índices de agregação foram positivos e significativos (P<0,001) para DMP, DMG, AGRI e IEA (Quadro 8), com exceção para IEA na camada intermediária, onde a significância foi menor (P<0,01). 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 aos deste trabalho na camada de 0 a 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 a 20 cm as correlações por ele 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 para as caracterizadas caracterizadas. Isso porque ele é calculado baseado unicamente na classe de agregados $<0,105$ mm, que não é determinada por pesagem, mas por diferença. Nessa classe não temos somente 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.

Quadro 8. Coeficientes de correlação entre carbono orgânico total (COT) e os índices de agregação diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), percentagem de agregados maiores que 2,00 mm estáveis em água (AGRI) e índice de estabilidade de agregados (IEA) para as 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***

, * significativo a ($P<0,01$), ($P<0,001$) pelo teste “t”, respectivamente.

CONCLUSÕES

O cultivo do solo proporcionou redução da estabilidade de agregados em água, quando comparados aos valores anteriores ao desmatamento e início da agricultura. O plantio direto proporcionou elevação dos índices de agregação em relação ao preparo convencional, mas não alcançando os índices verificados para a mata nativa.

O uso da gramínea perene tifton mostrou-se uma excelente opção para formação e estabilização de agregados estáveis em água, podendo ser recomendada para recuperação de áreas com características físicas degradadas. A pratica da ensilagem de milho levou a redução dos teores de carbono orgânico no solo, fato que não culminou com redução da

estabilidade de agregados, sugerindo não ser o carbono orgânico o único agente formador ou estabilizador de agregados estáveis.

Todos os índices de estabilidade de agregados apresentaram correlações positivas com o teor de carbono orgânico total, porém, os coeficientes de correlação para IEA foram menores em relação aos demais.

LITERATURA CITADA

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. R. Bras. Ci. Solo, 10: 373-277, 1986.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. (eds) Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.09-26.

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. R. Bras. Ci. Solo, 23: 383-391, 1999.

CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J.; Estado de agregação e qualidade dos agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. R. Bras. Ci. Solo, 14: 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. R. Bras. Ci. Solo, 22: 527-538, 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 a vegetação de cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 23:425-432, 1999.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. EMBRAPA, 2ª edição, Rio de Janeiro, 1997. 212p

- HARRIS, R.F.; CHESTERS, G. & ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. *Adv. Agron.*, 18:107-169,1966.
- HORN, R. & DEXTER, R. A. Dinamics of soil agregation in na irrigated desert loess. *Soil Till. Res.*, 13: 253-266, 1988.
- HORN, R. Agregate characterization as compared to soil bulk properties. *Soil Till. Res.*, 17: 265-289, 1990.
- KIELH, E. K. Manual de edafologia: relações solo-planta. Editora Agronômica Ceres, São Paulo-SP, 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**, Aracaju, 1999. *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. *R. Bras. Ci. Solo*, 20: 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 15: 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 23: 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:713-720, 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 (UFSM), 1993. 62p. (Tese de concurso a Professor Titular)
- ROTH, C. H. & PAVAN, M. A. Efect of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. *Geoderma*, 48:351-361, 1991.
- ROTH, C. H.; CASTRO FILHO, C. & MEDEIROS, G. B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo Distrófico. *R. Bras. Ci. Solo*, 15: 241-248, 1991.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. *R. Bras. Ci. Solo*, 21: 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. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:97-103, 1998.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water- stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 33:141-163, 1982.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root system of ryegrass. *Aust. J. Soil Res.*, 17: 429-441, 1979.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. New York: Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1989.
- YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.*, 28: 337-357, 1936.

DENSIDADE, POROSIDADE E RETENÇÃO DE ÁGUA DE UM LATOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DA ADOÇÃO DE DIFERENTES USOS E MANEJOS

RESUMO

Baseando-se a afirmação de que o uso e o manejo influenciam as propriedades físicas do solo, realizou-se este estudo com o objetivo de avaliar algumas dessas influências em um Latossolo Vermelho (*Typic Haplorthox*), localizado em Capinópolis/MG. As amostras foram coletadas em agosto de 2002 e os tratamentos foram os seguintes: PDs – plantio direto por quatro anos com a sucessão milho (silagem)/soja/milho (silagem)/soja; PDg – PD por quatro anos com a sucessão milho/milho/milho/soja; PDtf – PD por quatro anos, sendo três com tifton (feno) e soja no último ano; SC – sistema de preparo convencional com soja nos últimos quatro anos; e MN – mata nativa. Foram estabelecidos contrastes ortogonais entre os tratamentos para isolar os efeitos cultivo, plantio direto, tifton e silagem. Foram avaliadas a cobertura do solo, carbono orgânico total, densidade do solo, porosidade, retenção de água pelo solo e estabelecidos índices a partir das relações capacidade de aeração/porosidade total (CAR/Pt) e capacidade de campo/porosidade total (CC/Pt). O cultivo do solo contribuiu para a degradação das propriedades físicas do solo em relação à mata nativa. O plantio direto apresentou potencial para recuperação destas em relação ao preparo convencional, mas ainda muito distante da mata nativa. O preparo convencional apresentou aeração menor que o limite de $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^3$, podendo levar à uma deficiente atividade microbiana e respiração de raízes. O tratamento com tifton apresentou o melhor potencial para melhoria da qualidade física do solo. O cultivo de milho para silagem reduziu significativamente o teor de carbono orgânico total no solo. Os índices de CAR/Pt e CC/Pt foram sensíveis à adoção de diferentes usos e manejos.

Termos de indexação: carbono orgânico, densidade do solo, manejo do solo, plantio direto.

SUMMARY

DENSITY, POROSITY AND WATER RETENTION OF A RED LATOSSOL IN FUNCTION OF THE DIFFERENT USES AND MANAGERMENTS

The land use and management influence direct or indirectly the physical properties of the soil. To test this affirmative, physicals properties of a red latossol (*Tipic Haplorthox*), located in Capinópolis/MG, were evaluated. Soil samples were collected in august of 2002 under the following treatments: PDs – no tillage (NT) for 4 years with the succession corn (silage)/soybean/corn (silage)/soybean; PDg – NT for 4 years with the succession corn/corn/corn/soybean; PDtf – NT for 3 years followed by tifton (hay) and soybean in the last year; SC – conventional cultivation with soybean in the last 4 years; and MN – native forest. Orthogonal contrasts were done among the treatments to isolate the effects of: cultivation, no tillage, tifton and silage. It was evaluated the cover of the soil, total organic carbon, soil density, porosity, water retention by the soil and established indices from the relations aeration capacity/total porosity (AC/Pt) and field capacity/total porosity (FC/Pt). The cultivation contributed to the degradation of the physics properties of the soil compared to the native forest. The soil degradation was less under the no tillage than the conventional cultivation, but still much worse than the native forest. The conventional cultivation presented AC smaller than the limit of $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^3$, what can cause a deficient microbial activity and problems to the roots breathing. Within the no tillage treatments, the effect of the tifton introduced better potential for improvement of the physical quality of the soil. The indexes of AC/Pt and FC/Pt were sensitive to the adoption of different uses and managements.

Index terms: organic carbon, soil density, soil management, no tillage.

INTRODUÇÃO

O uso e o manejo interferem nas propriedades físicas do solo. Com o desmatamento o solo é exposto à ação direta das gotas de chuva e raios solares, tornando-se fisicamente mais frágil, caracterizando assim o início da degradação dos mesmos. Diferentes solos respondem de maneira distinta diante desta nova condição. Também solos semelhantes, mas submetidos a diferentes usos e manejos, podem apresentar níveis de degradação diferenciados.

A densidade do solo é uma propriedade dinâmica, podendo aumentar ou diminuir em função de seu uso e manejo, sendo, portanto, útil em estudos de compactação e/ou adensamento. O aumento de densidade pode ter causa antrópica ou natural, caracterizando o que Curi (1993) denominou de compactação ou adensamento, respectivamente. Fernandes Filho & Francelino (2001) citaram textura, teor de matéria orgânica e estrutura como sendo fatores que influenciam a densidade do solo. Solos mais argilosos via de regra são menos densos, pois possuem maior espaço poroso. Fernandes Filho & Francelino (2001) estabeleceram densidades de 1,0 a 1,25 g/cm³ e 1,25 a 1,4 g/cm³ para solos argilosos e arenosos respectivamente, podendo os últimos chegarem a 1,6 g/cm³ (Hillel, 1971), ou mesmo até 1,8 g/cm³ (Brady, 1989). O teor de matéria orgânica correlaciona-se negativamente com a densidade do solo, já que sua massa é menor e porque atua na estruturação do solo (Brady, 1989). Ferreira (1993) atribuiu menor densidade a solos bem estruturados.

Um certo nível de compactação do solo pode melhorar o rendimento de algumas culturas, dependendo do solo, das condições climáticas e do estado de desenvolvimento da cultura (Renedo, 1996; Dias Junior, 1996). Dauda & Samari (2002), trabalhando com solo franco-arenoso na Nigéria, concluíram que após 10 passadas de trator a cultura do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walps) apresentou o melhor rendimento.

Considera-se um solo fisicamente ideal quando este apresenta em média 50% do seu volume ocupado por sólidos e os outros 50% de volume poroso, ocupados por gases e água (Kielh, 1979). Skopp et al. (1990) sugerem que 34% do volume de poros sejam ocupados por gases e 66% por água, para que ocorra uma boa atividade microbiana, capaz de mineralizar os restos culturais e disponibilizar nitrogênio para as plantas. Segundo

Kielh (1979), em 1860 Schumacher classificou a porosidade do solo em duas categorias, capilar e não capilar. Tais poros hoje são denominados de micro e macroporos respectivamente, onde os últimos são também denominados de poros de aeração, que para a maioria das culturas o limite crítico é $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (Kiehl, 1979; Rachwal & Dedecek, 1996; Cockroft & Olsson, 1997). O manejo adotado pode interferir nestas relações (Tormena et al., 1998; Tormena et al., 1999 e Klein & Libardi, 2002). A compactação do solo leva a uma diminuição de macroporos e aumento de volume de microporos (Silva et al., 1986)

Com o aumento da densidade, o volume de sólidos e a retenção de água aumentam, prejudicando a aeração. Em baixos potenciais matriciais, pode acontecer que todo o espaço poroso esteja ocupado por água, restringindo a aeração (Eavis, 1972). Para Brady (1989) as duas mais importantes reações biológicas que ocorrem nos solos e que dependem da boa aeração dos mesmos são a respiração dos vegetais e a decomposição microbiana dos resíduos orgânicos incorporados ou mantidos na superfície do solo.

O manejo deve obedecer à práticas que evitem a degradação física do solo, preservando-o para que as gerações futuras possam dele retirar seus alimentos, e ao mesmo tempo evitar impactos ambientais ao sistema. Neste sentido, em função do tipo de solo, clima, relevo e cultura a implantar, cabe ao produtor optar pelo manejo adequado para cada situação. Por isso, realizou-se este estudo com o objetivo de avaliar algumas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos e manejos, buscando com esses dados subsidiar o agricultor em sua decisão de qual ou quais sistemas de manejo adotar, visando a conservação e recuperação de seus solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem, descrição e histórico das áreas de estudo

Foram selecionadas cinco áreas sob diferentes usos e manejos, pertencentes ao CEPET/UFV (Centro de Experimentação, Pesquisa e Extensão do Triângulo) e a um produtor adjacente, no município de Capinópolis/MG. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho, apresentando 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 a 2002, conforme Figura 1) e vegetação nativa fase floresta subcaducifolia.

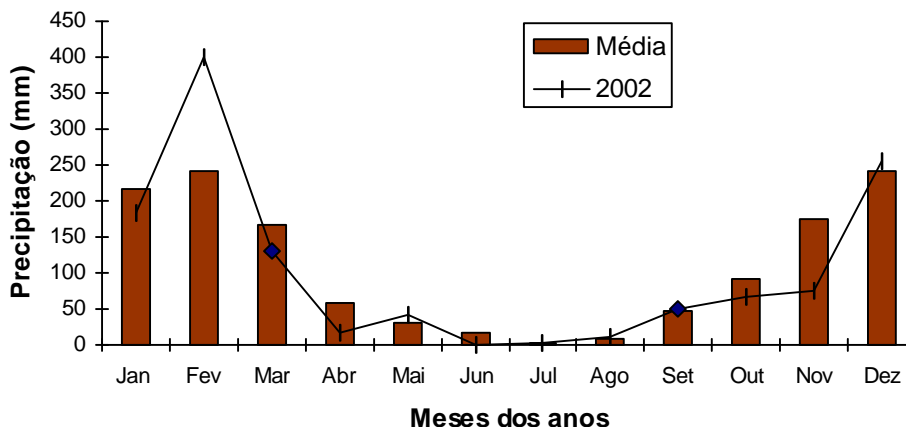


Figura 1: Precipitação média mensal de 1992 a 2002 e precipitação total mensal de 2002 medidos na estação meteorologia CEPET/UFV de Capinópolis/MG.

Nas áreas escolhidas, realizou-se amostragens de solo, entre os dias 14 e 16 de agosto, final da época seca do ano 2002. Cada área que representou um determinado tratamento foi dividida em quatro quadrantes, cada um assumido como uma parcela. Para melhor entendimento das mudanças e evitar que os efeitos fossem diluídos no perfil, optou-se por fazer também amostragens em três profundidades, as subparcelas (0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm).

Os usos, os manejos e os respectivos históricos das áreas amostradas estão descritos no Quadro 1. Os tratamentos PDs, PDg e PDtf não sofreram revolvimento do solo neste período (últimos 4 anos), sendo as culturas implantadas no sistema de plantio direto (PD). Nos anos anteriores aos descritos no Quadro 1 (em torno de 30 anos) o sistema convencional (SC) foi adotado nesta 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 necessidade. Neste 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, ou seja, indicadora de como todos os demais tratamentos se apresentavam antes do desmatamento e início da agricultura intensiva. O tratamento SC foi tomado como base transitória, ou seja, para indicar como os tratamentos com PD eram antes da adoção desta prática.

Quadro 1. Descrição e histórico dos últimos quatro anos agrícolas de cada tratamento.

Trat.	Época	Histórico dos últimos 4 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

* cultivados sob sistema de plantio direto (PD)

** cultivado sob sistema de preparo convencional (SC)

*** sob mata nativa, nunca cultivado (MN)

Análise textural e grau de floculação

A análise textural e a argila dispersa em água (ADA) foram determinados pelo método da pipeta, descrito por EMBRAPA (1997), com uma modificação para a dispersão mecânica, utilizando-se a agitação lenta por 16 horas com 42 rpm. O grau de floculação (GF) foi calculado com base na relação de ADA e argila total e expresso em percentagem.

Carbono orgânico total e fitomassa sobre o solo

Para determinação do Carbono Orgânico total (COT) coletou-se 5 amostras simples para compor uma amostra composta nas três profundidades e nas quatro repetições de cada tratamento, que após homogeneizadas foram secas ao ar (TFSA) e analisadas segundo o método Walkley Black (oxidação via úmida), modificado por Yeomans & Bremner (1988). A fitomassa sobre o solo foi determinada usando um gabarito com 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) e 3 amostragens por parcela, retirando todo material vegetal sobre o solo, que após seco foi pesado e o resultado expresso em massa seca por hectare.

Densidade do solo e de partículas

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão

volumétrico (EMBRAPA, 1997), a partir de 20 g de solo seco a 105°C por 24 horas, completando o volume com álcool etílico.

Porosidade e aeração do solo

A porosidade total (Pt), ou seja, o espaço poroso do solo passível de ser ocupado por água e/ou ar, foi calculada a partir da densidade de partícula e densidade do solo e expressa em porcentagem (EMBRAPA, 1997).

A microporosidade (Mi) foi determinada pelo método da Mesa de Tensão com 60 cm de coluna de água (EMBRAPA, 1997). Nessa determinação foram usados os mesmos anéis coletados para determinação da densidade do solo. A macroporosidade (Ma) foi calculada por diferença entre Pt e Mi.

Neste trabalho a capacidade de aeração (CAR) foi considerada como sendo igual ao volume de Ma.

Capacidade de água disponível, relações CAR/Pt e CC/Pt

A capacidade de água disponível (CAD) foi determinada subtraindo a água retida no solo sob tensão equivalente a 10 kPa em m^3/m^3 (CC – capacidade de campo) da quantidade de água retida sob tensão equivalente a 1.500 kPa em m^3/m^3 (PMP – ponto de murcha permanente).

Foi utilizada a tensão de 10 kPa para representar a capacidade de campo (CC) baseado em resultados obtidos por Reichardt (1988) e Ruiz et al. (2003), que consideraram ser esta a tensão que melhor representa a CC para solos tropicais.

A água retida na CC e PMP foi determinada usando amostras indeformadas e deformadas, respectivamente, no aparelho extrator de Richards. Na CC trabalhou-se com amostras indeformadas para que a estrutura do solo fosse contemplada, pois a baixas tensões esta exerce influência na retenção de água. Já para o ponto de murcha permanente (PMP) trabalhou-se com amostras deformadas, considerando que a altas tensões o efeito da estrutura seria mínimo, sendo a retenção de água mais afetada pela fração mineral do solo. Hillel (1971) e Reichardt (1990) também atribuíram a estrutura do solo influência na retenção de água a elevados potenciais (baixas tensões), onde predomina o efeito capilar, já

em baixos potenciais (altas tensões) esta tem pouca importância, sendo atribuída ao fenômeno de adsorção dos colóides minerais e orgânicos do solo.

As relações entre capacidade de aeração e porosidade total (CAR/Pt); água retida na capacidade de campo e porosidade total (CC/Pt) foram calculadas usando os valores das variáveis obtidas e descritas anteriormente.

Análise estatística

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 estudados considerando o delineamento inteiramente casualizado. Para as demais variáveis estudadas, os dados foram submetidos à análise de variância no esquema de parcelas subdivididas, em que os usos e manejos constituíram os tratamentos da parcela e as profundidades as subparcelas.

Os graus de liberdade para tratamento foram decompostos em 4 contrastes ortogonais entre si, dentro de cada profundidade, para isolar os efeitos cultivo, plantio direto, tifton e silagem, conforme Quadro 2. Optou-se para trabalhar 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 para determinada característica aumenta ou diminui quando os sinais das estimativas dos contrastes calculados são positivos ou negativos, respectivamente.

O efeito cultivo (contraste C1) estabelece uma comparação entre os tratamentos cultivados e mata nativa. O efeito plantio direto (contraste C2) compara este sistema com o preparo convencional. O efeito tifton (contraste C3) compara esta 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 os impactos sobre o solo desta área com outra onde não se realiza esta 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” ($P < 0,001$, $P < 0,01$ e $P < 0,05$).

Quadro 2. Nome, coeficientes e efeitos dos contrastes estabelecidos.

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 (PD)
C3	-1	-1	2	0	0	Tifton (fenado)
C4	1	-1	0	0	0	Silagem

⁽¹⁾ PDs – milho (silagem)/soja/ milho (silagem)/soja; PDg – milho/milho/milho/soja; PDtf – 3 anos com tifton (feno)/soja; SC – 4 anos seguidos com soja e; MN – mata nativa

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização das áreas

Análise textural

Os valores da análise textural permitem classificar estes solos em franco-argilo-arenoso, com exceção para o tratamento SC, que se enquadra como argiloso-arenoso (Quadro 3). Os baixos teores de silte conferem a este solo uma baixa relação silte/argila, que é indicativo de solos bastante intemperizados, característica dos latossolos. As demais frações estão distribuídas proporcionalmente, o que deve proporcionar um bom ajuste entre as partículas do solo, o que pode contribuir para uma alta densidade do solo.

Quadro 3. Proporções de areia grossa (AG), areia fina (AF), silte (S), argila (A) nos diferentes tratamentos e suas profundidades.

Trat ⁽¹⁾	Camadas de solo amostradas e frações texturais											
	----- 0 a 5 cm -----				----- 5 a 10 cm -----				----- 10 a 20 cm -----			
	AG	AF	S	A	AG	AF	S	A	AG	AF	S	A
	----- kg/kg -----											
PDs	0,326	0,316	0,071	0,288	0,338	0,285	0,063	0,314	0,347	0,279	0,061	0,314
PDg	0,364	0,337	0,050	0,250	0,355	0,332	0,048	0,265	0,355	0,333	0,040	0,272
PDtf	0,385	0,313	0,051	0,252	0,372	0,315	0,045	0,268	0,365	0,315	0,049	0,271
SC	0,293	0,276	0,081	0,350	0,278	0,295	0,080	0,346	0,280	0,268	0,076	0,377
MN	0,436	0,242	0,054	0,268	0,422	0,251	0,054	0,273	0,413	0,255	0,055	0,277

⁽¹⁾ SDs – milho (silagem)/soja/ milho (silagem)/soja; SDg – milho/milho/milho/soja; SDtf – 3 anos com tifton (feno)/soja; SC – 4 anos seguidos com soja; e MN – mata nativa

Fitomassa, grau de flocculação e carbono orgânico

O cultivo do solo (contraste C1) causou diminuição da fitomassa sobre o solo (Quadro 5), que aumentou com a adoção do plantio direto (contraste C2), uma vez que esta prática mostrou-se eficiente em relação ao sistema convencional de preparo do solo para este fim. Esperava-se também que o teor de COT fosse significativo para o efeito cultivo nas camadas superiores, o que não ocorreu, o que pode ser justificado pelo fato desta área possuir maior teor de argila (Quadro 3), o que confere ao COT proteção coloidal maior, dificultando a degradação do material orgânico. Bayer & Mielniczuk (1999), ressaltam que solos mais intemperizados, como os de cerrado, apresentam elevada área de superfície específica e os grupos funcionais dispostos na superfície determinam a grande interação desses minerais e a matéria orgânica do solo. Neste sentido, numa mesma região, teores maiores de argila apresentam também maior interação com COT. O efeito tifton também foi eficiente em aumentar a fitomassa sobre o solo. Isso aconteceu porque esta cultura é perene e possui alta relação C/N, o que lhe confere um tempo de decomposição muito mais prolongado. O efeito silagem (contraste C4) mostra que houve diminuição da cobertura do solo com o uso desta prática, o que se reflete numa diminuição nos teores de COT na área de silagem (Quadro 5).

A fitomassa sobre o solo exerce influência nas propriedades do solo, uma vez que esta atua como um 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 do solo, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular e atividade microbiana, contribuindo para a criação de um ambiente mais favorável a agregação (Campos et al., 1999). A cobertura vegetal do solo contribui para um maior aporte de material orgânico, favorecendo desta maneira a proliferação de micro e macroorganismos.

O grau flocculação (GF) somente foi afetado significativamente no contraste C1, que compara a mata nativa com os tratamentos cultivados (Quadro 5). Esses resultados mostram que o GF não foi sensível as variações de manejo, somente ao uso, tratando-se de uma propriedade que reflete muito mais as condições de formação do solo do que o manejo ao qual este é submetido. Possivelmente, se as mudanças nos teores de carbono orgânico no solo sofrerem variações maiores, diferenças podem aparecer.

No SC os teores de COT variam pouco com a profundidade (Quadro 4), conseqüência do revolvimento do solo por ocasião do preparo. No tratamento PDtf, esta

tendência também fica evidente, porém menos acentuada, consequência do cultivo da gramínea perene tifton para feno por 3 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, onde se retira constantemente à parte aérea da cultura, também contribuiu para uma menor deposição de resíduos orgânicos na camada superficial, distribuindo melhor o COT nas camadas devido ao efeito de raízes. Corazza et al. (1999), trabalhando com pastagens constatou comportamento semelhante, diferindo somente a fenação em favor do pastejo por animais.

Quadro 4. Fitomassa sobre o solo (MS), grau de flocculação (GF) e carbono orgânico total (COT) para os diferentes tratamentos e respectivas profundidades.

Trat. ⁽¹⁾	MS (kg/ha)	GF (%)			COT (dag/kg)		
		0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm
PDs	3445	74,75a*	76,43a	75,51a	1,91a	1,83a	1,46b
PDg	4498	76,65a	74,28a	75,81a	2,28a	2,25a	1,97b
PDtf	5157	78,60a	76,54a	74,84a	2,36a	2,34a	2,26a
SC	2433	78,20a	77,90a	77,83a	2,25a	2,26a	2,21a
MN	10048	86,20a	82,35ab	80,13b	4,12a	3,21b	2,75c

⁽¹⁾ SDs – milho (silagem)/soja/ milho (silagem)/soja; SDg – milho/milho/milho/soja; SDtf – 3 anos com tifton (feno)/soja; SC – 4 anos seguidos com soja; e MN – mata nativa

* médias seguidas de letras iguais na linha para cada variável não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05)

Quadro 5. Estimativas dos contrastes médios estabelecidos para fitomassa sobre o solo (MS), grau de flocculação (GF) e carbono orgânico total (COT) entre os diferentes tratamentos e respectivas profundidades.

Cont. ⁽¹⁾	MS	GF			COT		
		0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm
C1	-6165*	-9,19*	-6,06*	-4,16*	-1,93*	-1,04*	-0,77*
C2	1934*	-1,54 ^{ns}	-2,15 ^{ns}	-2,35 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,32*
C3	1186*	2,92 ^{ns}	1,19 ^{ns}	-0,82 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,30*	0,54*
C4	-1053*	1,91 ^{ns}	2,15 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	-0,37*	-0,43*	-0,51*

⁽¹⁾ C1=(PDs+PDg+PDtf+SC – 4MN); C2=(PDs+PDg+PDtf – 3SC); C3=(-PDs-PDg + 2PDtf); e C4=(PDs – PDg)

*, ^{ns} significativo e não significativo pelo teste “F” (P<0,05) respectivamente

O cultivo do solo (contraste C1) reduziu drasticamente os teores de COT, em todas as camadas (Quadro 5). Corazza et al. (1999) relataram que a substituição da vegetação nativa por culturas anuais causa essa redução, devido ao revolvimento do solo, que favorece a oxidação da matéria orgânica.

O plantio direto (contraste C2) não foi eficiente em aumentar os teores de COT, pelo contrário, apresentou uma tendência de diminuição, mas que não chega a ser significativa nas duas camadas superficiais (Quadro 5).

O uso do tifton (contraste C3), proporcionou elevação significativa nos teores de COT nas duas camadas inferiores, mas não na camada superficial, em relação aos demais tratamentos com plantio direto (Quadro 5).

Observou-se que o cultivo do milho para silagem provocou redução nos teores de COT do solo, devido à exportação da parte aérea da cultura, que diminui o aporte de material vegetal nesse tratamento (contraste C4, Quadro 5).

Efeitos na densidade e porosidade do solo

Todos os tratamentos, com exceção do PDtf, apresentaram densidades menores na camada de 0 a 5 cm em relação à camada de 5 a 10 cm de profundidade, mas essa diferença somente foi significativa para MN (Quadro 5). Esse comportamento é proporcionado pelo COT, que além de possuir massa menor, atua na estruturação do solo (Brady, 1989), reduzindo a possibilidade da compactação pelo tráfego de máquinas na camada superior, mais rica em COT. As restevas da cultura da soja e do milho também oferecem resistência física à compactação do solo, concordando com Alderete (1996). Na camada de 10 a 20 cm de profundidade, o efeito da matéria orgânica e fitomassa sobre o solo diminuem em relação às outras camadas (Quadro 4), mas em contrapartida o efeito do tráfego é menos expressivo por causa da profundidade, o que neste trabalho pode ter contribuído para uma menor D_s na camada superior em relação a segunda camada (Quadro 6). Para MN, a menor densidade deve-se a ausência de tráfego de máquinas, ao não revolvimento do solo e aos altos teores de COT proporcionados pela mata nativa. O fato do tratamento PDtf não apresentar a mesma tendência, é função da cultura e seu manejo, pois o tifton possui um sistema radicular muito denso e profundo, e o COT está distribuído uniformemente nas 3 profundidades, eliminando o efeito de menor massa.

As estimativas dos contrastes estabelecidos para densidade do solo estão apresentadas no Quadro 7. O cultivo do solo (contraste C1) acarretou um aumento da densidade do solo nas três profundidades estudadas. Anjos et al. (1994) e Corazza et al. (1999) também obtiveram resultados semelhantes e atribuíram esse comportamento ao intenso revolvimento do solo e diminuição dos teores de matéria orgânica, o que está de acordo com o presente trabalho, onde estas condições se fizeram presentes.

O plantio direto (contraste C2) reduziu a densidade do solo nas duas camadas superiores, que pode ser atribuído ao maior aporte de material orgânico na superfície,

refletindo em mais fitomassa sobre o solo (Quadros 4 e 5), que protege o solo da ação direta das gotas de chuva e serve como um amortecedor para o peso das máquinas. Esse efeito ainda não se mostrou significativo na camada de 10 a 20 cm de profundidade, talvez porque a prática de plantio direto venha sendo utilizada há apenas 4 anos. O fato de no SC não se ter feito uso de arado nos últimos dois anos, somente grade aradora, não desestruturou o solo na camada de 10 a 20 cm, o que contribuiu para que a densidade nesta camada tenha sido um pouco menor, e por isso não se mostrou significativo em relação ao plantio direto. Machado (1976) também observou diminuição da densidade do solo após quatro anos da adoção de plantio direto em relação ao preparo convencional. Logo após o preparo do solo para semeadura no SC, certamente a densidade era menor, mas com as excessivas operações de aração e gradagens, a estrutura foi enfraquecida e os agregados quebrados, o que possibilitou uma nova reorganização das partículas após chuvas pesadas, comuns nesta época (ilustração na Figura 1), além do efeito da pressão exercida pelo tráfego de maquinaria. Peña et al. (1996) e Carter et al. (1999) também concluíram que as boas propriedades físicas observadas no preparo convencional no início da estação de cultivo, não persistiram até o final do período.

A gramínea perene tifton (contraste C3) foi eficiente em diminuir a densidade do solo na camada intermediária. Nas demais camadas não houve diferença significativa. Já a prática da silagem de milho (contraste C4) proporcionou um leve aumento na densidade do solo, porém não significativo (Quadro 7).

A distribuição dos poros (Quadro 6) mostra que somente a mata nativa (MN) apresentou porosidade total (Pt) maior que 50 %, valor ideal para um solo de boa qualidade física, conforme Kiehl (1979). Os demais tratamentos sofreram redução na Pt, proporcionada pela diminuição da macroporosidade, já que a microporosidade apresentou um leve acréscimo. Todos os tratamentos, com exceção para o SC, apresentaram volume de macroporos maior que 0,10 m³/m³ de solo. Vários pesquisadores propõem este valor como limite mínimo para macroporos, que por sua vez reflete a capacidade de aeração dos solos quando se apresentam próximo da capacidade de campo (Kiehl, 1979; Rachwal & Dedecek, 1996; Cockroft & Olsson, 1997).

De acordo com os contrastes estabelecidos para distribuição de poros no solo (Quadro 7), nota-se que o cultivo do solo (contraste C1) diminuiu o volume de macroporos e aumentou os microporos nas 3 profundidades estudadas, sendo que a porosidade total também diminuiu. Esse efeito ocorre devido a um aumento na densidade do solo (Quadros 6

e 7), que pode ser causada por pressão de maquinaria ou pelo rearranjo das partículas e agregados do solo. Reduções de Ma de 20,4% sob mata natural para 14,3% após 4 anos de plantio direto e 6,9% para solo submetido por 6 anos ao preparo convencional foram encontradas por Machado (1976), trabalhando com Latossolo Roxo (Latosolo Vermelho na classificação atual). Silva et al. (2000) também observaram que à medida que a compactação do solo aumenta, há decréscimo na porosidade total e na macroporosidade e acréscimos na microporosidade.

O plantio direto (contraste C2) aumentou a Ma e diminuiu a Mi em todas as profundidades, mas a Pt somente aumentou nas duas camadas superiores (Quadro 7), onde o efeito do COT é maior.

A prática da silagem somente aumentou significativamente a Mi na camada intermediária, não apresentando significância para Pt e Ma (Quadro 7).

Segundo Camargo (1983), o volume de água que flui por um tubo na unidade de tempo, é proporcional a quarta potência do raio. Então, se o diâmetro deste tubo diminui para 1/3 do tamanho original, o volume de fluxo no mesmo tempo diminuirá para 1/81 do original. Portanto, se com a compactação o volume de macroporos diminui, ela terá uma influência muito grande na condutividade hidráulica em um solo saturado. Isso é de uma grande importância para entender a infiltração de água no solo. No presente estudo, baseado na distribuição das chuvas nos meses do ano (Figura 1), muito maior nos meses de novembro até março, época em que se implanta as culturas, fica evidente que no SC (Quadro 5), a infiltração de água será severamente afetada, podendo levar ao escoamento superficial, encadeando o processo de erosão. Esse tratamento possui ainda fitomassa sobre o solo menor (Quadro 4) em relação ao plantio direto (Quadros 4 e 5), intensificando o processo erosivo.

A existência de canais deixados por organismos macro edáficos e raízes de plantas no plantio direto exercem influência positiva na infiltração de água no solo, diminuindo riscos de erosão. Cornisch (1993) denominou estes canais de bioporos e atribuiu a eles utilidade como rota alternativa para o crescimento de raízes em solos que apresentam resistência a penetração. Quando são realizados testes de resistência à penetração, estes bioporos não são detectados, o que leva a concluir em certos casos que determinado solo apresenta resistência elevada à penetração de raízes, o que na prática não é observado, devido ao efeito positivo destes poros, que são mais expressivos em sistemas onde o solo não é revolvido constantemente, como o caso do plantio direto.

Quadro 6. Densidade do solo (Ds), microporos (Mi), macroporos (Ma) e porosidade total (Pt) para os respectivos tratamentos e profundidades.

Tratamentos ⁽¹⁾	Ds	Mi	Ma	Pt
	---- g/cm ³ ----	----- % -----		
----- Profundidade de 0 a 5 cm -----				
PDs	1,60a*	26,43b	14,10a	40,53a
PDg	1,56a	25,54a	16,54a	42,08a
PDtf	1,55a	25,67a	17,40a	40,07a
SC	1,71a	31,73b	3,85a	35,58a
MN	1,17b	23,94a	31,89a	55,83a
----- Profundidade de 5 a 10 cm -----				
PDs	1,67a	28,44a	9,90a	38,33a
PDg	1,66a	25,28a	13,29a	38,58a
PDtf	1,53a	25,21a	17,97a	43,18a
SC	1,75a	33,10ab	2,33a	35,43a
MN	1,30a	23,94a	27,66a	51,93b
----- Profundidade de 10 a 20 cm -----				
PDs	1,65a	27,58ab	11,25a	38,80a
PDg	1,60a	25,83a	15,01a	40,83a
PDtf	1,56a	26,09a	19,93a	42,40a
SC	1,68a	34,13a	4,56a	38,70a
MN	1,27ab	23,08a	29,16a	52,24ab

⁽¹⁾ SDs – milho (silagem)/soja/ milho (silagem)/soja; SDg – milho/milho/milho/soja; SDtf – 3 anos com tifton (feno)/soja; SC – 4 anos seguidos com soja; e MN – mata nativa. * médias seguidas de letras iguais na mesma coluna de variáveis e diferentes profundidades não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05)

Quadro 7. Estimativas dos contrastes médios estabelecidos para densidade do solo (Ds), microporos (Mi), macroporos (Ma) e porosidade total (Pt) para as diferentes profundidades.

Nome	Efeitos dos contrastes	Ds	Mi	Ma	Pt
		-- g/cm ³ --	----- % -----		
----- Profundidade de 0 a 5 cm -----					
C1	Cultivo	0,434*	3,40*	-18,92*	-15,52*
C2	Plantio direto	-0,145*	-5,85*	12,17*	6,32*
C3	Tifton	-0,029 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	2,08 ^{ns}	1,76 ^{ns}
C4	Silagem	0,037 ^{ns}	0,88 ^{ns}	-2,44 ^{ns}	-1,56 ^{ns}
----- Profundidade de 5 a 10 cm -----					
C1	Cultivo	0,355*	4,07*	-16,79*	-13,05*
C2	Plantio direto	-0,126*	-6,79*	11,39*	4,60*
C3	Tifton	-0,137*	-1,65*	6,38*	4,73*
C4	Silagem	0,013 ^{ns}	3,15*	-3,40 ^{ns}	-0,24 ^{ns}
----- Profundidade 10 a 10 cm -----					
C1	Cultivo	0,348*	5,32*	-16,47*	-12,06*
C2	Plantio direto	-0,074 ^{ns}	-7,64*	10,84*	1,98 ^{ns}
C3	Tifton	-0,060 ^{ns}	-0,61 ^{ns}	6,80*	2,58 ^{ns}
C4	Silagem	0,046 ^{ns}	1,75 ^{ns}	-3,75 ^{ns}	-2,03 ^{ns}

⁽¹⁾ C1=(PDs+PDg+PDtf+SC – 4MN); C2=(PDs+PDg+PDtf – 3SC); C3=(-PDs-PDg + 2PDtf); e C4=(PDs – PDg)
*, ^{ns} significativo e não significativo pelo teste “F” (P<0,05) respectivamente

Capacidade de água disponível (CAD) e relações CAR/Pt e CC/Pt

A capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) não diminuíram com o aumento da profundidade (Quadro 8), sugerindo que o teor de COT não está contribuindo para tal, uma vez que este diminui com a profundidade (Quadro 4). Talvez o efeito do COT tenha sido mascarado, uma vez que com a diminuição dos teores de COT a densidade do solo aumentou, o que pode ser constatado nas correlações apresentadas no Quadro 10. Reynolds et al. (2002) também encontraram resultados semelhantes ao comparar mata nativa, plantio direto e preparo convencional, evidenciando não haver nenhuma vantagem clara do plantio direto sobre o preparo convencional. O que se observa mais claramente é que estes valores (CC e PMP) variam em função dos teores de argila entre os tratamentos (Quadro 2). Arruda et al. (1987) estabeleceram que existe uma relação direta entre conteúdo de água para essas tensões e teores de silte mais argila.

O índice obtido pela relação CAR/Pt ficou próximo de 0,34 para os tratamentos PDs, PDg e PDtf (Quadro 8), conforme sugerido por Olness et al. (1998), citado por Reynolds et al. (2002), como sendo indicadores da boa qualidade física em solos. Skopp et al. (1990) concluíram que nestas proporções a atividade de microorganismos seria ideal para a mineralização da matéria orgânica e liberação de N para um bom crescimento das culturas. Para o SC este índice foi bastante inferior, indicando falta de arejamento necessário para uma boa atividade microbiana e respiração das raízes quando os solos se encontram próximo da CC, o que corrobora com os valores de Ma que neste tratamento foram inferiores ao limite mínimo de $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^3$. A MN apresentou índices superiores aos ideais, não tendo problemas com arejamento.

O índice CC/Pt nos tratamentos PDs, PDg e PDtf ficou próximo do ideal (0,66), indicando uma boa relação para conteúdo de água na CC, não limitando a ação dos microrganismos e absorção de água pelas plantas. Para o SC este índice foi muito elevado, o que pode levar a uma aeração deficiente quando o solo estiver próximo da CC, uma vez que grande proporção dos poros está ocupada por água. Na MN a relação é baixa, devido a este tratamento apresentar Pt alta (Quadro 8). Reynolds et al. (2002) encontraram valores um pouco acima de 0,66 em solos francos e franco argilosos e menores em solos arenosos no Canadá. Estes pesquisadores consideraram este valor como sendo bom indicador da qualidade física para os dois primeiros solos.

Quadro 8. Capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) relação entre capacidade de aeração e porosidade total (CAR/Pt) e relação entre capacidade de campo e porosidade total (CC/Pt) para os diferentes tratamentos e suas profundidades

Tratamentos ⁽¹⁾	CC	PMP	CAD	CAR/Pt	CC/Pt
	-----	(m ³ /m ³) -----	-----		
----- Profundidade de 0 a 5 cm -----					
PDs	0,235a*	0,135a	0,100a	0,34a	0,59a
PDg	0,230a	0,121a	0,109a	0,39a	0,55a
PDtf	0,234a	0,121a	0,114a	0,40a	0,55a
SC	0,299a	0,181a	0,117a	0,11a	0,84a
MN	0,218a	0,122a	0,096a	0,60a	0,39a
----- Profundidade de 5 a 10 cm -----					
PDs	0,261a	0,150a	0,111a	0,26a	0,68a
PDg	0,228a	0,129a	0,110a	0,34a	0,59a
PDtf	0,229a	0,119a	0,110a	0,42a	0,53a
SC	0,313a	0,193a	0,120a	0,06a	0,89a
MN	0,221a	0,123a	0,098a	0,53a	0,43a
----- Profundidade de 10 a 20 cm -----					
PDs	0,253a	0,148a	0,105a	0,29a	0,65a
PDg	0,229a	0,125a	0,104a	0,37a	0,56a
PDtf	0,235a	0,125a	0,110a	0,38a	0,56a
SC	0,320a	0,194a	0,125a	0,12a	0,83a
MN	0,208a	0,121a	0,087a	0,56a	0,40a
Valores ótimos ⁽²⁾				0,34	0,66

⁽¹⁾ SDs – milho (silagem)/soja/ milho (silagem)/soja; SDg – milho/milho/milho/soja; SDtf – 3 anos com tifton (feno)/soja; SC – 4 anos seguidos com soja; e MN – mata nativa.

⁽²⁾ Valores sugeridos por Olnes et al. (1998), citado por Reynolds et al. (2002).

* médias seguidas de letras iguais na mesma coluna de variáveis e diferentes profundidades não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05)

Quanto à capacidade de água disponível (CAD), não se verificou nenhuma diferença significativa nos contrastes estabelecidos para as duas camadas superficiais (Quadro 9). Na camada mais profunda constatou-se diferença significativa somente em favor do efeito cultivo e contra o efeito plantio direto, devido ao SC possuir um teor de argila maior (Quadro 2), aumentando assim a CAD. O que se verificou é que na mata nativa essa variável foi menor em todos os tratamentos e profundidades (Quadro 8), fato que coincide com uma reduzida densidade do solo e aumento do volume de macroporos (Quadros 5 e 6) em relação aos demais tratamentos.

Com o cultivo do solo (contraste C1, Quadro 9) o índice CAR/Pt reduziu, mas como na mata nativa este valor estava acima do ideal, isso não diz muita coisa, pois após a redução, os tratamentos com plantio direto alcançaram valores mais pertos do ideal (Quadro 8). Já no contraste C2, fica clara a eficiência do plantio direto em relação ao

sistema convencional, pois este índice aumentou para valores mais próximos do ideal. Para o efeito tifton (contraste C3), apenas na camada intermediária o índice aumentou, mas neste caso alcançando valores acima do ideal, não representando uma vantagem, pois os outros dois tratamentos com plantio direto que fazem parte deste contraste apresentam valores mais perto do ideal. Para o efeito silagem (contraste C4), a redução do índice foi significativa nas duas camadas mais profundas, alcançando valores abaixo do ideal.

Os contrastes para o índice CC/Pt apresentaram comportamento semelhante ao índice CAR/Pt (Quadro 9), porém com tendência contrária, uma vez que os valores desses índices completam a unidade, quando a CAR e CC são determinadas para o mesmo potencial matricial do solo. No Presente estudo a unidade não é alcançada, pois a CAR e CC foram determinadas para as tensões 6 e 10 kPa, respectivamente. Em trabalhos futuros recomenda-se trabalhar apenas com um destes índices, talvez o de mais fácil obtenção.

Quadro 9. Estimativa dos contrastes médios estabelecidos para capacidade de água disponível (CAD), relação entre capacidade de aeração e porosidade total (CAR/Pt) e relação entre capacidade de campo e porosidade total (CC/Pt) nas respectivas profundidades.

Nome ⁽¹⁾	Efeito dos contrastes	CAD			
		---	m ³ /m ³	---	
----- Profundidade de 0 a 5 cm -----					
C1	Cultivo		0,0140 ^{ns}	-0,259*	0,238*
C2	Plantio direto		-0,0098 ^{ns}	0,203*	-0,281*
C3	Tifton		0,0098 ^{ns}	0,023 ^{ns}	-0,021 ^{ns}
C4	Silagem		-0,0084 ^{ns}	-0,023 ^{ns}	0,038 ^{ns}
----- Profundidade de 5 a 10 cm -----					
C1	Cultivo		0,0122 ^{ns}	-0,263*	0,243*
C2	Plantio direto		-0,0134 ^{ns}	0,274*	-0,285*
C3	Tifton		0,0045 ^{ns}	0,115*	-0,108*
C4	Silagem		0,0112 ^{ns}	-0,087*	0,088*
----- Profundidade de 10 a 20 cm -----					
C1	Cultivo		0,0242*	-0,271*	0,253*
C2	Plantio direto		-0,0189*	0,229*	-0,236*
C3	Tifton		0,0056 ^{ns}	0,053 ^{ns}	-0,049 ^{ns}
C4	Silagem		0,0004 ^{ns}	-0,080*	0,093*

⁽¹⁾ C1=(PDS+PDG+PDTF+SC - 4MN); C2=(PDS+PDG+PDTF - 3SC); C3=(-PDS-PDG + 2PDTF); e C4=(PDS - PDG)
*, ^{ns} significativo e não significativo pelo teste F (P<0,05), respectivamente

Correlações estabelecidas

Nota-se que a Ds foi negativamente correlacionada com Pt, Ma e CAR/Pt (Quadro 10). Esses resultados confirmam a diminuição da capacidade de aeração do solo com o

aumento da Ds, podendo afetar a infiltração de água no solo. Na camada de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm a CAD não apresentou correlações significativas a ($P < 0,001$) com nenhuma das características a qual foi submetida, mostrando tendência para apresentar maiores significâncias para as correlações na camada mais profunda, merecendo destaque a correlação com Ds. Isso aconteceu porque com o aumento da densidade do solo em profundidade, o volume de sólidos aumentou para um mesmo volume total, diminuindo Ma e aumentando Mi, onde os últimos apresentaram efeito positivo na retenção de água. A Ds também apresentou correlações positivas com teores de argila. Arruda (1987) observou correlações negativas para essas variáveis ($r = -0,36$), incluindo os teores de silte. Kiehl (1979) também atribui Ds menor para solos com maiores teores de argila. No presente trabalho o inverso ocorreu, talvez pelo fato do aumento dos teores de argila ter facilitado o rearranjo das partículas, preenchendo melhor os espaços porosos do solo.

Quadro 10. Correlações estabelecidas entre densidade do solo (Ds), microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma), porosidade total (Pt), relação entre capacidade de aeração e porosidade total (CAR/Pt), capacidade de água disponível (CAD), massa seca sobre o solo (MS), areia grossa (AG), argila (A) e carbono orgânico total (COT) para cada profundidade.

Variáveis	Ds	Mi	Ma	Pt	CAR/Pt	CAD
----- Profundidade de 0 a 5 cm -----						
Ds	-	0,74**	-0,96**	-0,99***	-0,89***	0,58**
MS	-0,92***	-0,72***	0,91***	0,93***	0,84***	-0,41*
AG	-0,84***	-0,81***	0,88***	0,85***	0,88***	-0,29 ^{ns}
A	0,37 ^{ns}	0,79***	-0,53**	-0,39*	-0,66***	0,016 ^{ns}
COT	-0,87***	-0,47*	0,78***	0,85***	0,64**	-0,34 ^{ns}
----- Profundidade de 5 a 10 cm -----						
Ds	-	0,71***	-0,96***	-0,99***	-0,88***	0,52**
MS	-0,89***	-0,74***	0,89***	0,89***	0,83***	-0,51**
AG	-0,78***	-0,83***	0,86***	0,79***	0,87***	-0,48**
A	0,52**	0,90***	-0,70***	-0,51**	-0,81***	0,57**
COT	-0,79***	-0,46*	0,72***	0,79***	0,62**	-0,39 ^{ns}
----- Profundidade de 10 a 20 cm -----						
Ds	-	0,69***	-0,95***	-0,99***	-0,88***	0,67***
MS	-0,86***	-0,76***	0,90***	0,87***	0,85***	-0,68***
AG	-0,74***	-0,88***	0,86***	0,72***	0,89***	-0,67***
A	0,45*	0,89***	-0,68***	-0,44*	-0,79***	0,51**
COT	-0,67***	-0,29 ^{ns}	0,60**	0,73***	0,49**	-0,27 ^{ns}

*, **, *** e ^{ns} significativos a ($P < 0,05$), ($P < 0,01$), ($P < 0,001$) e não significativo pelo teste "t", respectivamente.

A fitomassa sobre o solo (MS) apresentou correlações positivas e significativas ($P < 0,001$) para Ma ($r=0,91$) e Pt ($r=0,93$) na camada de 0 a 5 cm, com tendência a redução

dos coeficientes com o aumento da profundidade, onde o efeito desta se manifesta menos. A MS representa a quantidade de material orgânico que entra no sistema, favorecendo uma melhor estruturação do solo na superfície, melhorando assim a aeração e infiltração de água.

Os teores de argila apresentam correlações positivas e significativas ($P < 0,001$) com Mi. Os teores de areia grossa (AG) aumentam a capacidade de aeração, que pode ser observado nas correlações positivas e significativas ($P < 0,001$) com Ma e CAR/Pt.

Esperava-se que os teores de COT aumentassem a CAD, entretanto ocorreu o contrário, indicando que seus teores não podem ser usados como indicadores de aumento da CAD em base volumétrica. Isso pode estar relacionado ao fato de que com o aumento dos teores de COT, ocorre diminuição da densidade do solo. Talvez se a CAD fosse expressa em umidade gravimétrica, as correlações poderiam ser positivas.

CONCLUSÕES

O cultivo contribuiu para a degradação das propriedades físicas do solo estudadas em relação à mata nativa. O plantio direto apresentou potencial para recuperação dessas em relação ao preparo convencional, mas ainda muito distante da mata nativa. Entre os tratamentos com plantio direto, aquele com a gramínea tifton, apresentou o melhor resultado na melhoria da qualidade física do solo, com ênfase na diminuição da densidade do solo.

No preparo convencional a capacidade de aeração (CAR) foi inferior ao limite $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^3$, estabelecido por grande número de pesquisadores como sendo o mínimo necessário para uma boa atividade microbiana e respiração das raízes.

Os índices de CAR/Pt e CC/Pt foram sensíveis à adoção de diferentes usos e manejos, podendo portanto, serem usados como indicadores da qualidade física de solos, porém, mais estudos devem ser realizados para se obter o valor ideal para cada tipo de solo.

LITERATURA CITADA

- ALDERETE, D. R. Compactação e características químicas de um Latossolo Roxo influenciadas pela adição de resíduos de soja e de milho. Viçosa, UFV, 1996. 108p. Tese (Mestrado em Solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- ANJOS, J. T.; UBERTI, A. A. A.; VIZZOTTO, V. T.; LEITE, G. B. & KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, 18:139-145, 1994.
- ARRUDA, F. B.; ZULLO JR, J. & OLIVEIRA, J. B. Parâmetros de solo para cálculo da água disponível com base na textura do solo. R. Bras. Ci. Solo, 11:11-15, 1987.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. (eds) Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 1999. p.09-26.
- BRADY, N. C. Natureza e propriedades dos solos. Rio de Janeiro: Freitas Astos. 7ª ed. 1989. 878p.
- CAMARGO, O. A. Compactação do solo e desenvolvimento de plantas. Campinas, Fundação Cargill, 1983. 44p.
- 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. . R. Bras. Ci. Solo, 23:383-391, 1999.
- CARTER, M. R.; ANGERS, D. A. & TOPP, G. C. Characterizing equilibrium physical condition near the surface of a fine sandyloam under conservation tillage in a humid climate. Soil Sci., 164:101-110, 1999.
- COCKROTF, B. & OLSSON, K. A. Case study of soil quality in south-eastern Australia: management of structure for roots in duplex soils. In: GREGORICH, E. G. & CARTER, M. R. (Eds), Soil quality for crop production and ecosystem health. developments in soil science. New York, Elsevier 1997. p.339-350.
- 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 a vegetação de cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 23:425-432, 1999.
- CORNISH, P. S. Soil macrostructure and root growth of establishing seedlings. Plant Soil, 151:119-126, 1993.

- CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KAMPF, N.; MONIZ, A. C. & FONTES, L. E. F. Vocabulário de ciência do solo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90p.
- DAUDA, A. & SAMARI, A. Cowpea yield response to soil compaction under tractor traffic on a sandy loam soil in the semi-arid region of Northern Nigeria. *Soil & Tillage Research* 68:17-22, 2002.
- DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. *Viçosa, R. Bras. Ci. solo*, 20:175-182, 1996.
- EAVIS, B. W. Soil physical affecting seedling root growth. I. Mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by bulk density and moisture levels in a sandy loam soil. *Plant Soil*, 36:613-622, 1972.
- EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. EMBRAPA, 2ª edição, Rio de Janeiro, 1997. 212p
- FERNANDES FILHO, E. I. & FRANCELINO, M. R. Solo como sistema trifásico (Apostila). Viçosa: UFV. 2001. 41p.
- FERREIRA, M. M. Física do solo. Lavras. ESAL/FAEPE. 1993. 63p.
- HILLEL, D. Soil and water. Physical principles and processes. New York, Academic Press, 1971. 288p.
- KIELH, E. K. Manual de edafologia: relações solo-planta. Editora Agronômica Ceres, São Paulo-SP, 1979. 262p.
- KLEIN, V. A. & LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro de poros em um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:857-867, 2002
- MACHADO, J. A. Efeito dos sistemas de cultivo reduzido e convencional na alteração de algumas propriedades físicas e químicas do solo. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1976. 127p. (Tese Livre Docência)
- PEÑA, Y. A.; GOMES, A. S. & SOUSA, R. O. Influência de diferentes sistemas de cultivo nas propriedades físicas de um solo de várzea cultivado com arroz irrigado. *R. Bras. Ci. Solo*, 20: 517-523, 1996.
- RACHWAL, M. F. G. & DEDECEK, R.A. Influência da aeração e da disponibilidade hídrica em Cambissolos e Latossolos com diferentes níveis de erosão sobre a produtividade e a qualidade da cultura da batata. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:485-491, 1996.
- REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

- REICHARDT, K. Capacidade de campo. R. Bras. Ci. Solo, 12: 211-216, 1988.
- RENEDO, V. S. G. Dinámica y mecânica de suelos. Madrid: Edições Agrotécnicas S. L. 1996. 426p.
- REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S. & LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. Geoderma, 110:131-146, 2002
- RUIZ, H. A.; FERREIRA, G. B. & PEREIRA, J. B. M. Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. R. Bras. Ci. Solo, 27:389-393, 2003.
- SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. & CAMARGO O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. R. Bras. Ci. Solo, 10:91-95, 1986.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J. & REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 24:191-199, 2000.
- SKOPP, J.; JAWSON, M. D. & DORAN, J. W. Steady-state aerobic microbial activity as a function of soil water content. Soil Sci. Soc. Am. J., 54:1619-1625, 1990.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. & SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. R. Bras. Ci. Solo, 22:301-309, 1998.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. & LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. Soil & Tillage Research, 52:223-232, 1999
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 19:1467-1476, 1988.

CONCLUSÕES GERAIS

Os diferentes usos e manejos adotados afetaram as propriedades físicas do solo.

A alteração mais visível ocorreu no sentido da redução da qualidade física, quando os solos foram submetidos ao cultivo em relação à mata nativa. Os teores de carbono orgânico total foram reduzidos em média pela metade, paralelamente a estabilidade de agregados diminuiu, a densidade do solo aumentou, a capacidade de aeração diminuiu e a capacidade de retenção de água aumentou.

Entre os tratamentos cultivados, o preparo convencional diminuiu a estabilidade de agregados em água, aumentou a densidade do solo, o que se refletiu numa diminuição de macroporos acima do considerado como limite mínimo para um perfeito arejamento, uma vez que estes poros refletem a capacidade de aeração do solo. Com a introdução do plantio direto, surgiram algumas melhorias neste sentido, principalmente pelo aumento da estabilidade de agregados em água, aumento de macroporos e diminuição da densidade do solo.

O uso da gramínea perene tifton por três anos depois do preparo convencional para introdução do plantio direto apresentou-se como excelente alternativa para recuperação física de áreas degradadas.

A prática da silagem não implicou em grandes alterações nas propriedades físicas do solo, mas devido à retirada da parte aérea da cultura, diminuindo o aporte de material vegetal, reduziu significativamente o teor de carbono orgânico total no solo.

APÊNDICE

Quadro 1A. Resumo da análise de variância para MS (Quadrados médios)

FV	GL	Quadrado Médio
Tratamento	4	34704117,71*
Resíduo	15	445679,68
C.V. %		13,05

MS = fitomassa sobre o solo.

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste F.

Quadro 2A. Resumo das análises de variância de dados referentes às propriedades estudadas (Quadrados Médios).

FV	GL	Quadrado Médio							
		GF	COT	AGRI	DMP	DMG	IEA	Pt	
Tratamento	4	113,44*	4,66*	10308,78*	7,45*	7,06*	4290,53*	502,70*	
Resíduo a	15	2,34	0,05	53,21	0,05	0,08	155,09	10,33	
Profundidade	2	23,49	0,89*	1491,81*	1,14*	0,44*	128,24	18,38	
Resíduo b	6	12,32	0,04	15,35	0,02	0,01	30,81	4,36	
Trat. * Prof.	8	9,73	0,27	112,86	0,10	0,04	151,16	8,06	
Resíduo c	24	6,04	0,02	23,82	0,02	0,02	99,72	5,24	
C.V. % (a)		1,97	9,18	22,44	15,04	29,71	18,56	7,56	
C.V. % (b)		4,52	8,36	12,05	8,86	12,94	8,27	4,91	
C.V. % (c)		3,16	6,25	15,01	9,13	14,74	14,88	5,39	

GF = grau de floculação; COT = carbono orgânico total; AGRI = percentagem de agregados estáveis maiores que 2,00 mm; DMP = diâmetro médio ponderado; DMG = diâmetro médio geométrico; IEA índice de estabilidade de agregados; Pt = porosidade total.
* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Quadro 3A. Resumo das análises de variância de dados referentes às propriedades estudadas (Quadrados Médios)

FV	GL	Quadrado Médio							
		Mi	Ma	Ds (x1000)	PMP (x1000)	CC (x1000)	CC/Pt (x1000)	CAR/Pt (x1000)	CAD (x1000)
Tratamento	4	152,82*	1078,93*	3824,56*	97,19*	166,43*	3173,28*	3339,92*	12,18*
Resíduo a	15	1,13	13,67	74,34	1,70	1,77	33,00	29,13	2,05
Profundidade	2	2,75	31,17	202,23*	5,35	3,09	67,85	78,86	0,06
Resíduo b	6	1,48	6,42	23,45	1,43	1,25	28,66	17,75	1,27
Trat. * Prof.	8	2,40	5,56	52,51	1,55	2,76	29,19	19,23	1,00
Resíduo c	24	1,03	9,33	46,49	1,07	1,59	33,79	27,89	0,91
C.V. % (a)		3,93	23,97	5,56	9,22	5,37	9,50	15,77	13,37
C.V. % (b)		4,50	16,43	3,12	8,44	4,53	8,86	12,32	10,54
C.V. % (c)		3,75	19,80	4,40	7,31	5,10	9,61	15,46	8,90

Mi = microporos; Ma = macroporos; Ds = densidade do solo; PMP = ponto de murcha permanente; CC = capacidade de campo; CC/Pt = índice da relação entre capacidade de campo e porosidade total; CAR/Pt = índice da relação entre capacidade de aeração e porosidade total; CAD = capacidade de água disponível.

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.