

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line) 1981-0997

v.7, n.3, p.414-420, jul.-set., 2012

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

DOI:10.5039/agraria.v7i3a1462

Protocolo 1462 - 28/03/2011 • Aprovado em 22/12/2011

Sammy S. R. Matias¹

Marcus A. R. Correia²

Livia A. Camargo^{2,4}

Manoel T. de Farias²

José F. Centurion^{2,5}

Júlio C. A. Nóbrega³

1 Universidade Estadual do Piauí, Prof
Joaquina Nogueira Oliveira, s/n, Aeroporto,
CEP 64980-000, Corrente, PI, Brasil.
Fone: (89) 3573-2093.

E-mail: ymmsa2001@yahoo.com.br

2 Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal,
Departamento de Solos e Adubos, Via de
Acesso Paulo Donato Castellane, s/n, Rural,
CEP 1487000, Jaboticabal, SP, Brasil. Fone:
(16) 3209-2672.

Fax: (16) 3209-2673.

E-mail: marcus.agro@hotmail.com;

li_arantes@yahoo.com.br;

fariamp@bol.com.br; jfcentur@fcav.unesp.br

3 Universidade Federal do Piauí, Campus
Professora Cinobelina Elvas, BR 135, Km 3,
CEP 64900-000, Bom Jesus-PI, Brasil.
Fone: (89) 3356-2468.

E-mail: julioconobrega@gmail.com

4 Bolsista de Doutorado da FAPESP

5 Bolsista de Produtividade em Pesquisa

Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo

RESUMO

A ocupação e o manejo agrícola provocam alterações nos atributos físicos e nos teores de carbono orgânico do solo. Assim, o objetivo deste trabalho foi observar a influência do uso e o manejo do solo sob diferentes sistemas de cultivo, nos atributos físicos e nos teores de carbono orgânico em uma área de Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa. O estudo foi realizado no município de Jaboticabal, SP, em áreas sob sistemas de plantio direto, plantio convencional, plantio de seringueira com Kudzu tropical (*Pueraria phaseoloides*) na entrelinha e mata nativa. As profundidades estudadas foram: 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. O delineamento experimental em bloco inteiramente casualizado com parcelas subdivididas e seis repetições. Amostras deformadas e indeformadas foram coletadas para determinação dos atributos físicos, carbono orgânico, estoque de carbono orgânico e taxa de estratificação de carbono orgânico. O sistema de plantio direto e o sistema cultivado com seringueira, foram os sistemas de cultivo comercial que apresentaram os maiores valores de estoque e de taxa de estratificação de carbono orgânico na camada superficial, indicando serem os sistemas que melhor mantêm a qualidade física do solo. Os sistemas de cultivos mantiveram a densidade do solo em valores que não prejudicam o crescimento radicular; na sua maioria, os sistemas de manejo alteraram os atributos físicos e químicos do solo, especialmente na camada subsuperficial (0,10-0,20 m).

Palavras-chave: densidade do solo, porosidade do solo, resistência à penetração, taxa de estratificação do carbono orgânico do solo

Influence of different management systems on soil physical attributes and organic carbon

ABSTRACT

The occupation and agricultural management cause changes in soil physical attributes and organic carbon. Therefore, the objective of this study was to evaluate the influence of the agricultural use and management, under different cropping systems, on physical attributes and in the levels of soil organic carbon in an area of a soil classified as Hapludox. The study was carried out in the municipality of Jaboticabal, São Paulo State, involving areas under no-tillage system, conventional tillage, rubber trees with tropical Kudzu (*Pueraria phaseoloides*) between rows and native forest. The soils were studied at depths of 0-0.05; 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m. The experimental design was completely randomized split plot with six replicates. Disturbed and undisturbed samples were collected for determinations of physical properties, organic carbon, organic carbon stocks and rate of organic carbon stratification. No-tillage system and system with rubber trees with tropical Kudzu (*Pueraria phaseoloides*) between rows were the commercial cultivation systems with the highest values of stocks and stratification rate of organic carbon in the surface layer, indicating that these systems are the best to maintain soil physical quality. All studied cropping systems showed bulk density values that do not affect root growth. However, the studied management systems affected soil physical and chemical properties, especially in the subsurface layer (0.10-0.20 m).

Key words: bulk density, soil porosity, resistance to penetration, stratification rate of soil organic carbon

INTRODUÇÃO

O solo é um dos principais suportes da produção agrícola, cujos padrões são regidos por um complexo conjunto de fatores físicos, químicos e biológicos submetidos à ação do clima, que interagem e tendem ao equilíbrio. Através das práticas agrícolas o homem interfere neste sistema, alterando os atributos físico-hídricos, químicos e biológicos do solo.

Com o avanço dos intensos sistemas de cultivos, a influência da degradação do solo tornou-se na produtividade das culturas, uma das grandes preocupações da atualidade. A compactação do solo tem sido quantificada por atributos físicos, dentre eles, a resistência à penetração (RP), a qual mantém relações intrínsecas com o conteúdo de água, densidade do solo e composição granulométrica. O conteúdo de água na capacidade de campo tem sido aceito como padrão à determinação da RP sendo, essencialmente, outro ponto de referência para o estabelecimento de valores de RP críticos (Bengough et al., 2001). A compactação do solo também pode ser avaliada por outros atributos físicos como densidade, porosidade e outros também relacionados com a dinâmica e o armazenamento da água e do ar presentes no solo.

A análise do teor de matéria orgânica do solo tem-se intensificado por se relacionar positivamente com atributos físicos relativos à qualidade do solo como a maior resistência do solo à erosão, a taxa de infiltração e o sequestro de carbono atmosférico. A qualidade física do solo pode ser entendida como a capacidade do solo em exercer suas funções para sustentar a produtividade, mantendo a qualidade da água e do ar. Segundo Franzluebbbers (2002a) e Fidalski et al. (2007) uma alternativa auxiliar, simples e de baixo custo para a avaliação da degradação do solo, é a taxa de estratificação de carbono orgânico do solo, que compara o conteúdo de carbono orgânico da camada superficial com o das camadas inferiores. Segundo os estudos de Franzluebbbers (2002b) essa taxa indica a qualidade do solo pois a matéria orgânica superficial é essencial no controle da erosão, infiltração de água e na conservação de nutrientes. Nesses estudos os atributos físicos do solo foram comparados com a taxa de estratificação de carbono e se observou que nas condições em que os atributos físicos apresentam os melhores índices para as plantas, foram obtidos os maiores valores dessa taxa.

Assim como outros atributos físicos do solo, o teor de matéria orgânica é influenciado pelo sistema de cultivo empregado ao solo. Áreas cultivadas com seringueira e pastagem apresentam redução dos teores de matéria orgânica quando comparadas com sistema de mata nativa, assim como sistemas de plantio direto apresentam maior índice de carbono orgânico na camada superficial do solo em detrimento de sistemas convencionais (Cruz et al., 2003). O intenso revolvimento do sistema de plantio convencional favorece a decomposição de matéria orgânica e ocasiona efeitos consideráveis negativos nos atributos físicos no solo. Portanto, a relação entre os atributos físicos do solo e a manutenção da matéria orgânica do solo em camadas superficiais justifica o uso da taxa de estratificação do carbono orgânico como índice de avaliação da qualidade física do solo.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi observar a influência do uso e manejo do solo, submetido a diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e nos teores de carbono orgânico do solo em área de Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa em Jaboticabal, SP.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na fazenda experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, em Latossolo Vermelho Distroférico A moderado, textura argilosa, profundo e localizado em área de relevo suave ondulado (Andrioli & Centurion, 1999). As coordenadas geográficas da área experimental são 21°15'22" de Latitude Sul e 48°18'58" de Longitude Oeste. O clima da região é classificado, segundo Koppen, como Cwa (subtropical), com verão quente e chuvoso, temperatura média mensal variando de 19,4 a 24,8 °C, durante o ano. A precipitação pluviométrica anual média é de 1.400 mm, com período de maior concentração de outubro a março e precipitações mais espaçadas e de menores intensidades de abril a setembro, sendo a altitude média de 570 m.

O estudo foi realizado em quatro áreas com diferentes sistemas de cultivo: a) área com seringueira (CS) implantada em 1992, clone PB 235, com Kudzu tropical (*Pueraria phaseoloides*) plantado nas entrelinhas; b) área com 9 anos de sistema plantio direto (SPD) com sucessão soja/milho no verão e milho na safrinha, após 20 anos de sistema convencional; c) área com 1 ano de sistema convencional em que se procedeu, após 8 anos de SPD, ao preparo do solo, realizando-se uma escarificação até 30 cm de profundidade seguida de uma gradagem pesada e gradagem leve; d) mata nativa (MN) remanescente de vegetação da Mata Atlântica.

O delineamento experimental adotado foi em blocos inteiramente casualizados (DBC) em parcelas subdivididas com 6 repetições. As parcelas foram compostas dos tratamentos principais constituídos pelos quatro sistemas de cultivo utilizados. Nas subparcela foram alocados os tratamentos secundários, compostos pelas profundidades de coleta das amostras de terra (0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m), totalizando 72 parcelas experimentais.

Nas amostras deformadas foi realizada a análise granulométrica (Tabela 1) determinada por meio da dispersão com NaOH (0,1 mol L⁻¹) e agitação, durante 16 horas, sendo o conteúdo de argila total e a argila dispersa em água quantificados pelo método da pipeta (Embrapa, 1997). O grau de floculação (GF) foi calculado pela expressão (argila total - argila dispersa em água)/argila total. A areia total (AT) foi fracionada em areia grossa (AG), material retido entre as peneiras de 2 e 0,02 mm e a areia fina (AF), material com tamanho de partículas entre 0,02 e 0,05 mm.

Também foi determinado nas amostras deformadas, o teor de carbono orgânico (CO) segundo Raij et al. (2001). Para a determinação do estoque de carbono em cada profundidade estudada, utilizou-se a equação: Estoque de carbono = CO (g kg⁻¹) x E x D em que E = espessura da camada (dm) e D = densidade do solo (kg dm⁻³). A partir dos valores de CO foi calculada também a taxa de estratificação, conforme Franzluebbbers (2002b): em cada amostra o valor de CO da

Tabela 1. Análise granulométrica das áreas cultivadas com seringueira (CS), sistema plantio direto (SPD), sistema de plantio convencional (SPC) e mata nativa (MN)

Table 1. Particle size analysis of soil from areas cultivated with rubber trees (CS), no-tillage (NT), conventional tillage (CT) and native forest (NF)

Área	Profundidade (m)	Areia	Areia	Areia	Silte	Argila
		Total	Grossa	Fina		
		g kg ⁻¹				
CS	0-0,05	515	37	478	61	424
	0,05-0,10	515	35	480	49	436
	0,10-0,20	503	28	475	74	423
SPD	0-0,05	409	36	373	71	520
	0,05-0,10	406	28	378	63	531
	0,10-0,20	400	28	372	98	502
SPC	0-0,05	404	30	374	79	517
	0,05-0,10	406	32	374	98	496
	0,10-0,20	398	28	370	82	520
MN	0-0,05	262	25	217	251	486
	0,05-0,10	239	14	216	235	525
	0,10-0,20	234	14	214	182	583

camada superficial do solo (0-0,05 m) foi dividido pelo valor da camada subsuperficial (0,10-0,20 m), ou seja, maiores valores dessa taxa representam maior aporte de matéria orgânica na camada superficial. O mesmo autor afirma que valores dessa taxa > 2 seriam incomuns em condições degradadas.

As amostras indeformadas foram utilizadas para determinação da resistência à penetração (RP), densidade do solo (Ds), microporosidade (Mícro), macroporosidade (Macro) e porosidade total (PT), as quais foram saturadas durante 24 h e pesadas obtendo-se assim a massa do solo saturado; em seguida, foram submetidas à mesa de tensão (60 hPa) e pesadas quantificando-se a massa do solo úmido; após este procedimento foram levadas à estufa a 105 °C, por 24 h, e pesadas para obtenção da massa de solo seco.

A RP foi determinada após as amostras saírem da mesa de tensão (60 hPa), com três repetições por amostra, utilizando-se um penetrômetro eletrônico estático de laboratório com velocidade constante de penetração de 0,01 m min⁻¹, registro de uma leitura por segundo, cone com semiângulo de 30° e área de 3,14 x 10⁻⁶ m², equipado com atuador linear de célula de carga de 20 kgf, acoplado a um microcomputador para aquisição dos dados, conforme descrito por Tormena et al. (1998) e Bengough et al. (2001). No momento da leitura da RP as amostras estavam com teor de água referente à tensão de 60 hPa. Foram utilizadas 100 leituras por subdeterminação correspondentes à camada central do cilindro e calculado o valor médio das 300 leituras (três subdeterminações) para representar a RP da amostra. Os valores obtidos em kgf cm⁻² foram multiplicados pelo fator 0,098 para transformação em MPa.

A microporosidade foi determinada pelo método da mesa de tensão obtida pela diferença de peso entre a amostra submetida à mesa de tensão de 0,6 m de coluna de água e o peso seco, dividido pelo volume do cilindro. Obteve-se a macroporosidade pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade. A Ds foi definida empregando-se a relação peso do solo seco em estufa e volume total da amostra (Embrapa, 1997).

Determinou-se o conteúdo de água retido em cada camada para a condição de solo saturado e após sair da mesa de tensão com uma coluna de água de 60 cm, conforme a metodologia da Embrapa (1997).

Os efeitos dos sistemas de uso e manejo sobre os atributos físicos e químicos nas diferentes profundidades (0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 m), foram verificados a partir da análise de

variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a nível de p < 0,05 de probabilidade, através do software SAS (SAS Institute, 2007).

O modelo estatístico utilizado foi:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + b_j + \varepsilon_{ij} + P_k + S_i P_k + \delta_{ijk}$$

em que:

- Y_{ijk} - valor observado na ik-ésima subparcela no j-ésimo bloco
- μ - média geral do experimento
- S_i - efeito do i-ésimo nível do sistema de cultivo S
- b_j - efeito do j-ésimo bloco
- ε_{ij} - efeito associado à ij-ésima observação ou efeito residual das parcelas
- P_k - efeito do k-ésimo nível de profundidade da coleta P
- S_iP_k - efeito da interação do i-ésimo nível do sistema de cultivo S com o k-ésimo nível das profundidades de coleta P
- δ_{ijk} - efeito associado à ijk-ésima observação ou efeito residual as subparcelas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se diferenças significativas de carbono orgânico (CO) entre o sistema de plantio convencional e os demais sistemas de cultivo e entre a mata nativa (MN) e os demais sistemas estudados na profundidade 0 a 0,05 m apresentando, respectivamente, os menores e maiores teores de CO; nas demais profundidades somente a MN apresentou diferença significativa entre os sistemas estudados (Tabela 2).

Tabela 2. Teor médio, estoque e taxa de estratificação do carbono orgânico do solo, nos sistemas de cultivo e profundidades estudadas

Table 2. Average content, stocks and stratification ratio of soil organic carbon in the studied cropping systems and depths

Profundidades (m)	CS	SPD	SPC	MN	CV geral
Carbono orgânico (g dm ⁻³)					
0,00-0,05	16,9Ba	17,1Ba	12,6Ca	31,5Aa	
0,05-0,10	12,5Bb	12,0Bb	11,6Ba	24,2Aa	12,05
0,10-0,20	13,4Bb	10,8Bb	12,5Ba	23,2Aa	
CV geral				11,57	
Estoque de carbono orgânico (t ha ⁻¹)					
0,00-0,05	9,60Aa	11,10Ab	6,76Bb	10,38Aa	
0,05-0,10	7,65Ab	8,10Ab	6,68Bb	10,43Aa	18,63
0,10-0,20	17,53Bb	14,00Ba	17,46Ba	22,38Ab	
CV geral				14,25	
Taxa de estratificação de carbono orgânico					
	1,28B	1,58A	1,04B	1,41A	14,77

Médias seguidas da mesma letra no tratamento e entre, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). Letra maiúscula compara os tratamentos na mesma profundidade; letra minúscula compara as profundidades no mesmo tratamento. CS: cultivo com seringueira; SPD: sistema plantio direto; SPC: sistema de plantio convencional; MN: mata nativa

Neste estudo os sistemas de cultivo alteraram os valores médios do estoque de carbono orgânico (ECO) (Tabela 2). Observa-se, para todas as profundidades, que o solo sob SPC apresentou redução no ECO em relação ao solo da MN. Esta redução é comum em áreas cultivadas principalmente onde não ocorre preservação da MO, como no SPC (Costa et al., 2008).

Os valores do ECO da MN foram maiores que os dos demais sistemas na camada de 0,10 a 0,20 cm, concordando com os resultados obtidos por Rangel et al. (2007). No presente estudo

os valores relativos de ECO foram inferiores aos encontrados por Costa et al. (2008) o que se deve, provavelmente, às condições mais amenas na região em que esses autores realizaram seus estudos (Estado do Rio Grande do Sul) assim como pelos diferentes tipos de cultura e manejo adotados.

A adoção do SPC em curto espaço de tempo foi suficiente para a redução do ECO (Tabela 2). O preparo do solo por escarificação seguida de gradagens, ocorrida na área sob esse sistema, pode ter afetado as taxas metabólicas dos micro-organismos decompositores e acelerado o processo de decomposição da MO no solo (La Scala Jr. et al., 2006).

Avaliando a taxa de estratificação do carbono orgânico (TECO) verificou-se que o SPC apresentou menores valores demonstrando que os teores de CO do solo estão próximos nas duas profundidades mais superficiais (Tabela 2). Com isto, pode-se afirmar que neste sistema há o menor aporte de CO na camada superficial em relação aos demais sistemas de cultivo.

Dentre os sistemas de cultivo comercial o SPD e o CS apresentaram os maiores valores de TECO no solo, o que sugere a maior conservação da qualidade física do solo, corroborando com os resultados de Mrabet (2002). Mesmo o SPD apresentando os maiores valores de densidade e resistência do solo à penetração, este sistema apresenta vantagem sobre SPC, através de valores de TECO maiores. Embora o manejo do solo realizado no SPC aumente a porosidade do solo no curto prazo, a longo prazo traz consequências negativas à estabilidade estrutural e à acumulação residual do carbono orgânico na superfície do solo, fatores cruciais no controle da infiltração da água e sua subsequente distribuição e manutenção no perfil do solo (Franzluebbers, 2002a).

Os teores de argila dispersa em água (ADA) variaram entre os sistemas de cultivo, sendo o CS o que apresentou os menores valores em todas as profundidades estudadas em comparação com os demais sistemas (Tabela 3); os demais sistemas de cultivo não diferiram entre si.

Tabela 3. Teor de argila dispersa em água (ADA) e porcentagem do grau de floculação (GF) num Latossolo Vermelho Distroférico textura argilosa, em quatro sistemas de cultivo

Table 3. Content of water dispersible clay (AGD) and flocculation degree (GF) in a clayey Oxisol under four cropping systems

Profundidades (m)	CS	SPD	SPC	MN	CV geral
Argila Dispersa em Água					
0-0,05	332Bb	389Ab	400Aa	398Ab	
0,05-0,10	364Ba	418Aa	411Aa	402Ab	1,88
0,010-0,20	338Bb	410Aa	415Aa	416Aa	
CV geral					1,88
Grau de Floculação (%)					
0-0,05	21,6Aa	25,3Aa	22,3Aa	18,1Bc	
0,05-0,10	16,3Bb	21,6Ab	16,5Bb	23,1Ab	8,67
0,010-0,20	19,6Bb	18,3Bb	19,6Bb	28,5Aa	
CV geral					11,19

Letra maiúscula compara tratamentos de uso do solo na mesma profundidade; letra minúscula compara profundidade no mesmo tratamento de uso do solo; médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); CS: sistema com seringueira; SPD: sistema plantio direto; SPC: sistema plantio convencional; MN: sistema com mata nativa

Ressalte-se que o teor de ADA foi menor nas camadas superficiais (0-0,05 m) fato passível de ser explicado pelo conteúdo de MO ser superior nesta profundidade (Tabela 2).

Resultados semelhantes foram encontrados por Araújo et al. (2004a) ao observarem incremento da ADA em profundidade, percebendo-se a existência de uma relação direta entre o aumento da ADA e a diminuição da MO.

No SPC, entretanto, não houve diferenciação no teor de ADA nas diversas profundidades. Referida homogeneidade de valores pode ser explicada pelo revolvimento profundo do solo (0-0,30 m), no qual o preparo do solo nessa profundidade é usual na região para as culturas plantadas nesse sistema de cultivo.

O grau de floculação (GF) diferiu entre os tratamentos e profundidades do solo, sendo que em todos os sistemas de cultivo se observaram maiores valores na profundidade superficial 0-0,05 m, com exceção da MN, que apresentou os maiores valores de GF nas demais profundidades estudadas (Tabela 3).

A Ds foi significativamente menor na MN, quando comparada com os outros sistemas de plantio (Tabela 4). Verificou-se, também, que a Ds no SPD foi significativamente maior nas profundidades de 0-0,10 m, em relação ao CS e ao SPC. Segundo Bertol et al. (2004) e Lemos Filho et al. (2008) o menor valor de Ds observado na área de MN é explicado pela maior quantidade de MO no solo (Tabela 2) e ausência de tráfego de máquinas agrícolas em comparação com os demais sistemas de plantio. Resultados de Ds maior em solos cultivados em comparação a MN também foram encontrados por Araújo et al. (2004b) e Matias et al. (2009).

Tabela 4. Valores médios de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, nos diferentes sistemas de cultivo

Table 4. Mean values of soil bulk density, porosity, macroporosity and microporosity, in different cropping systems

Profundidade (m)	CS	SPD	SPC	MN	CV geral
Densidade do solo (Mg m ⁻³)					
0-0,05	1,14Bb	1,29Ca	1,07Bb	0,66Ac	
0,05-0,10	1,23Ba	1,35Ca	1,14Bb	0,86Ab	9,76
0,10-0,20	1,31Ba	1,29Ba	1,23Ba	0,96Aa	
CV geral				5,59	
Macroporosidade (cm cm ⁻³)					
0-0,05	13,64Ba	15,38Ba	17,97Ba	25,94Aa	
0,05-0,10	12,07Ba	14,79Ba	15,46Ba	19,11Ab	37,62
0,10-0,20	11,01Bb	16,08Ba	16,51Ba	17,40Ab	
CV geral				18,32	
Microporosidade (cm cm ⁻³)					
0-0,05	27,85Aa	31,22Aa	26,70Aa	28,33Aa	
0,05-0,10	25,51Aa	28,69Aa	28,67Aa	30,05Aa	8,68
0,10-0,20	27,99Aa	30,02Aa	28,72Aa	30,05Aa	
CV geral				5,77	
Porosidade total (cm cm ⁻³)					
0-0,05	41,49Ba	46,60Ba	44,67Ba	54,27Aa	
0,05-0,10	37,58Cb	43,48Ba	44,13Ba	49,16Ab	8,90
0,10-0,20	39,00Bb	46,10Ba	45,23Ba	47,45Ab	
CV geral				5,20	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna em cada profundidade e média seguida de mesma letra maiúscula na linha por tratamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); CS: cultivo de seringueira; SPD: sistema de cultivo em plantio direto; SPC: sistema de cultivo em plantio convencional; MN: mata nativa

Para a Ds, observou-se também que a variação foi de 0,66 a 1,35 Mg m⁻³. Argenton et al. (2005) concluíram, estudando o efeito de diferentes preparos e coberturas, que solos com valores de Ds acima de 1,30 Mg m⁻³ dificultam o crescimento do sistema radicular, devendo ser utilizadas práticas de cultivo

para reduzir a Ds, como a introdução de culturas que aportam grande quantidade de resíduos orgânicos. De acordo com esses autores afirma-se que a Ds do solo obtida nos diferentes sistemas de preparo ainda não atingiu o ponto crítico de impedir o crescimento radicular dos vegetais.

Em relação à macroporosidade (MACRO), a MN superou significativamente os demais sistemas de plantio (Tabela 4). A redução da MACRO nos sistemas de plantio em relação a MN está relacionada, provavelmente, ao tipo de manejo, ao aumento da Ds e ao menor teor de MO. Estudando o efeito de diferentes formas de manejo, Oliveira et al. (2004) e Matias et al. (2009) observaram resultados semelhantes. A variação dos valores de MACRO de 11,01 a 25,94 cm cm⁻³, é considerada adequada para culturas de inverno (Silva et al., 2004) sendo que valores inferiores a 10 cm cm⁻³ diminuem as trocas líquidas e gasosas entre o ambiente externo e o solo, acarretando o menor desenvolvimento da planta.

A microporosidade (MICRO) não foi influenciada de forma significativa pelos sistemas de cultivo em relação a MN e em profundidade (Tabela 4). Segundo Silva et al. (2004) e Matias et al. (2009) a MICRO, diferentemente da MACRO, é pouco influenciada pela Ds. Isso demonstra que a degradação do solo ou a diminuição da aeração do solo, está ligada diretamente à menor quantidade de MACRO, concordando com Sousa Neto et al. (2008).

O resultado observado neste estudo em relação à MICRO, não foi verificado para a porosidade total (PT), a qual foi influenciada significativamente pelos sistemas de manejo em relação a MN. Observou-se também que o CS diferiu estatisticamente entre as profundidades quando comparado com os demais tratamentos (Tabela 4). Verifica-se que a PT diminui com o aumento da Ds, padrão similar ao observado por Sousa Neto et al. (2008) e Matias et al. (2009), os quais verificaram que a Ds é um atributo adequado para indicar compactação do solo por constituir um índice que apresenta relação com outros que restringem o crescimento das raízes, como a umidade do solo, resistência à penetração e a porosidade do solo.

A umidade volumétrica do solo (US) aumentou em todas as áreas, até a profundidade 0,05-0,10 m; verificou-se, ainda, que os menores valores de US, 0,24 e 0,26 m³ m⁻³, foram observados, respectivamente, nos CS e MN, na profundidade de 0-0,05 m e o maior valor de US, 0,47 m³ m⁻³, na profundidade de 0,10-0,20 m, para o SPD e SPC (Figura 1).

Os menores valores da US verificados na superfície (0,0-0,05 m) devem estar relacionados com o aumento da MACRO, menor MICRO, cobertura vegetal e maiores teores de MO. Argenton et al. (2005) observaram esse mesmo resultado ao estudar os padrões dos atributos físicos em sistema de preparo e plantas de cobertura. Segundo Rosenzweig & Hillel (2000) essas pequenas modificações no perfil do solo interferem na decomposição da MO, na emissão para a atmosfera de gases como CO₂, metano e no óxido nitroso, os quais interferem no clima global. O menor valor de US observado na MN em comparação com os demais sistemas de cultivo, é devido, sem dúvida, à maior interceptação da precipitação pela vegetação e à menor retenção de água no perfil favorecida pela maior

MACRO, visto que a MN apresentou a menor Ds e maior evapotranspiração (Argenton et al., 2005).

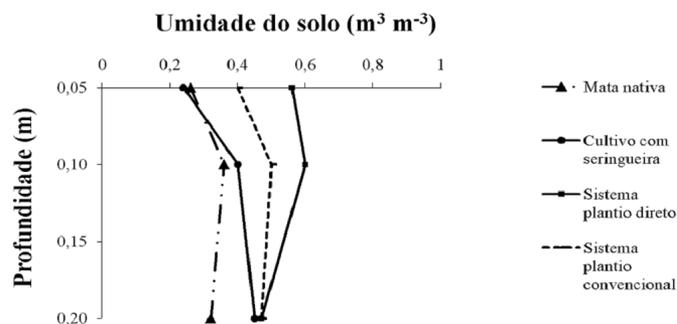


Figura 1. Umidade volumétrica do solo nos sistema plantio direto, sistema convencional, cultivo com seringueira e mata nativa, na profundidade de 0-0,20 m

Figure 1. Volumetric soil moisture under no tillage system, conventional system, rubber cultivation and native vegetation in of 0-0.20 m depth

Através da análise da Figura 2 verifica-se que a resistência do solo à penetração (RP), se comportou da mesma forma que a Ds (Tabela 4) em todos os sistemas de cultivo, com aumento da RP em relação a MN e em profundidade. Matias et al. (2009), observaram este mesmo padrão estudando o efeito de diferentes manejos. Constatou-se no presente estudo, que no SPD a RP foi maior em relação aos demais sistemas de cultivo apresentando decréscimo a partir da profundidade 0,10 m, concordando com os resultados obtidos por Bertol et al. (2004). Em profundidade, a maior RP nos sistemas SPC e SPD, em relação às outras áreas, está relacionada com a maior Ds. Araújo et al. (2004b) observaram essa mesma tendência em Latossolo Vermelho Distrófico, em que o cultivo elevou a RP em relação a MN, principalmente quando a Ds foi maior e a US menor.

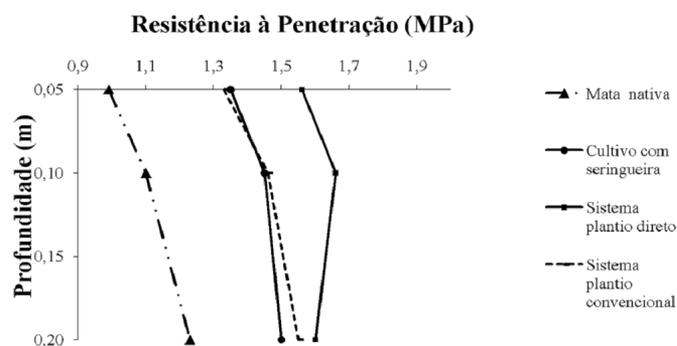


Figura 2. Resistência do solo à penetração nos sistemas de plantio direto, plantio convencional, cultivo com seringueira e mata nativa, na profundidade de 0-0,20 m

Figure 2. Resistance to penetration in no-tillage system, conventional system, rubber cultivation and native vegetation in 0-0.20 m depth

Para todas as áreas a profundidade de 0-0,05 m foi a que apresentou a menor RP e a de 0,10-0,20 m, a maior. Araújo et al. (2004a) verificaram tendência de aumento na RP em profundidade do solo em MN e em sistemas de cultivo. Os valores de RP na profundidade de 0,10-0,20 m são concordantes com os verificados por Oliveira et al. (2007).

CONCLUSÕES

O sistema de plantio direto e o sistema cultivado com seringueira foram os sistemas de cultivo comercial que apresentaram os maiores valores de estoque e de taxa de estratificação de carbono orgânico na camada superficial, indicando serem esses os sistemas que melhor mantêm a qualidade física do solo;

Os sistemas de cultivo estudados mantiveram a densidade do solo em valores que não prejudicam o crescimento radicular;

Na sua maioria, os sistemas de manejo alteram os atributos físicos e químicos no solo, especialmente na camada subsuperficial (0,10-0,20 m).

LITERATURA CITADA

- Andrioli, I.; Centurion, J. F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27., 1999. Brasília. Anais... Campinas: SBCS, 1999. CD Rom.
- Araújo, E. A.; Lani, J. L.; Amaral, E. F.; Gerra, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia ocidental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.2, p.307-315, 2004a. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n2/20213.pdf>>. 10 Mar. 2011. doi:10.1590/S0100-06832004000200009
- Araújo, M. A.; Tormena, C. A.; Silva, A. P. Propriedade físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004b. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n2/20216.pdf>>. 10 Mar. 2011. doi:10.1590/S0100-06832004000200012.
- Argenton, J.; Albuquerque, J. A.; Bayer, C.; Wildner, L. do P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.3, p.425-435, 2005. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v29n3/25743.pdf>>. 05 Mar. 2011. doi:10.1590/S0100-06832005000300013.
- Bengough, A. G.; Campbell, D. J.; O'sullivan, M. F. Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth. In: Smith, K.A.; Mullins, C.E. (Eds.). *Soil environmental analysis: physical methods*. 2.ed. New York: Marcel Decher, 2001. p.377-403.
- Bertol, I.; Albuquerque, J. A.; Leite, D.; Amaral, A. J.; Zoldan Júnior, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas as do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n1/a15v28n1.pdf>>. 17 Fev. 2011. doi:10.1590/S0100-06832004000100015
- Costa, F. S.; Bayer, C.; Zanatta, J. A.; Mielniczuk, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.1, p.323-332, 2008. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n1/30.pdf>>. 17 Fev. 2011. doi:10.1590/S0100-06832008000100030
- Cruz, A. C. R.; Pauletto, E. A.; Flores C. A.; Silva, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um argissolo vermelho sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.6, p.1105-1112, 2003. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n6/19205.pdf>>. 11 Mar. 2011. doi:10.1590/S0100-06832003000600015.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- Fidalski, J.; Tormena, C. A.; Silva, A. P. Qualidade física do solo em pomar de laranja no noroeste do Paraná com manejo da cobertura permanente na entrelinha. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.3, p.423-433, 2007. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n3/a02v31n3.pdf>>. 10 Mar. 2011. doi:10.1590/S0100-06832007000300002
- Franzuebbers, A. J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil Tillage Research*, v.66, n.2, p.197-207, 2002a. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198702000272>>. 05 Mar. 2011. doi:10.1016/S0167-1987(02)00027-2.
- Franzuebbers, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Tillage Research*, v.66, n.2, p.95-106, 2002b. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198702000181>>. 05 Mar. 2011. doi:10.1016/S0167-1987(02)00018-1.
- La Scala Jr., N.; Bolonhezi, D.; Pereira, G.T. Shortterm soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no till sugar cane area in Southern Brazil. *Soil Tillage Research*, v.91, n.1-2, p.244-248, 2006. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016719870500303X>>. 11 Jan. 2011. doi:10.1016/j.still.2005.11.012.
- Lemos Filho, L. C. A.; Oliveira, E. L.; Faria, M. A.; Andrade, L. A. B. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Revista Ciência Agronômica*, v.39, n. 2, p. 193-202, 2008. <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/47>>. 22 Jan. 2011.
- Matias, S. S. R.; Borba, J. A.; Ticelli, M.; Panosso, A. R.; Camara, F. T. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. *Revista Ciência Agronômica*, v. 40, n. 3, p. 331-338, 2009. <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/751>>. 22 Jan. 2011.
- Mrabet, R. Stratification of soil aggregation and organic matter under conservation tillage systems in Africa. *Soil Tillage Research*, v.66, n.2, p.119-128, 2002. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016719870200020X>>. 10 Jan. 2011. doi:10.1016/S0167-1987(02)00020-X
- Oliveira, G. C. Dias Junior, M. S.; Resck, D. V. S.; Curi, N. Caracterização química e físico-hídrica de um latossolo vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2004. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n2/20215.pdf>>. 17 Fev. 2011. doi:10.1590/S0100-06832004000200011.

- Oliveira, G. C.; Severiano, E. C.; Mello, C. R. Dinâmica da resistência a penetração de um Latossolo Vermelho da microrregião de Goiânia, GO. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 3, p. 265-270, 2007. <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n3/a04v11n3.pdf>>. 12 Fev. 2011. doi:10.1590/S1415-43662007000300004.
- Raij, B. van; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A., eds. *Análise química para a avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- Rangel, O. J. P.; Silva, C. A.; Guimarães, P. T. G. Estoque e frações da matéria orgânica de latossolo cultivado com café em diferentes espaçamentos de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.6, p.1341-1353, 2007. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n6/13.pdf>>. 07 Fev. 2011. doi:10.1590/S0100-06832007000600013.
- Rosenzweig, C.; Hillel, D. Soil and global climate change: Challenges and opportunities. *Soil Science*, v.165, n.1, p.47-56, 2000. <http://journals.lww.com/soilsci/Abstract/2000/01000/Soils_and_Global_Climate_Change_Challenges_and.7.aspx>. 13 Jan. 2011.
- SAS Institute. *Statistical Analysis System for Windows: computer program manual*. Cary, 2007.
- Silva, A. P.; Imhoff, S.; Kay, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. *Scientia Agricola*, v.61, n. 4, p.451-456, 2004. <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v61n4/22164.pdf>>. 22 Fev. 2011. doi:10.1590/S0103-90162004000400016
- Sousa Neto, E. L. Andrioli, I.; Beutler, A. N.; Centurion, J. F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, n.2, p.255-260, 2008. <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v43n2/a15v43n2.pdf>>. 12 Mar. 2011. doi:10.1590/S0100-204X2008000200015.
- Tormena, C. A.; Silva, A. P.; Libardi, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo roxo sob Plantio Direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, n. 4, p.573-581, 1998. <<http://sbc.solos.ufv.br/solos/revistas/v22n4a02.pdf>>. 21 Fev. 2011.