

ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM PLANOSSOLO HÁPLICO SOB SISTEMAS DE MANEJO COMPARADOS AOS DO CAMPO NATIVO⁽¹⁾

Cláudia Liane Rodrigues de Lima⁽²⁾, Clenio Naito Pillon⁽³⁾, Luis Eduardo
Akiyoshi Sanches Suzuki⁽⁴⁾ & Lucia Elena Coelho da Cruz⁽⁵⁾

RESUMO

Sistemas de manejo podem influenciar as condições físico-hídricas do solo e a produtividade das culturas. O objetivo deste estudo foi avaliar os atributos físicos de um Planossolo Háplico sob diferentes sistemas de manejo e compará-los com os encontrados no campo nativo. A densidade, a condutividade hidráulica de solo saturado, a porosidade e a agregação foram avaliadas nas camadas de 0,000–0,025; 0,025–0,075; 0,075–0,125; 0,125–0,175; 0,175–0,275 m. O sistema plantio direto e o preparo convencional apresentaram condições físico-hídricas similares, enquanto o solo sob campo nativo proporcionou condições adequadas ao crescimento e desenvolvimento de plantas por apresentar maior condutividade hidráulica, macroporosidade, porosidade total e agregação, e menor densidade do solo. Sugerem-se valores críticos para as plantas, respectivamente de densidade, de condutividade hidráulica saturada, de diâmetro médio ponderado de agregados de 1,56 Mg m⁻³; 16,18 mm h⁻¹ e 2,49 mm.

Termos de indexação: densidade do solo, condutividade hidráulica de solo, porosidade do solo, agregação do solo.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em janeiro de 2008 e aprovado em agosto de 2008.

⁽²⁾ Professora, Departamento de Solos, Universidade Federal de Pelotas – UFPel. Campus Universitário s/n, Caixa Postal 354, CEP 96010-900 Pelotas (RS). E-mail: clrlima@yahoo.com.br

⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Clima Temperado, BR 392, km 78, Caixa Postal 403, CEP 96001-970 Pelotas (RS). E-mail: pillon@cpact.embrapa.br

⁽⁴⁾ Professor, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS. Rua Dr. José Bisognin 242, Bairro São Cristóvão, CEP 99700-000 Erechim (RS). E-mail: du_suzuki@hotmail.com

⁽⁵⁾ Doutoranda, Universidade Federal de Pelotas. E-mail: luciaecruz@yahoo.com.br

SUMMARY: PHYSICAL ATTRIBUTES OF AN ALBAQUALF UNDER MANAGEMENT SYSTEMS IN COMPARISON WITH THOSE UNDER NATIVE GRASSLAND

The soil management may influence soil hydro-physical conditions and crop yield. The objective of this study was to determine soil physical properties of an Albaqualf under management systems and to compare them with those under a native pasture. The bulk density, saturated hydraulic conductivity, macroporosity, microporosity, total porosity and aggregation were evaluated in the soil layers 0–0.025; 0.025–0.075; 0.075–0.125; 0.125–0.175; and 0.175–0.275 m. The hydro-physical soil conditions in no-till and conventional systems were similar. The conditions in the soil under native grassland were more adequate for crop development due to a higher hydraulic conductivity, macroporosity, total porosity and aggregation and lower bulk density. Critical values considered adequate for the crop development of 1.56 Mg m⁻³; 16.18 mm h⁻¹ and 2.49 mm, respectively, for bulk density, saturated hydraulic conductivity and mean weight diameter were suggested.

Index terms: bulk density, hydraulic conductivity, soil porosity, soil aggregation.

INTRODUÇÃO

Propriedades físicas têm sido utilizadas na avaliação da qualidade estrutural de solos. Terras baixas apresentam limitações naturais, que são intensificadas pelo cultivo e pelo tráfego de máquinas agrícolas (Lima et al., 2008; Louzada et al., 2008). Nessas áreas, sistemas de manejo inadequados têm alterado a densidade, a porosidade (Pedrotti et al., 2001; Lima et al., 2006) e a agregação do solo (Lima et al., 2003; Tavares Filho et al., 2005; Reichert et al., 2006).

A agregação é dependente de agentes cimentantes como polissacarídeos (agentes transitórios), raízes e hifas de fungos (agentes temporários) e cátions associados a compostos aromáticos recalcitrantes, adsorvidos a polímeros (agentes persistentes), os quais permanecem de forma diferenciada no solo (Tisdall & Oades, 1982). Os sistemas de manejo, além de influenciar a agregação (Li et al., 2006; Keller et al., 2007), controlam a permanência desses agentes cimentantes. A permanência da cobertura vegetal sobre o solo pode diminuir a energia cinética imposta pelas gotas da chuva, diminuindo os processos de erosão e a perda de nutrientes e de água (Dedecek, 1989). A estabilidade estrutural tem importância no que se refere à umidade e à dinâmica de nutrientes do solo e à produtividade agrícola (Carter, 2002), mas não representa uma propriedade única na avaliação da degradação do solo (Boyx-Faios et al., 2001). A condutividade hidráulica tem sido útil na diferenciação dos efeitos de sistemas de preparo e na movimentação de água no perfil (Assis & Lanças, 2005). Em um Planossolo, Lima et al. (2002) concluíram que o sistema natural apresentou condutividade hidráulica mais de 100 % superior ao sistema de manejo convencional.

Estudos envolvendo solos de terras baixas do Rio Grande do Sul justificam-se pelo crescente interesse na identificação e no desenvolvimento de sistemas de uso e

de manejo que propiciem a manutenção ou o incremento da qualidade física e da produtividade agrícola.

Propriedades físicas críticas ao crescimento e desenvolvimento de plantas têm sido apontadas por Lima et al. (2007). No entanto, ainda não existem valores de propriedades físicas consideradas críticas e limitantes do crescimento de culturas e que já estejam adequadamente validados na avaliação da qualidade de solos de várzea. O objetivo deste estudo foi avaliar atributos físicos de um Planossolo Háplico sob diferentes sistemas de manejo e compará-los com os encontrados no campo nativo, em busca de alternativas que viabilizem melhor aproveitamento e conhecimento das áreas de terras baixas com vistas à manutenção ou ao incremento da qualidade dos solos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Estação Experimental de Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, (31 ° 49 ' Sul; 52 ° 27 ' Oeste, altitude 14 m), em um Planossolo Háplico (Embrapa, 2006) de textura superficial franco (370 g kg⁻¹ de silte, 460 g kg⁻¹ de areia e 170 g kg⁻¹ de argila). O clima da região, de acordo com a classificação climática de Wilhelm Köppen, é do tipo Cfa (C: clima temperado quente, com temperatura média do mês mais frio entre 3 e 18 °C; f: em nenhum mês a precipitação pluvial é inferior a 60 mm; a: temperatura do mês mais quente é superior a 22 °C).

Este estudo insere-se em um conjunto de ações experimentais programadas e implementadas em 2003. Na implantação do experimento, o solo foi revolvido com grade aradora (preparo primário) e grade niveladora (preparo secundário). No primeiro ano, a cultura de arroz irrigado foi utilizada para uniformizar o solo, seguido de pousio invernal.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas divididas (três repetições), composto por cinco sistemas de cultura e dois sistemas de preparo de solo (plantio direto, PD e preparo convencional, PC). Os sistemas de cultura estão dispostos em parcelas (34 x 34 m) e os sistemas de preparo de solo em subparcelas de 17 x 34 m. Os sistemas de cultura contemplam culturas de interesse comercial no verão alternativas para o arroz irrigado, e culturas de cobertura no inverno, sendo três sistemas em sucessão e dois sistemas em rotação no verão. O manejo de adubação adotado esteve sempre baseado na recomendação de adubação de manutenção para as culturas de verão, utilizando-se fontes minerais de uréia, superfosfato triplo e KCl, e de cobertura com N, somente para o milho e o sorgo. No sistema PC, o manejo do solo foi realizado com grade aradora seguida de grade niveladora. A semeadura das culturas de verão foi realizada com auxílio de máquina semeadora em linha, e as culturas de cobertura de inverno semeadas a lanço nos dois sistemas de preparo (PD e PC).

Para o estudo de propriedades físicas, foram escolhidos dois sistemas de preparo do solo (PD e PC) e o sistema de cultura que contempla azevém (*Lolium multiflorum* Lam) + cornichão (*Lotus corniculatus*), como culturas de cobertura no inverno e rotação soja (*Glycine Max* L.)/milho (*Zea mays* L.)/sorgo (*Sorghum vulgare*) no verão. Em junho/2006, após cinco cultivos, com uma adição total de 13,7 e 20,92 Mg ha⁻¹ de matéria seca para os sistemas PD e PC consecutivamente, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada e não-preserveda. Amostras indeformadas de solo foram retiradas utilizando-se cilindros metálicos de duas dimensões (0,05 e 0,05 m; e 0,05 e 0,025 m, de diâmetro e altura, respectivamente). A amostragem foi efetuada em cinco camadas de solo (0,000–0,025; 0,025–0,075; 0,075–0,125; 0,125–0,175; 0,175–0,275 m). Como referência, amostrou-se uma área sob campo nativo (CN), adjacente ao experimento, cujo tipo de solo, relevo e demais características são consideradas representativas da condição original da área experimental, anterior a seu uso agrícola.

Em laboratório, foram determinadas a densidade (D_s) (Blake & Hartge, 1986), a macroporosidade (M_A), a microporosidade (M_I) e a porosidade total (P_T) do solo (Embrapa, 1997). A condutividade hidráulica de solo saturado (K_{θs}) foi quantificada com o auxílio de um permeâmetro de carga constante (Libardi, 2005) em triplicata de laboratório.

A distribuição de agregados estáveis em água, em diferentes classes de tamanho (AEA, %), e o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPA, mm) foi feita conforme o método descrito em Kemper & Rosenau (1986) e Palmeira et al. (1999), que utiliza o aparelho de oscilação vertical Yoder (1936). O cálculo de agregados estáveis em água nas diferentes classes de tamanho (4,76; 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e menor que 0,25 mm) e do diâmetro médio ponderado foi realizado utilizando, respectivamente, as equações 1 e 2:

$$AEA = \left[\frac{MAEAi - mi}{\sum_{i=1}^n (MAEAi - mi)} \right] \times 100 \quad (1)$$

$$DMPA = \left[\frac{\sum_{i=1}^n DMI \times (MAEAi - mi)}{\sum_{i=1}^n (MAEAi - mi)} \right] \quad (2)$$

sendo: MAEAi = massa de agregados (g) + material inerte na classe i (g); mi = massa de material inerte na classe i (g); DMI = diâmetro médio da classe i (mm). Para separação de macro e de microagregados, adotou-se o critério de Tisdall & Oades (1982), que consideram o diâmetro de 0,25 mm como limite entre as classes.

Para avaliar os resultados obtidos, foram efetuados a análise de variância, o teste de comparação de médias, que considera a diferença mínima significativa, e a regressão linear simples a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve significativa interação entre sistemas de manejo e camadas para a densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo (Quadro 1). Efeito significativo do manejo e da profundidade sobre a densidade e a porosidade do solo também foi indicado por Yavuzcan (2000).

O CN, com exceção da camada de 0,025 a 0,075 m, apresentou o menor valor de Ds. Valores similares de Ds foram obtidos no sistema PD e no PC em todas as camadas de solo, com exceção de 0,125 a 0,175 m (Quadro 1). O incremento de Ds na camada de 0,125 a 0,175 m no sistema PD corrobora com conclusões de Pedrotti et al. (2001) sobre um Planossolo. Este fato deve-se ao acúmulo das pressões exercidas no trânsito de máquinas e à não-mobilização do solo com grade aradora e niveladora, efetuados anualmente antes da implantação das culturas de verão.

A M_A foi maior no CN em todas as camadas de solo, apresentando similaridade ao PD somente na camada de 0,025 a 0,075 m (Quadro 1). Possivelmente, os efeitos positivos do mínimo revolvimento de solo sobre a porosidade no sistema PD são significativos em anos subseqüentes à condução do experimento. Em comparação a outros sistemas de manejo, Lima et al. (2006) apresentaram maiores valores de porosidade total até a profundidade de 0,20 m em um Planossolo sob PD.

O sistema PD e o PC apresentaram resultados similares de P_T nas camadas de 0,025 a 0,075; 0,075 a 0,125; 0,175 a 0,275 m (Quadro 1). Os valores médios de K_{θs} foram influenciados pelos sistemas de manejo (p < 0,0001), não havendo diferença entre as camadas avaliadas (p < 0,5358). Resultados similares de K_{θs} foram observados nos sistemas de PD e PC, apresentando-se superiores no CN (Quadro 1). A

Quadro 1. Densidade (D_s), macro (M_A) e microporosidade (M_I), porosidade total (P_T) e condutividade hidráulica ($K\theta_s$) de um Planossolo Háplico sob sistemas de manejo

Camada	Sistema de manejo ⁽¹⁾			Média
	PD	PC	CN	
m				
0,000 -0,025	1,62 aB	1,61 aBC	1,29 bB	1,51
0,025 -0,075	1,55 aB	1,56 aC	1,48 aA	1,53
0,075 -0,125	1,66 aB	1,70 aAB	1,57 bA	1,64
0,125 -0,175	1,81 aA	1,69 bAB	1,54 cA	1,68
0,175 -0,275	1,82 aA	1,77 aA	1,48 bA	1,69
Média	1,69	1,67	1,47	
0,000 -0,025	0,16 bA	0,10 cA	0,24 aA	0,17
0,025 -0,075	0,08 abB	0,05 bB	0,10 aB	0,07
0,075 -0,125	0,06 bBC	0,04 bB	0,10 aB	0,07
0,125 -0,175	0,03 bC	0,04 bB	0,11 aB	0,06
0,175 -0,275	0,02 bC	0,03 bB	0,12 aB	0,06
Média	0,07	0,05	0,13	
0,000 -0,025	0,33 bA	0,32 bA	0,44 aA	0,36
0,025 -0,075	0,29 bB	0,32 aAB	0,33 aB	0,31
0,075 -0,125	0,29 aB	0,30 aBC	0,29 aC	0,29
0,125 -0,175	0,28 bB	0,31 aABC	0,29 abC	0,29
0,175 -0,275	0,29 aB	0,30 aC	0,29 aC	0,29
Média	0,30	0,31	0,33	
0,000 -0,025	0,49 bA	0,42 cA	0,67 aA	0,53
0,025 -0,075	0,37 bB	0,37 bB	0,42 aB	0,39
0,075 -0,125	0,35 bBC	0,34 bC	0,39 aB	0,36
0,125 -0,175	0,32 cC	0,35 bBC	0,41 aB	0,36
0,175 -0,275	0,32 bC	0,33 bC	0,41 aB	0,35
Média	0,37	0,36	0,46	
0,000 -0,025	2,33	2,56	24,34	9,74 A
0,025 -0,075	3,98	4,59	21,44	10,01 A
0,075 -0,125	6,86	0,69	7,27	4,94 A
0,125 -0,175	2,33	1,55	18,28	7,39 A
0,175 -0,275	0,93	0,00	20,68	7,20 A
Média	3,29 b	1,88 b	18,40 a	

⁽¹⁾ PD: plantio direto, PC: preparo convencional, CN: campo nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste que considera a diferença mínima significativa a $p < 0,05$.

maior quantidade de raízes e de matéria orgânica, e a menor compactação do solo (menor densidade, maior macroporosidade e porosidade total) favoreceram aumento de $K\theta_s$ no CN.

Em comparação aos sistemas PD e PC, o maior DMPA foi observado no CN (Quadro 2). Valores maiores desta propriedade apresentaram-se principalmente nas camadas de 0,075 a 0,125 e de 0,125 a 0,175 m. O maior DMPA no CN refletiu sobre a maior e a menor quantidade de macroagregados e de microagregados do solo, respectivamente (Quadro 2). A macroagregação dos sistemas seguiu, respectivamente, a tendência: CN > PD > PC. Em comparação ao PD e ao CN, o PC causa a quebra de agregados de maior tamanho pelo intensivo revolvimento do solo (Tisdall & Oades, 1982; Jiao et al., 2006).

Até a profundidade de 0,175 m, observou-se uma percentagem similar de agregados retidos nas peneiras com diâmetro de 8,00 a 4,76; 4,76 a 2,00; 2,00 a 1,00 e < 0,25 mm (Figura 1a,b,c,d). A menor concentração de agregados em classes de menor tamanho e, por sua vez maior quantidade de agregados de maior tamanho no CN devem-se, possivelmente, à maior quantidade de matéria orgânica e de raízes, as quais

contribuem na agregação pela aproximação das partículas do solo (Carter, 2002; Six et al., 2002). Watts et al. (1997) indicam que as pastagens normalmente incrementam o teor de matéria orgânica e a estabilidade de agregados do solo.

A partir da quantificação das propriedades físicas do solo, foram estabelecidas equações lineares de regressão. Verificou-se pelo coeficiente de determinação (R^2) que a variação da M_A , da $K\theta_s$ e do DMPA foram dependentes da D_s em, respectivamente, 63, 37 e 20 %. A M_A , a $K\theta_s$ e o DMPA estiveram inversamente associados à D_s , indicado pelos valores negativos dos coeficientes angulares de ajuste dos modelos (Figura 2, Quadro 3). Esses resultados sugerem uma estimativa adequada de valores críticos de propriedades físico-hídricas no crescimento e desenvolvimento das plantas a partir de valores de aeração e densidade do solo.

Considerando-se que a M_A foi sensivelmente influenciada pela D_s ($F = 150,52$; $CV = 43,62$ %) e uma M_A de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, valor sugerido por Grable & Siemer (1968) como crítico ao crescimento radicular, em função da limitada difusão de O_2 no solo para as plantas, estimou-se uma densidade crítica de aproximadamente $1,56 \text{ Mg m}^{-3}$ para a camada de

Quadro 2. Diâmetro médio ponderado de agregados (DMPA), macro e microagregados de um Planossolo Háplico sob sistemas de manejo

Camada	Sistema de manejo ⁽¹⁾			Média
	PD	PC	CN	
m	DMPA, mm			
0,000 – 0,025	1,08	0,86	3,08	1,67 B
0,025 – 0,075	1,25	0,97	2,81	1,68 B
0,075 – 0,125	1,65	3,22	2,93	2,60 A
0,125 – 0,175	1,46	1,01	3,74	2,07 AB
0,175 – 0,275	0,83	0,45	2,64	1,31 B
Média	1,25 b	1,30 b	3,04 a	
	Macroagregados, %			
0,000 – 0,025	39,58	36,37	77,25	51,07 B
0,025 – 0,075	44,09	42,02	75,37	53,83 B
0,075 – 0,125	53,09	52,25	77,28	60,87 A
0,125 – 0,175	53,79	51,60	82,13	62,51 A
0,175 – 0,275	48,66	36,94	70,77	52,12 B
Média	47,84 b	43,84 c	76,56 a	
	Microagregados, %			
0,000 – 0,025	60,42	63,63	22,75	48,93 A
0,025 – 0,075	55,90	57,98	24,63	46,17 A
0,075 – 0,125	46,91	47,75	22,72	39,13 B
0,125 – 0,175	46,21	48,40	17,87	37,49 B
0,175 – 0,275	51,34	63,06	29,23	47,88 A
Média	52,16 b	56,16 a	23,44 c	

⁽¹⁾ PD: plantio direto, PC: preparo convencional, CN: campo nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste que considera a diferença mínima significativa a $p < 0,05$.

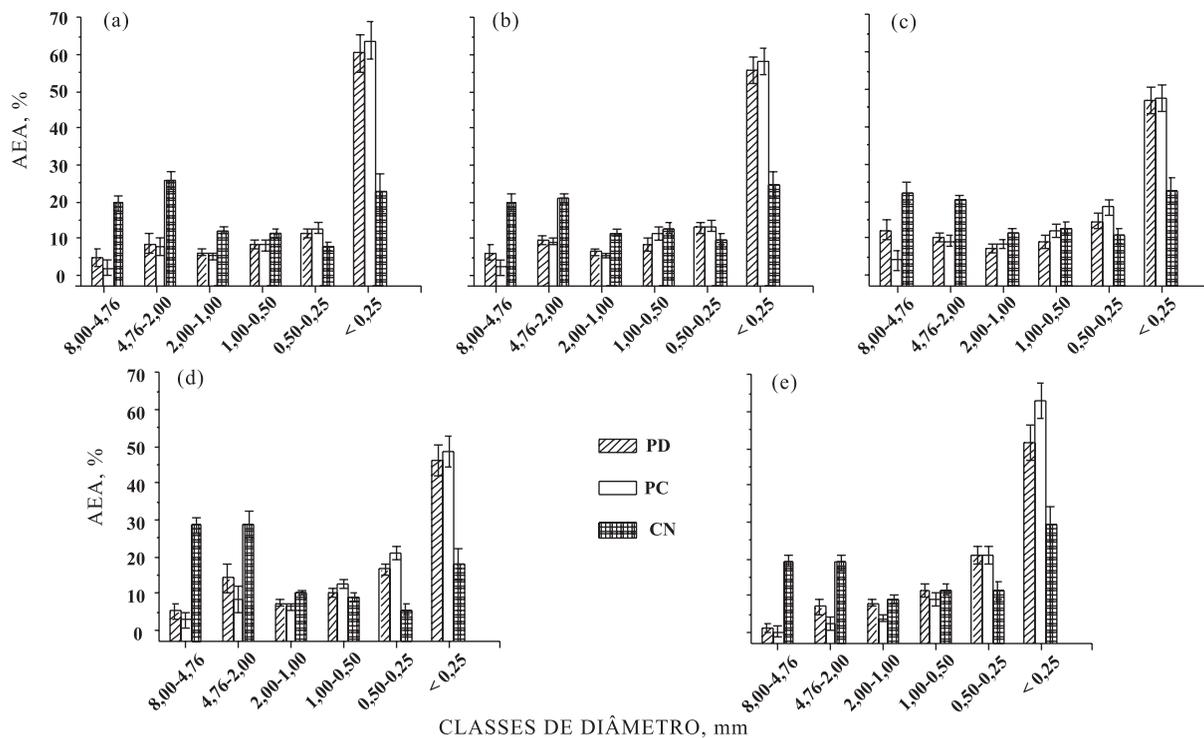


Figura 1. Agregados do solo estáveis em água (AEA) nas diferentes classes de diâmetro, nas camadas: (a) 0,000–0,025; (b) 0,025 a 0,075; (c) 0,075–0,125; (d) 0,125 a 0,175 e (e) 0,175 a 0,275 m de um Planossolo Háplico sob sistemas de manejo. PD: plantio direto, PC: preparo convencional, CN: campo nativo. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa a 5 % em cada classe de agregados entre os sistemas de manejo do solo.

0,000 a 0,275 m (Figura 2). Valores restritivos para diferentes tipos de solos e teores de argila têm sido

apresentados por Lima et al. (2007) e Suzuki et al. (2006). Silva et al. (2006) concluíram que a densidade

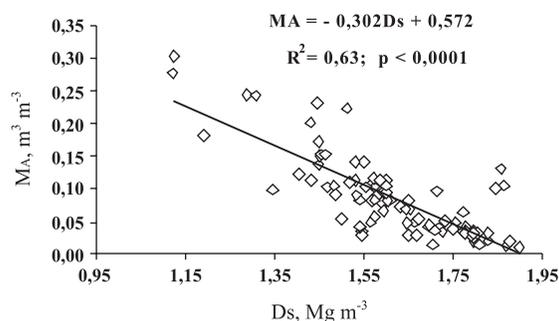


Figura 2. Relação obtida entre macroporosidade (M_A) e densidade (D_s) de um Planossolo Háplico.

Quadro 3. Parâmetros dos modelos: (i) $D_s = a + b \times K\theta_s$ ($p < 0,0001$; $F = 52,40$; $CV = 8,08$ %; $R^2 = 0,37$) e (ii) $D_s = a + b \times DMPA$ ($p < 0,0001$; $F = 22,89$; $CV = 9,12$ %; $R^2 = 0,20$) de um Planossolo Háplico

Parâmetro	Valor estimado	Erro -padrão	Valor t	Pr > t
i				
a	1,6690	0,01592	104,85	< 0,0001
b	- 0,00677	0,0009	- 7,24	< 0,0001
ii				
a	1,7272	0,0289	59,61	< 0,0001
b	- 0,0683	0,0142	- 4,78	< 0,0001

de $1,50 \text{ Mg m}^{-3}$ comprometia o crescimento da parte aérea de soja, do algodão e do milho em um Latossolo.

A partir da $D_s = 1,56 \text{ Mg m}^{-3}$ e dos modelos de regressão (Quadro 3), quantificaram-se os valores de $K\theta_s$ e de DMPA considerados críticos ao crescimento radicular, obtendo-se $16,18 \text{ mm h}^{-1}$ para a $K\theta_s$ e $2,49 \text{ mm}$ para o DMPA. Suzuki et al. (2007), considerando uma porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ em um Argissolo, encontraram um valor crítico de $K\theta_s$ no crescimento de culturas semelhante ($17,38 \text{ mm h}^{-1}$) ao obtido neste estudo.

De forma geral, considerando-se os valores médios e críticos das propriedades físicas (Quadros 1, 2 e 3 e Figura 2), somente o solo sob CN apresenta condições mais adequadas ao crescimento de plantas. O estabelecimento de relações simples e quantitativas a partir da D_s apresenta vantagem por ser um processo rápido, de fácil mensuração e de baixo custo de avaliação. No entanto, estudos adicionais devem ser implementados em solos de terras baixas para melhor entendimento e validação dos valores críticos de propriedades físicas quanto ao suprimento adequado de O_2 para organismos animais e vegetais. O monitoramento da qualidade estrutural em ambiente de terras baixas constitui etapa importante na definição e nos ajustes de práticas conservacionistas de manejo que garantam a manutenção e a melhoria da qualidade do solo.

CONCLUSÕES

O sistema plantio direto e o preparo convencional apresentaram condições físico-hídricas similares, enquanto o solo, sob campo nativo, proporcionou condições mais adequadas ao crescimento de plantas por apresentar maior condutividade hidráulica, macroporosidade, porosidade total e agregação e menor densidade do solo. Os valores críticos ao crescimento de plantas, respectivamente de densidade, de condutividade hidráulica saturada, e de diâmetro médio ponderado de agregados foram $1,56 \text{ Mg m}^{-3}$; $16,18 \text{ mm h}^{-1}$ e $2,49 \text{ mm}$.

LITERATURA CITADA

- ASSIS, R.L. & LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. R. Bras. Ci. Solo, 29:512-522, 2005.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p.363-375.
- BOYX-FAYOS, C.; CALVO-CASES, A.; IMENSON, A.C. & SORIANO-SOTO, M.D. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. Catena, 44:47-67, 2001.
- CARTER, M.R. Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. Agron. J., 94:38-47, 2002.
- DEDECEK, R.A. Coberturas permanentes do solo na erosão sob condições de cerrado. Pesq. Agropec. Bras., 24:483-488, 1989.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- GRABLE, A.R. & SIEMER, E.G. Effects of bulk density aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. Soil Sci. Soc. Am. J., 32:18-186, 1968.
- JIAO, Y.; WHALEN, J.K. & HENDERSHOT, W.H. No tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. Geoderma, 134:24-33, 2006.
- KELLER, T.; ARVIDSSON, J. & DEXTER, A.R. Soil structures produced by tillage as affected by soil water content and the physical quality of soil. Soil Till. Res., 92:45-52, 2007.

- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p.425-441.
- LI, X.G.; LI, F.M.; RENGEL, Z.; SINGH, B. & WANG, Z.F. Cultivation effects on temporal changes of organic carbon and aggregate stability in desert soils of Hexi Corridor region in China. *Soil Till. Res.*, 91:22-29, 2006.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. São Paulo, Universidade de São Paulo, 2005. 335p.
- LIMA, A.C.R.; HOOGMOED, W. & BRUSSARD, L. Soil quality assessment in rice production systems: Establishing a minimum data set. *J. Environ. Qual.*, 37:623-630, 2008.
- LIMA, C.L.R.; PAULETTO, E.; GOMES, A.S.; HARTWIG, M.P. & PASSIANOTO, C.C. Compactação de um Planossolo em função de sistemas de manejo. *R. Bras. Agroci.*, 12:179-182, 2006.
- LIMA, C.L.R.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S. & SILVA, J.B. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:199-205, 2003.
- LIMA, A.C.R.; PAULETTO, E.A.; LIBARDI, P.L.; SILVA, A.G. & PINTO, L.F.S. Hydraulic characterization of a lowland soil under long-term management systems. *Adv. Geocol.*, 35:247-257, 2002.
- LIMA, C.L.R.; REINERT, D.; REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S. & HILBIG, V.S. Densidade crítica ao crescimento de plantas considerando água disponível e resistência à penetração de um Argissolo Vermelho distrófico arênico. *Ci. Rural*, 37:1166-1169, 2007.
- LOUZADA, J.A.; CAICEDO, N. & HELFER, F. Condições de drenagem relacionadas ao trânsito de máquinas em solo de várzea (RS-Brasil). *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.*, 12:98-106, 2008.
- 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.
- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; TURATTI, A.L. & CRESTANA, S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36:709-715, 2001.
- REICHERT, J.M.; LIMA, C.L.R.; DALMOLIN, R.S.D.; REINERT, D.J.; GONÇALVES, C. & NUNES, M. Agregação de um Planossolo sistematizado há um ano e sob cultivo de arroz irrigado. *Ci. Rural*, 36:837-844, 2006.
- SILVA, G.J.; MAIA, J.C.S. & BIANCHINI, A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:31-40, 2006.
- SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.M.; SA M.J.C. & ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota, and aggregation in temperate and tropical soils - Effect of no tillage. *Agronomie*, 22:755-775, 2002.
- SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D. & LIMA, C.L.R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:1159-1167, 2007.
- SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.; REICHERT, J.M. & LIMA, C.L.R. Densidade restritiva ao crescimento radicular em função da argila. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, NOVOS DESAFIOS DO CARBONO DO MANEJO CONSERVACIONISTA, 16., Aracaju, 2006. Anais. Aracaju, 2006. CD-ROM.
- TAVARES FILHO, J.; GRIMALDI, M. & TESSIER, D. Compressibilidade de agregados de um Latossolo Amarelo da Amazônia em resposta ao potencial da água do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:489-495, 2005.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 33:141-163, 1982.
- YAVUZCAN, H.G. Wheel traffic impact on soil condition as influenced by tillage in Central Anatolia. *Soil Till. Res.*, 54:129-138, 2000.
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.*, 28:337-351, 1936.
- WATTS, C.W. & DEXTER, A.R. The influence of organic matter in reducing the destabilization of soil by simulated tillage. *Soil Till. Res.*, 42:253-275, 1997.