

ATRIBUTOS FÍSICOS E PRODUTIVIDADE DE CULTURAS EM UM LATOSSOLO VERMELHO ARGILOSO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO⁽¹⁾

Deonir Secco⁽²⁾, Clovis Orlando Da Ros⁽³⁾, Jana Koefender Secco⁽⁴⁾ & Jackson Ernani Fiorin⁽⁵⁾

RESUMO

Este trabalho foi realizado de 1994 a 1998 em área experimental da Universidade de Cruz Alta – UNICRUZ, com o objetivo de avaliar a densidade do solo, o espaço poroso (porosidade total, macro e microporosidade) e a produtividade das culturas da soja, trigo e milho em um Latossolo Vermelho distrófico típico sob cinco sistemas de manejo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os sistemas de manejo do solo utilizados foram: (a) plantio direto contínuo (PDC); (b) plantio direto com escarificação a cada três anos (PDSD); (c) plantio direto no verão com escarificação no outono/inverno (PDV); (d) preparo conservacionista: escarificador mais grade niveladora (PCEG), e (e) plantio convencional: arado de discos mais grade niveladora (PCAG). As amostras de solo foram coletadas em dois pontos por parcela nas profundidades de 0,0–0,07; 0,07–0,14 e 0,14–0,21 m. A densidade do solo, nas três profundidades avaliadas, apresentou valores superiores nos tratamentos com menor mobilização do solo (PDC e PDSD), enquanto a porosidade total e a macroporosidade apresentaram comportamento inverso. À exceção do PDV, os valores de densidade, porosidade total e volume de macroporos nos demais sistemas de manejo do solo, nos três anos consecutivos e nas três profundidades avaliadas, permaneceram praticamente constantes, não indicando tendência de adensamento no tempo. As produtividades das culturas da soja e milho não diferiram significativamente entre os sistemas de manejo utilizados, demonstrando que diferenças no estado estrutural do solo

⁽¹⁾ Recebido para publicação em junho de 2003 e aprovado em março de 2005.

⁽²⁾ Professor Assistente do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. CEP 85819-110 Cascavel (PR). E-mail: deonir@unioeste.br

⁽³⁾ Professor do Curso de Agronomia, Universidade de Cruz das Almas – UNICRUZ. CEP 98015-130 Cruz Alta (RS). E-mail: daros@unicruz.edu.br

⁽⁴⁾ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. CEP 98010-470 Cruz Alta (RS). E-mail: janask@bol.com.br

⁽⁵⁾ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFSM. E-mail: jfiorin@fundacep.comnet.com.br

não comprometeram a produtividade dessas culturas. A cultura do trigo mostrou-se sensível ao estado estrutural do solo, com os sistemas de manejo do solo com maior mobilização (PCAG) proporcionando condições mais adequadas a esta cultura. Os resultados encontrados indicaram que a mobilização do solo todo ano ou a cada três anos nas áreas cultivadas sob sistema plantio direto não alterou significativamente a produção das culturas e os atributos físicos avaliados.

Termos de indexação: porosidade, densidade do solo, plantio direto, produtividade soja, trigo e milho.

SUMMARY: CROP YIELD AND PHYSICAL ATTRIBUTES OF A CLAYEY OXISOL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS

This study was carried out from 1994 to 1998 in the Agronomy experimental area at the University of Cruz Alta – UNICRUZ, Cruz Alta, State of Rio Grande do Sul, Brazil to evaluate the influence of five soil management systems on bulk density, porous space (total porosity, macro and microporosity) of an clayey Rhodic Hapludox, as well as their effect on soybean, wheat and corn yield. The experiment had a completely randomized block design with four replications. The following management systems were used: (1) continuous no-tillage-PDC; (2) no-tillage with chiseling every three years-PDSD; (3) summer no-tillage with autumn/winter chiseling -PDV; (4) reduced tillage systems: chiseling plus harrow disking-PCEG; and, (5) conventional tillage: disk plowing plus harrow disking-PCAG. Two samples were collected in each experimental unit at depths of 0.0-0.07, 0.07-0.14 and 0.14-0.21 m. In the three studied depths the soil bulk density was higher for the treatments with less soil mobilization (PDC and PDSD), while the total porosity and macroporosity showed an opposite behavior. With exception of PDV, the bulk density values, total porosity and macroporosity were practically constant in the other management systems during the three consecutive years at the three studied depths, indicating no soil compaction tendency over time. The yield of soybean and corn did not differ significantly among the management systems, demonstrating that for these crops the soil structure did not affect the yield. Wheat was sensitive to the structural state of the soil since the management systems with most soil mobilization (PCGA) provided more appropriate conditions. The results evidenced no need to mobilize the soil each year or every three years in the areas operated under no tillage systems.

Index terms: porosity, bulk density, no-tillage, soybean, wheat, corn.

INTRODUÇÃO

Os Latossolos pertencem a uma classe de solos de suma importância, tendo em vista o seu potencial de produção e a extensão de área que ocupam no planalto riograndense. Estabelecer sistemas de manejo conservacionistas que objetivam a sustentabilidade desses solos é de grande interesse para a região. Nesse sentido, o sistema plantio direto, quando conduzido adequadamente, pode possibilitar a recuperação e a preservação da estrutura do solo.

No sistema plantio direto, o solo é submetido a menor tráfego, porém, não é revolvido, tendendo ao adensamento superficial do solo. O adensamento tem sido verificado pelo aumento da densidade do solo e da microporosidade, da diminuição da porosidade

total e, principalmente, da macroporosidade (Sidi-ras et al., 1984), sendo estas variações mais frequentes em solos de textura argilosa (Raghavan et al., 1977). Em trabalho mais recente, Stone & Silveira (2001) também afirmaram que o sistema plantio direto proporcionava maiores valores de densidade e microporosidade, e, em consequência, menor porosidade total e macroporosidade. Os mesmos autores afirmam que a densidade do solo influenciou em diversos atributos do solo que regulam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, a saber: a aeração, a condutividade de água, o calor, a disponibilidade de nutrientes e a resistência à penetração do solo. Fernandez et al. (1995) verificaram completa inibição do crescimento radicular da soja, em Latossolo Vermelho-Escuro textura média, quando a densidade do solo apresentou valor a partir de 1,52 Mg m⁻³. Por outro lado, Tavares Filho et al.

(2001) concluíram que o plantio direto apresentou melhores condições de continuidade estrutural para o desenvolvimento radicular do milho, quando comparado com o sistema convencional.

Com relação à porosidade de aeração do solo, ela se torna limitante para o desenvolvimento da maioria das plantas quando for menor que 10–15 % (Stolzy, 1974), podendo variar com a espécie vegetal (Taylor, 1974). Independentemente da espécie vegetal, a maximização da produção é alcançada quando há disponibilidade adequada de água, nutrientes e oxigênio, que é, direta ou indiretamente, influenciada pela estrutura do solo.

Alguns atributos físicos do solo, como densidade e espaço poroso, podem ser utilizados como indicadores da qualidade do solo de acordo com o manejo a que o solo está sendo submetido. Uma contínua avaliação, no tempo, destes atributos físicos do solo permite monitorar a eficiência ou não destes sistemas de manejo do solo quando se objetiva estabilidade estrutural.

O objetivo deste estudo foi verificar a influência de cinco sistemas de manejo, ao longo de três anos consecutivos, nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico e na produtividade das culturas da soja, trigo e milho.

sistemas de rotação de culturas utilizados na área experimental, no inverno e no verão estão indicados no quadro 1. A área apresenta uma declividade média inferior a 2 %. Alguns atributos físicos do solo, para caracterizar a área experimental, encontram-se no quadro 2.

O clima, segundo a classificação de Köppen, é subtropical, tipo cfa 2a, com chuvas distribuídas uniformemente durante o ano, num total de 1.727 mm. O mês mais quente do ano é janeiro, com a máxima de 30 °C, e, em julho, ocorre o maior frio, com a mínima normal de 8,6 °C. No quadro 3, encontra-se a distribuição das precipitações pluviométricas ocorridas durante os anos de 1994 a 1998 no município de Cruz Alta (RS).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Cada unidade experimental mediu 10 x 30 m. Os tratamentos que caracterizaram os sistemas de manejo do solo foram: (a) plantio direto contínuo (PDC); (b) plantio direto com escarificação a cada três anos (PDS); (c) plantio direto no verão com escarificação no outono/inverno (PDV); (d) preparo conservacionista: escarificador mais grade niveladora (PCEG), e (e) plantio convencional: arado de disco mais grade niveladora (PCAG). Iniciou-se o experimento em 1994,

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado por três anos em área experimental da Universidade de Cruz Alta – UNICRUZ, no município de Cruz Alta (RS), em convênio com Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa Fecotrigio (FUNDACEP FECOTRIGO). O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico textura argilosa (Embrapa, 1999). Antes da instalação do experimento, a área vinha sendo cultivada há dois anos sob o sistema plantio direto com as culturas da soja e do feijoeiro no verão e aveia no inverno. O histórico de cultivo e os

Quadro 1. Histórico de cultivos e sistemas de rotação de culturas utilizados na área experimental

Ano	Inverno	Verão
1992	Aveia	Soja
1993	Aveia	Feijão
1994	Aveia	Soja
1995	Aveia	Milho
1996	Trigo	Soja
1997	Aveia	Milho ⁽¹⁾ / nabo

⁽¹⁾ Foi realizada a sementeira do milho no sistema plantio direto em todos os tratamentos.

Quadro 2. Atributos físicos do solo da área experimental antes da instalação do experimento

Atributo físico	Profundidade (m)			
	0,0–0,07	0,07–0,14	0,14–0,21	0,0–0,20
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	1,13	1,28	1,30	*
Porosidade total (dm ³ dm ⁻³)	0,57	0,51	0,50	*
Macroporosidade (dm ³ dm ⁻³)	0,28	0,20	0,18	*
Microporosidade (dm ³ dm ⁻³)	0,29	0,31	0,32	*
Argila (g kg ⁻¹)	*	*	*	477
Areia total (g kg ⁻¹)	*	*	*	350
Silte (g kg ⁻¹)	*	*	*	173
Densidade de partícula (Mg m ⁻³)	*	*	*	2,62

* Não determinado.

ocorrendo o monitoramento dos atributos físicos do solo após a colheita da cultura de verão nos anos 1995, 1996 e 1997. O tratamento PDSO sofreu escarificação somente no segundo ano (abril 1995). Os tratamentos PDSO e PDV não sofreram gradagem niveladora após a escarificação. Na escarificação, utilizou-se escarificador modelo jumbo que continha cinco hastes espaçadas em 0,25 m e foi regulado para mobilizar o solo até à profundidade de 0,20 m. A semeadora-adubadora utilizada era equipada com sulcador tipo duplos discos defasados, para deposição de sementes, e sulcador tipo facão, para deposição do adubo nas culturas de verão; nas culturas de inverno, a semeadora era equipada somente com sulcador tipo duplo disco defasado, ocorrendo a deposição do adubo e da semente em conjunto.

Nos três anos de estudo (1995, 1996 e 1997), foram avaliados a densidade e o espaço poroso do solo nos diferentes sistemas de manejo do solo. A densidade do solo foi avaliada retirando-se duas subamostras por parcela por meio de anéis volumétricos de 0,03 m de altura e 0,085 m de diâmetro, nas profundidades de 0,0–0,07; 0,07–0,14 e 0,14–0,21 m. A densidade de partícula foi determinada pelo método do balão volumétrico com álcool. O espaço poroso do solo (porosidade total, macro e microporosidade) foi determinado nas mesmas profundidades. Para a microporosidade foram coletadas amostras indeformadas de solo (torrões) e, no laboratório, estas amostras foram parafinadas e saturadas com água, sendo considerada, como microporosidade, o conteúdo volumétrico de água equilibrada na mesa de tensão a 60 cm de coluna de água. A porosidade total foi calculada por meio da equação: $PT = 1 - Ds/Dp$, em que PT = Porosidade total, em $dm^3 dm^{-3}$; Ds = Densidade do solo, em $Mg m^{-3}$; Dp = Densidade de partícula, em $Mg m^{-3}$, e a macroporosidade foi calculada por diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

O rendimento de grãos das culturas foi avaliado tomando-se aleatoriamente duas subamostras por parcela, de quatro fileiras com cinco metros de comprimento para todas as culturas. A análise estatística dos resultados foi realizada por meio da análise da variância, por profundidade para os

atributos físicos, e as médias de tratamentos comparadas pelo teste de Duncan a 5 % de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo, nas três profundidades e nos três anos analisados, apresentou, de maneira geral, valores superiores nos tratamentos que sofreram menor mobilização do solo (PDC e PDSO), exceto nas profundidades de 0,0–0,07 e de 0,07–0,14 m, no ano de 1996, quando não houve diferença estatística significativa entre os sistemas de manejo do solo (Quadro 4). Estes resultados concordam com os resultados encontrados por Sidiras et al. (1984) e Stone & Silveira (2001), os quais verificaram que os valores de densidade mostraram-se superiores no sistema plantio direto em relação ao sistema convencional.

Outro aspecto a ser considerado é o de que os valores de densidade do solo nesses sistemas de manejo, nos três anos consecutivos e nas três profundidades, permaneceram praticamente constantes, não indicando tendência de adensamento no tempo, à exceção do tratamento PDV, que apresentou tendência de adensamento com o tempo. Essa tendência de adensamento no PDV pode ser verificada pelo aumento da densidade e redução do espaço poroso do solo (porosidade total e macroporosidade, quadros 5 e 6, respectivamente). Nos tratamentos que sofreram menor mobilização (PDC e PDSO), nas três profundidades avaliadas e nos três anos, os valores da porosidade total do solo foram inferiores aos dos demais sistemas de manejo do solo (Quadro 5). Já nos tratamentos com maior mobilização, a porosidade total foi maior, o que já era esperado, pois a mobilização aumenta o volume do espaço poroso do solo.

Os valores de macroporosidade apresentaram comportamento semelhante aos valores de porosidade total, uma vez que nos tratamentos que sofreram menor mobilização (PDC e PDSO), nas três profundidades avaliadas e nos três anos, os valores da macroporosidade do solo foram inferiores em

Quadro 3. Distribuição das precipitações pluviométricas (mm) ocorridas durante os anos de 1994 a 1998 no município de Cruz Alta (RS)

Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1994	69	275	102	262	167	190	266	85	157	265	189	167
1995	170	84	126	32	32	113	132	40	106	163	33	45
1996	320	207	101	125	70	119	99	175	50	197	77	142
1997	201	103	56	66	113	165	66	132	123	510	349	275
1998	226	380	115	300	106	125	123	182	161	154	25	137

Quadro 4. Densidade de um Latossolo Vermelho distrófico, em três anos consecutivos, sob diferentes sistemas de manejo

Sistema de manejo ⁽¹⁾	Ano		
	1995	1996	1997
	————— Mg m ⁻³ —————		
	Profundidade de 0,00–0,07 m		
PDC	1,24 a ⁽²⁾	1,21	1,19 a
PDS D	1,14 ab	1,22	1,20 a
PDV	1,08 b	1,18	1,27 a
PCEG	1,09 b	1,20	1,07 b
PCAG	1,12 b	1,21	1,08 b
F (manejo)	3,29*	0,24 ^{ns}	6,88*
C.V. (%)	6,08	4,46	5,44
	Profundidade de 0,07–0,14 m		
PDC	1,31 a	1,31	1,32 a
PDS D	1,32 a	1,32	1,30 a
PDV	1,19 b	1,25	1,32 a
PCEG	1,23 b	1,25	1,15 b
PCAG	1,18 b	1,29	1,24 b
F (manejo)	8,36*	0,74 ^{ns}	5,11*
C.V. (%)	3,71	5,87	5,03
	Profundidade de 0,14–0,21 m		
PDC	1,29 ab	1,33 a	1,32 a
PDS D	1,32 a	1,30 a	1,31 a
PDV	1,19 bc	1,18 bc	1,24 ab
PCEG	1,18 bc	1,27ab	1,15 b
PCAG	1,17 c	1,16 c	1,30 a
F (manejo)	4,26*	5,53*	3,72*
C.V. (%)	5,60	4,97	6,15

⁽¹⁾ PDC: plantio direto contínuo; PDS D: plantio direto e escarificação de acordo com a necessidade (sistema dinâmico); PDV: Plantio direto no verão com escarificação no outono/inverno; PCEG: plantio convencional:escarificador mais grade niveladora; PCAG: plantio convencional: arado de discos mais grade niveladora. ⁽²⁾ Médias com letras distintas na coluna e por profundidade diferem pelo teste de Duncan a 5%. ^{ns}Teste F não-significativo a 5% de significância. *Teste F significativo a 5% de significância.

relação aos dos demais sistemas de manejo do solo (Quadro 6). Já os tratamentos com maior mobilização apresentaram maiores valores de macroporosidade.

A microporosidade do solo apresentou comportamento diferenciado nas três profundidades e nos três anos analisados (Quadro 7). No ano de 1995, ocorreu diferença significativa apenas na profundidade de 0,07–0,14 m, onde o tratamento PDC diferiu apenas do tratamento PCAG. No ano de 1996, apenas na profundidade de 0,14–0,21 m

Quadro 5. Porosidade total de um Latossolo Vermelho distrófico, em três anos consecutivos, sob diferentes sistemas de manejo

Sistema de manejo ⁽¹⁾	Ano		
	1995	1996	1997
	————— dm ³ dm ⁻³ —————		
	Profundidade de 0,00–0,07 m		
PDC	0,52 b ⁽²⁾	0,54	0,54 b
PDS D	0,56 ab	0,53	0,54 b
PDV	0,59 a	0,56	0,52 b
PCEG	0,59 a	0,54	0,59 a
PCAG	0,57 a	0,54	0,58 a
F (manejo)	3,29*	0,24 ^{ns}	6,88*
C.V. (%)	4,64	4,12	4,35
	Profundidade de 0,07–0,14 m		
PDC	0,50 b	0,50	0,49 b
PDS D	0,50 b	0,49	0,50 b
PDV	0,55 a	0,52	0,49 b
PCEG	0,53 a	0,52	0,50 a
PCAG	0,55 a	0,51	0,53 ab
F (manejo)	8,35*	0,73 ^{ns}	5,11*
C.V. (%)	3,39	5,66	4,71
	Profundidade de 0,14–0,21 m		
PDC	0,50 bc	0,49 b	0,50 b
PDS D	0,50 c	0,50 b	0,50 b
PDV	0,54 ab	0,54 a	0,53 ab
PCEG	0,54 ab	0,52 b	0,56 a
PCAG	0,56 a	0,56 a	0,49 b
F (manejo)	4,25*	5,53*	3,72*
C.V. (%)	4,96	4,53	5,77

⁽¹⁾ PDC: plantio direto contínuo; PDS D: plantio direto e escarificação de acordo com a necessidade (sistema dinâmico); PDV: Plantio direto no verão com escarificação no outono/inverno; PCEG: plantio convencional:escarificador mais grade niveladora; PCAG: plantio convencional: arado de discos mais grade niveladora. ⁽²⁾ Médias com letras distintas na coluna e por profundidade diferem pelo teste de Duncan a 5%. ^{ns}Teste F não-significativo a 5% de significância. *Teste F significativo a 5% de significância.

ocorreu diferença significativa, onde o tratamento PDC diferiu dos tratamentos PDV e PCAG. Já no ano de 1997, as diferenças ocorreram nas três profundidades, Na profundidade de 0,0–0,07 m, os tratamentos PDS D e PDV diferiram dos tratamentos PCEG e PCAG; na profundidade de 0,07–0,14 m, os tratamentos PDC, PDS D e PDV diferiram do tratamento PCEG e, na profundidade de 0,14–0,21 m, houve diferença significativa apenas entre os tratamentos PDC (com maior volume de microporos) e o tratamento PCEG. Por meio da

Quadro 6. Macroporosidade de um Latossolo Vermelho distrófico, em três anos consecutivos, sob diferentes sistemas de manejo

Sistema de manejo ⁽¹⁾	Ano		
	1995	1996	1997
	————— dm ³ dm ⁻³ —————		
	Profundidade de 0,00–0,07 m		
PDC	0,20 b ⁽²⁾	0,22	0,24 b
PDSO	0,25 ab	0,20	0,23 b
PDV	0,30 a	0,23	0,19 b
PCEG	0,31 a	0,24	0,32 a
PCAG	0,29 a	0,24	0,31 a
F (manejo)	3,38*	0,59 ^{ns}	7,36*
C.V. (%)	17,4	18,5	16,0
	Profundidade de 0,07–0,14 m		
PDC	0,16 bc	0,16	0,16 b
PDSO	0,15 c	0,15	0,17 b
PDV	0,24 a	0,20	0,17 b
PCEG	0,21 ab	0,20	0,27 a
PCAG	0,26 a	0,19	0,21 ab
F (manejo)	7,26*	0,88 ^{ns}	4,11*
C.V. (%)	17,5	25,7	21,9
	Profundidade de 0,14–0,21 m		
PDC	0,16 bc	0,14 c	0,16 b
PDSO	0,15 c	0,16 bc	0,17 b
PDV	0,24 ab	0,24ab	0,21 a
PCEG	0,23 ab	0,18abc	0,27 a
PCAG	0,26 a	0,26 a	0,15 b
F (manejo)	3,68*	4,48*	3,31*
C.V. (%)	24,9	25,2	26,6

⁽¹⁾ PDC: plantio direto contínuo; PDSO: plantio direto e escarificação de acordo com a necessidade (sistema dinâmico); PDV: Plantio direto no verão com escarificação no outono/inverno; PCEG: plantio convencional:escarificador mais grade niveladora; PCAG: plantio convencional: arado de discos mais grade niveladora. ⁽²⁾ Médias com letras distintas na coluna e por profundidade diferem pelo teste de Duncan a 5%. ^{ns}Teste F não-significativo a 5 % de significância. *Teste F significativo a 5 % de significância.

análise dos valores de microporosidade não é possível identificar tendência de adensamento do solo com o tempo, nos diferentes sistemas de manejo estudados, a exemplo do que ocorreu com os valores de densidade e macroporosidade do solo.

Com relação à produtividade, verificou-se que, para as culturas da soja (safras 94/95 e 96/97) e milho (safras 95/96 e 97/98), não houve diferença estatística significativa entre os sistemas de manejo utilizados. Isso demonstra que o estado estrutural (densidade e espaço poroso do solo) não comprometeu a

Quadro 7. Microporosidade de um Latossolo Vermelho distrófico, em três anos consecutivos, sob diferentes sistemas de manejo

Sistema de manejo ⁽¹⁾	Ano		
	1995	1996	1997
	————— dm ³ dm ⁻³ —————		
	Profundidade de 0,00–0,07 m		
PDC	0,32	0,32	0,30 ab ⁽²⁾
PDSO	0,31	0,33	0,31 a
PDV	0,29	0,23	0,33 a
PCEG	0,28	0,30	0,27 b
PCAG	0,28	0,30	0,27 b
F (manejo)	3,10 ^{ns}	1,35 ^{ns}	6,40*
C.V. (%)	8,3	7,5	6,8
	Profundidade de 0,07–0,14 m		
PDC	0,34 ab	0,34	0,33 a
PDSO	0,35 a	0,34	0,33 a
PDV	0,31 bc	0,32	0,33 a
PCEG	0,32 abc	0,32	0,29 b
PCAG	0,29 c	0,32	0,32 ab
F (manejo)	5,15*	1,15 ^{ns}	2,66*
C.V. (%)	6,17	6,16	6,22
	Profundidade de 0,14–0,21 m		
PDC	0,34	0,35 a	0,34 a
PDSO	0,35	0,34ab	0,33 ab
PDV	0,30	0,30 b	0,32 ab
PCEG	0,31	0,34ab	0,29 b
PCAG	0,30	0,30 b	0,34 a
F (manejo)0	2,79 ^{ns}	3,24*	2,58*
C.V. (%)	8,59	8,42	6,93

⁽¹⁾ PDC: plantio direto contínuo; PDSO: plantio direto e escarificação de acordo com a necessidade (sistema dinâmico); PDV: Plantio direto no verão com escarificação no outono/inverno; PCEG: plantio convencional:escarificador mais grade niveladora; PCAG: plantio convencional: arado de discos mais grade niveladora. ⁽²⁾ Médias com letras distintas na coluna e por profundidade diferem pelo teste de Duncan a 5%. ^{ns}Teste F não-significativo a 5 % de significância. * Teste F significativo a 5 % de significância.

produtividade, ou seja, as modificações ocorridas nesses atributos físicos, provocadas pelos sistemas de manejo do solo, não foram afetadas de forma suficiente para interferir na produtividade das culturas (Quadro 8).

A cultura do trigo foi sensível ao estado estrutural do solo em relação às culturas da soja e do milho. O sistema de manejo do solo com maior mobilização (PCAG) proporcionou condições mais adequadas a esta cultura, tendo em vista que neste sistema de manejo do solo a produtividade diferiu significativamente

Quadro 8. Produtividade de soja, milho, trigo e produção acumulada, considerando-se os sistemas de manejo do solo em um Latossolo Vermelho distrófico

Sistema de manejo ⁽¹⁾	Soja	Milho	Trigo	Soja	Milho	Produção	Total
	(94/95)	(95/96)	(96)	(96/97)	(97/98)	acumulada	relativo
	Mg ha ⁻¹						%
PDC	3,10	5,86	1,82 b ⁽²⁾	2,83	5,94	19,55	99,8
PDSO	2,98	5,52	1,75 b	2,71	6,14	19,10	97,6
PDV	2,96	5,33	1,82 b	2,84	6,09	19,05	97,3
PCEG	3,19	5,30	1,97 ab	2,73	6,29	19,48	99,5
PCAG	3,26	4,65	2,19 a	2,76	6,72	19,58	100
F (manejo)	1,79 ^{ns}	2,36 ^{ns}	5,74*	0,49 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,15 ^{ns}	
C.V. (%)	6,32	10,85	7,84	6,26	15,45	7,37	

⁽¹⁾ PDC: plantio direto contínuo; PDSO: plantio direto e escarificação de acordo com a necessidade (sistema dinâmico); PDV: Plantio direto no verão com escarificação no outono/inverno; PCEG: plantio convencional:escarificador mais grade niveladora; PCAG: plantio convencional: arado de discos mais grade niveladora. ⁽²⁾ Médias com letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan a 5%. ^{ns} Teste F não-significativo a 5% de significância. * Teste F significativo a 5 % de significância.

em relação à dos sistemas de menor mobilização do solo (PDC, PDSO e PDV). Considerando o tratamento PCAG (2,19 Mg ha⁻¹), verificou-se que a produtividade correspondeu a um acréscimo de 17,81 % em relação à produtividade média obtida pelos sistemas de manejo PDC, PDSO e PDV (1,80 Mg ha⁻¹).

Esse comportamento mais favorável ao tratamento que recebeu aração e gradagem também pode estar associado a algum efeito na melhoria do equilíbrio imobilização/mineralização pela incorporação dos restos culturais da cultura que antecede o trigo, neste caso o milho, visto que o estado estrutural do solo do tratamento PCGA é semelhante ao do PCEG.

As produções acumuladas, nos cinco sistemas de manejo do solo, não diferiram entre si. A percentagem total relativa apresentou diferenças máximas de produção de 2,7 pontos percentuais entre os sistemas de manejo, evidenciando um rendimento de grãos semelhante ao longo dos três anos avaliados. No entanto, alguns trabalhos mostram que os rendimentos de grãos de soja e milho foram maiores nos sistemas com uso de escarificação em relação ao sistema plantio direto. Na região Oeste do Paraná, em um Latossolo roxo distrófico, Bertol & Fischer (1997) verificaram que o preparo do solo por meio de um escarificador com rolo destorroador proporcionou maior rendimento de grãos de soja em relação aos demais tratamentos, incluindo o sistema plantio direto. Em Cruz Alta (RS), Secco (1994), avaliando o desempenho operacional de escarificadores em Latossolo Vermelho distrófico sob sistema plantio direto, constatou que a produtividade da cultura do milho foi superior no tratamento com escarificação em relação ao tratamento que permaneceu sob sistema plantio direto. Esse autor atribuiu a maior produtividade obtida nas parcelas escarificadas às melhores condições de espaço poroso do solo.

Apesar de existirem resultados contraditórios, principalmente com relação ao uso da escarificação em solos cultivados no sistema plantio direto, é de suma importância considerar o histórico do sistema de produção. Vários trabalhos, semelhantes a este, que associam o plantio direto a sistemas de culturas com alta adição de resíduos culturais, têm mostrado efeitos benéficos ao estado estrutural do solo, em especial na melhoria do espaço poroso do solo no sistema plantio direto (Albuquerque et al., 1995; Campos et al., 1995).

Com base nisto, os resultados do trabalho mostram não haver necessidade de mobilizar o solo sob sistema plantio direto a cada cultivo/ano (PDV) ou a cada três anos (PDSO), quando comparado ao tratamento plantio direto contínuo (PDC), em cinco anos consecutivos de cultivo nesses sistemas.

CONCLUSÕES

1. A densidade do solo apresentou valor superior nos tratamentos que sofreram menor mobilização do solo (PDC e PDSO), enquanto a porosidade total e a macroporosidade apresentaram comportamento inverso.

2. À exceção do PDV, os valores de densidade, porosidade total e macroporos nos demais sistemas de manejo do solo, nos três anos consecutivos e nas três profundidades avaliadas, permaneceram praticamente constantes, não indicando tendência de adensamento no tempo.

3. A produtividade das culturas da soja e milho não diferiram significativamente entre os sistemas de manejo utilizados, indicando que para essas culturas mudanças no estado estrutural do solo não comprometeram sua produtividade.

4. A cultura do trigo mostrou-se sensível ao estado estrutural do solo, com os sistemas de manejo do solo com maior mobilização (PCAG) proporcionando condições mais adequadas a esta cultura.

5. Segundo os resultados encontrados, a mobilização do solo a cada ano ou a cada três anos nas áreas conduzidas sob o sistema plantio direto não influenciou na produção das culturas e não alterou os atributos.

LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. R. Bras. Ci. Solo, 19:115-119, 1995.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLÓDI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um latossolo vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 19:121-126, 1995.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.
- BERTOL, O.J. & FISCHER, I.I. Semeadura direta versus sistemas de preparo reduzido: efeito na cobertura do solo e no rendimento da cultura da soja. Eng. Agric., 17:87-96, 1997.
- FERNANDEZ, E.M.; CRUSCIOL, C.C.C. & THIMOTEO, C.M.S. Matéria seca e nutrição da soja em razão da compactação do solo e adubação fosfatada. Científica, 23:117-132, 1995.
- RAGHAVAN, G.S.V.; MCKYES, E. & CHASSÊ, M. Effect of wheel slip on soil compaction. J. Agric. Eng. Res., 22:79-83, 1977.
- SECCO, D. Eficiência e efeito residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1994. 76p. (Tese de Mestrado)
- SIDIRAS, N.; VIEIRA, S.R. & ROTH, C.H. Determinação de algumas características físicas de um latossolo roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. R. Bras. Ci. Solo, 8:265-68, 1984.
- STOLZY, L.H. Soil atmosphere. In: CARSON, E.W., ed. The plant root and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.335-361.
- STONE, L.F. & SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. R. Bras. Ci. Solo, 25:395-401, 2001.
- TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M.F. & FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. R. Bras. Ci. Solo, 25: 725-730, 2001
- TAYLOR, N.W. Root behavior as affected by soil structure and strenght. In: CARSON, E.W., ed. *The plant root and its environment*. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.271-291.