

# Propriedades físicas de Latossolo Vermelho distroférico típico sob sistemas de manejo na sucessão soja-milho no período de três anos

Reny Adilmar Prestes Lopes<sup>1</sup>, Lucia Helena Pereira Nóbrega<sup>1\*</sup>, Miguel Angel Uribe-Opazo<sup>1</sup>, Maritane Prior<sup>1</sup> e Joaquim Odilon Pereira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste Paraná, Rua Universitária, 2069, 85814-110, Cascavel, Paraná, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: lhpn@unioeste.br

**RESUMO.** Este trabalho avaliou alterações das propriedades físicas teor de água, densidade e porosidade do solo em áreas sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional nas culturas de soja e milho em três anos agrícolas. O experimento foi instalado no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola da Unioeste (Cascavel, Estado do Paraná). Nos dois primeiros anos foi implantada a cultura de soja; no terceiro ano, milho, como cultura de verão, e aveia preta e nabo forrageiro, como cobertura de inverno. Durante os três anos, foram observados redução do teor de água e densidade do solo e aumento da porosidade. As variações nas propriedades físicas do solo mostraram relação diretamente proporcional entre teor de água e densidade do solo e inversamente para porosidade. O solo apresentou melhorias nas condições físicas pelo acréscimo de porosidade e redução de densidade com as culturas de aveia preta+nabo forrageiro e milho. O manejo soja/milho em rotação com aveia preta+nabo forrageiro mostrou-se mais adequado na melhoria das condições físicas do solo do que os sistemas de manejo, uma vez que nenhum dos sistemas teve maior destaque na melhoria das propriedades físicas avaliadas em todo o período.

**Palavras-chave:** semeadura direta, preparo convencional, rotação de culturas.

**ABSTRACT. Physical properties in dystrophic Red Latosol under management systems in the succession soybean-maize in three years.** This study evaluated alterations in the physical properties water content, soil density and porosity in areas under no tillage and tillage systems in the cultures of soybean and maize in three agricultural years. The experiment was carried out at the Experimental Nucleus of Agricultural Engineering of Unioeste (Cascavel, state of Paraná). Soybean culture occurred in the first two years and in the third year maize, as summer crop, black oats and forage turnip as winter cover crops.. During these three years the study observed reduction of water content and soil density and increase of porosity . The variations as regards the physical properties of the soil showed direct proportional relation between water content and soil density and was in inverse proportion for soil porosity. The soil presented improvements on its physical conditions for the porosity increase and density reduction with the black oats and forage turnip crops and maize. The soybean/maize management in rotation with black oats and forage turnip showed more adequate in the improvement of the physical conditions of the soil as compared with the management systems, since neither of the systems had a major impact in the improvements of the physical properties evaluated throughout this whole period.

**Key words:** no-tillage, tillage, crop rotation.

## Introdução

A região Oeste do Paraná é essencialmente agrícola, com elevada produção de soja, milho, trigo e culturas alternativas como girassol, feijão, aveia, arroz, cana, algodão, colza etc. O uso do solo na região é intensivo, com duas ou três safras anuais, preparo de solo diversificado e grande tráfego de máquinas e implementos nas operações de manejo de plantas invasoras, insetos, doenças e colheita dos grãos. Para Alvarenga *et al.* (1999), o uso do solo para

fins agrícolas provoca alteração das características físicas, químicas e biológicas do solo, ocorrendo normalmente a deterioração da qualidade em decorrência da retirada da cobertura vegetal e excessiva mecanização. Segundo Castro (1994), uma das primeiras preocupações quando se trata de preparo do solo é a influência na absorção e disponibilidade de água, pois o estado em que se encontra a superfície do solo exercerá grande influência na infiltração, drenagem e escoamento superficial. Para Calegari (2000), o teor de água no

solo pode ser afetado pela presença de cobertura vegetal, porque esta diminui a evaporação da água e ainda favorece maior infiltração através dos canalículos deixados pelas raízes das plantas, minhocas, insetos e outros organismos do solo; dessa forma, o acúmulo de matéria orgânica aumenta a retenção de água no solo. Estudos realizados por Johnson *et al.* (1989), encontraram elevação da capacidade dos solos em reter água com acréscimo da compactação no solo, evidenciando que a retenção de água, densidade de solo e microporosidade possuem entre si correlação positiva e correlação negativa se comparados com porosidade total, macroporosidade e condutividade hidráulica, indicando que quanto maior a quantidade de microporos maior será o volume de água retido no solo. Para De Maria *et al.* (1999), as operações de preparo do solo são realizadas para criar condições favoráveis à germinação e ao crescimento radicular das culturas. Entretanto as condições de teor de água durante o preparo, teor de argila e de matéria orgânica do solo, profundidade de mobilização e o tipo de implemento utilizado podem levar às modificações das estruturas do solo, acarretando restrições ao crescimento das raízes. Moraes *et al.* (1988), trabalhando com Latossolo Vermelho Escuro em região de cerrado, verificou aumento significativo na densidade do solo cultivado, evidenciando que esse aumento poderia ser consequência da quebra de estrutura do solo e diminuição da macroporosidade causada pela compactação do solo.

Linn e Doran (1984) afirmam que os principais fatores que diferem o sistema de semeadura direta de um solo arado (preparo convencional) são as condições menos aeróbicas no primeiro, com menor teor de água e/ou densidade do solo, que resultam em porosidade total mais baixa e maior teor de água no espaço poroso. Para Silva e Reinert (1998), a menor resistência mecânica do solo à penetração na superfície, no sistema de semeadura direta, pode ser atribuída à proteção que a cobertura vegetal oferece ao impacto das gotas de chuvas, maior teor de água, atividade microbiana e conteúdo de matéria orgânica, conferindo ao solo melhor estrutura.

Torres e Saraiva (1999) afirmam que a rotação de culturas com espécies que apresentam sistema radicular vigoroso e profundo, como o guandu, crotalária, aveia preta, tremoço, nabo forrageiro, milho e milheto, auxiliam na redução da compactação e densidade do solo. Voorhees e Lindstrom (1984) observaram que são necessários três a quatro anos para que um solo sob condições de manejo conservacionista desenvolva porosidade

mais favorável na camada de 0 a 0,15 m quando comparados com solos arados e gradeados em uso contínuo.

Diante da necessidade de alternativas para melhorar o manejo de solo, o presente trabalho teve por objetivo avaliar alterações nas propriedades físicas teor de água, densidade do solo e porosidade em áreas sob sistema de semeadura direta e preparo convencional com as culturas de soja e milho por um período de três anos agrícolas.

## Material e métodos

O experimento foi instalado no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola da Unioeste, município de Cascavel, Estado do Paraná, latitude 24° 58' Sul e longitude 53° 27' Oeste e Latossolo Vermelho distroférico. O regime pluviométrico anual médio é de 1.940 mm, com maiores concentrações nos meses de janeiro, maio e outubro; e períodos mais secos em julho e agosto. O clima é temperado mesotérmico e superúmido, temperatura anual média de 21°C, altitude média de 760 m. A região está sujeita a geadas, embora não muito freqüentes. O relevo é suavemente ondulado (Prefeitura Municipal de Cascavel, 1995).

Foram realizados dois tipos de sistemas de manejo do solo: Preparo convencional (CO) – uma aração (arado de disco a 0,20 m de profundidade) + uma gradagem (grade aradora a 0,10 m de profundidade) e semeadura direta (SD). Anteriormente à implantação do experimento, a área era conduzida sob semeadura direta com culturas de verão (soja/milho) e inverno (aveia preta/nabo forrageiro). O solo encontrava-se compactado, conforme verificado em ensaios preliminares e com problemas de erosão entre terraços.

A área total do experimento era de 1.200 m<sup>2</sup> (20 x 60 m), na qual foram demarcadas 48 parcelas (24 parcelas sob sistema de semeadura direta e 24 parcelas sob preparo convencional), sendo cada uma delas de 2 x 5 m, com espaçamento entre parcelas de 1 e 4 m entre os dois sistemas de manejo.

Nos dois primeiros anos agrícolas (1998/1999 e 1999/2000), utilizou-se soja como cultura de verão e aveia preta em consórcio com nabo forrageiro como cobertura de inverno. Porém, como a área foi atacada por lebres que dizimaram a cultura da soja no terceiro ano, optou-se em dessecar a área e realizar a semeadura do milho safrinha em janeiro do ano agrícola 2000/2001.

A semeadura da soja foi realizada em 10 de dezembro de 1998 e 11 de dezembro de 1999 e a de milho em 19 de janeiro de 2001 (safrinha), dentro da época recomendada para a região.

A semeadura da soja foi realizada manualmente nos sulcos deixados pela passagem da semeadora-adubadora, abastecida somente com adubo, equipada com disco de corte e sem os cobridores. Utilizaram-se as cultivares BR-61, BR-62, BR-66, BR-133, BR-135 e BR-136, oriundas da Embrapa Soja, Londrina, Estado do Paraná. Cada parcela constava de quatro linhas espaçadas de 0,50 m, com 100 sementes em cada linha espaçadas de 0,05 m.

O milho foi semeado com semeadora manual, com cerca de três sementes por cova, espaçadas 0,30 m em três linhas, espaçadas de 0,80 m em cada parcela, usando-se híbrido simples, CD 3121 oriundo da Coodetec (Cascavel, Estado do Paraná), recomendado para semeadura na safrinha.

A determinação do teor de água do solo foi realizada sempre no final de cada mês (entre os dias 25 a 30), nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março, maio e setembro, durante os três anos de estudo, seguindo a metodologia descrita em Embrapa (1997).

A determinação da densidade do solo foi realizada no mesmo dia da determinação do teor de água, pelo método do anel volumétrico descrito em Kiehl (1979) e Embrapa (1997).

A porosidade total do solo foi determinada pelo método da mesa de tensão descrito em Kiehl (1979) e Embrapa (1997), aproveitando-se das amostras coletadas para determinação da densidade do solo. As amostragens de solo para a determinação de teor de água, densidade e porosidade foram realizadas na profundidade entre 0 a 0,10 m, sendo quatro repetições por parcela de cada tratamento.

O delineamento experimental para os anos agrícolas 1998/1999 e 1999/2000 (cultura da soja) foi de parcelas subdivididas (parcela principal: sistemas de manejo em dois níveis e as subparcelas: cultivares de soja com seis níveis), considerando quatro repetições por cultivar. Para o ano agrícola 2000/2001 (cultura do milho), o delineamento experimental foi inteiramente casualizado (tratamento 1 – SD: sistema de manejo semeadura direta e tratamento 2 – CO: sistema de cultivo preparo convencional), considerando 24 repetições por tratamento (em função do número de parcelas utilizadas para a soja).

Para comparação do teor de água do solo (%), densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) e porosidade do solo (%) nos períodos em estudo, utilizou-se o teste t (Mischan e Pinho, 1996) em nível de 5% de significância para comparação de médias das propriedades físicas dos três anos agrícolas 1998/1999, 1999/2000 e 2000/2001.

## Resultados e discussão

A seguir são apresentados os resumos da análise de variância para o teor de água do solo (%), densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) e porosidade do solo (%) nos sistemas de semeadura direta e preparo convencional, nos anos agrícolas 1998/1999, 1999/2000 e 2000/2001.

Na Tabela 1, observa-se que, no ano agrícola 1998/1999, o teor de água do solo no mês de dezembro apresentou interação significativa entre sistemas de manejo e cultivares. Nos meses de janeiro, fevereiro e março do mesmo ano, verificou-se no teor de água do solo diferença significativa entre as cultivares da soja; e no mês de maio o teor de água do solo apresentou diferenças significativas entre os sistemas de manejo e cultivares.

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância para obtenção dos valores da estatística F, média geral, desvio padrão e coeficiente de variação para teor de água do solo nos anos agrícolas 1998/1999, 1999/2000 e 2000/2001.

Ano Agrícola 1998/1999, Soja						
Parâmetros/Estatística	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Mai	Set.
Sistemas de manejo (S)	1,96 <sup>ns</sup>	3,28 <sup>ns</sup>	1,53 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	38,18*	0,01 <sup>ns</sup>
Cultivares (C)	0,68 <sup>ns</sup>	2,67*	2,82*	5,35*	3,27*	0,92 <sup>ns</sup>
Interação (S) x (C)	3,87*	1,45 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	2,20 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>
Média Geral	29,81	28,57	35,09	24,37	25,06	34,30
Desvio Padrão	2,80	2,73	2,16	2,45	0,69	1,17
Coeficiente de Variação (%)	9,41	9,56	5,98	10,05	2,75	3,41
Ano Agrícola 1999/2000, Soja						
Sistemas de manejo (S)	2107,12*	3,43 <sup>ns</sup>	38,55*	2,16 <sup>ns</sup>	2,13 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>
Cultivares (C)	2,01 <sup>ns</sup>	1,18 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>
Interação (S) x (C)	1,97 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	1,18 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>
Média Geral	31,82	4,57	23,80	20,98	24,10	19,85
Desvio Padrão	9,28	5,74	1,20	1,16	1,14	0,74
Coeficiente de Variação (%)	29,17	23,36	5,04	5,53	4,73	3,73
Ano Agrícola 2000/2001, Milho						
Sistemas de manejo (S)	0,23 <sup>ns</sup>	40,59*	2,13 <sup>ns</sup>	1,99 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	3,30 <sup>ns</sup>
Média Geral	20,07	22,37	22,77	23,75	24,19	23,40
Desvio Padrão	2,98	1,53	1,23	1,18	1,27	1,01
Coeficiente de Variação (%)	14,86	6,83	5,17	4,97	5,25	3,98

<sup>ns</sup> não significativo; \* significativo em nível de 5% de probabilidade.

No ano agrícola 1999/2000, verificou-se, nos meses de dezembro e fevereiro, que o teor de água do solo apresentou diferença significativa entre sistemas de manejo, já nos outros meses em estudo o teor de água do solo não apresentou efeito significativo entre sistemas de manejo e entre cultivares. No ano agrícola 2000/2001, em que só foi avaliado o sistema de manejo devido à implantação da cultura do milho, somente no mês de janeiro o teor de água do solo apresentou diferença significativa entre os sistemas de manejo.

O teor de água elevado no mês de maio, no ano agrícola 1998/1999, pode estar relacionado às altas precipitações ocorridas no período. Já no ano seguinte, 1999/2000, os maiores teores de água podem ser devido à influência do sistema de manejo

e das coberturas de inverno implantadas, melhorando a estrutura do solo, pois segundo Calegari (2000), o teor de água pode ser afetado pela presença de cobertura vegetal, a qual diminui a evaporação de água e ainda favorece maior infiltração através dos canículos deixados pelas raízes das plantas.

Na Tabela 2 é apresentado o estudo do desdobramento da interação sistema de manejo e cultura, do mês de dezembro no ano agrícola 1998/1999. Observa-se, ao comparar as médias do teor de água do solo segundo o teste Tukey em nível de 5% de significância, que as parcelas com as cultivares de soja: BR-61, BR-62, BR-66, BR-133 e BR-136 foram, em média, estatisticamente iguais; dentro do sistema de semeadura direta, ainda, a cultivar BR-61 apresentou-se, em média, superior à BR-135 e essa assemelhou-se às demais. Avaliando o sistema preparo convencional, verifica-se igualdade de médias entre todas as cultivares. Analisando o comportamento de cada sistema de manejo dentro das cultivares, pode-se constatar que a semeadura direta resultou em valores maiores de teor de água do solo nas parcelas com a cultivar BR-61. A cultivar BR-135 apresentou comportamento inverso à BR-61; para as demais cultivares não ocorreram diferenças significativas.

**Tabela 2.** Desdobramento da interação sistemas de manejo e cultivares para o teor de água do solo (%), nos anos agrícolas 1998/1999, para o mês de dezembro.

Sist/Cult.	Ano Agrícola 1998/1999						
	BR-61	BR-62	BR-66	BR-133	BR-135	BR-136	Médias (S)
SD	31,57aB	25,22abA	27,66abA	27,24abA	26,76bA	29,47abA	28,49
CO	28,28aA	28,99aA	29,92aA	30,48aB	30,13aB	26,79aA	29,09
Médias (C)	29,93	28,61	28,79	28,86	28,45	28,13	

SD-Semeadura direta; CO-Preparo convencional; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste t em nível de 5% de significância.

Na Tabela 3 são apresentadas as comparações de médias do teor de água do solo do ano agrícola 1999/2000 nos meses de dezembro e fevereiro e pode-se concluir que no preparo convencional resultou em média teor de água do solo maior quando comparado ao teor de água no solo da semeadura direta.

Na Tabela 4 observa-se, nos resumos da Anova que a densidade do solo, no mês de dezembro do ano agrícola 1998/1999, não apresentou diferença significativa nos fatores em estudo. Entretanto, verifica-se que a densidade do solo foi significativa para sistemas de manejo e as cultivares de soja, no ano agrícola 1999/2000.

**Tabela 3.** Comparação de médias dos efeitos sistema de manejo e cultivar, para o mês de dezembro e fevereiro do ano agrícola 1999/2000.

Sist/Cult	Ano Agrícola 1999/2000, Dezembro						Médias (S)
	BR-61	BR-62	BR-66	BR-133	BR-135	BR-136	
SD	24,26	23,13	23,54	23,62	21,62	22,73	23,15 A
CO	42,49	34,93	41,31	41,00	41,98	41,27	40,49 B
Médias (C)	33,37a	29,03a	32,42a	32,31a	31,39a	32,00a	

  

Sist/Cult	Ano Agrícola 1999/2000, Fevereiro						Médias (S)
	BR-61	BR-62	BR-66	BR-133	BR-135	BR-136	
SD	26,22	24,71	26,61	29,64	27,33	24,91	23,10 A
CO	22,43	18,77	21,02	20,54	27,91	24,78	24,50 B
Médias (C)	24,33a	23,91a	23,59a	23,52a	23,55a	23,92a	

SD-Semeadura direta; CO-Preparo convencional; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste t em nível de 5% de significância.

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância para obtenção dos valores da estatística F, média geral, desvio padrão e coeficiente de variação para densidade do solo nos anos agrícolas 1998/1999, 1999/2000 e 2000/2001.

Parâmetros/Estatística	Ano Agrícola 1998/1999, Soja					
	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Mai	Set.
Sistemas de manejo (S)	3,52 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	18,00*	12,56*	0,00 <sup>ns</sup>	3,45 <sup>ns</sup>
Cultivares (C)	0,44 <sup>ns</sup>	4,86*	0,21 <sup>ns</sup>	1,95 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	1,22 <sup>ns</sup>
Interação (S) x (C)	0,39 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
Média Geral	1,24	1,30	1,25	1,33	1,95	1,86
Desvio Padrão	0,11	0,09	0,08	0,03	0,05	0,10
Coeficiente de Variação (%)	9,25	6,92	6,40	2,26	2,56	5,38

  

Parâmetros/Estatística	Ano Agrícola 1999/2000, Soja					
	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Mai	Set.
Sistemas de manejo (S)	27,95*	7,22*	0,32 <sup>ns</sup>	23,06*	13,32*	0,39 <sup>ns</sup>
Cultivares (C)	2,79*	2,26 <sup>ns</sup>	3,44*	0,69 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	0,85 <sup>ns</sup>
Interação (S) x (C)	2,31 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	2,28 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>
Média Geral	1,28	1,27	1,18	1,12	1,12	1,60
Desvio Padrão	0,13	0,08	0,09	0,03	0,06	0,10
Coeficiente de Variação (%)	10,16	6,30	7,63	2,67	5,36	6,25

  

Parâmetros/Estatística	Ano Agrícola 2000/2001, Milho					
	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Mai	Set.
Sistemas de manejo (S)	11,21*	0,55 <sup>ns</sup>	1,40 <sup>ns</sup>	2,42 <sup>ns</sup>	23,26*	0,71 <sup>ns</sup>
Média Geral	1,33	1,29	1,32	1,32	1,34	1,35
Desvio Padrão	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07
Coeficiente de Variação (%)	3,76	4,65	5,30	5,30	5,23	5,19

<sup>ns</sup>não significativo; \*significativo em nível de 5% de probabilidade.

No ano agrícola 2000/2001, a densidade do solo foi significativa somente entre sistemas de manejo no milho. Para a densidade do solo no mês de janeiro do ano agrícola 1998/1999 observa-se diferença significativa entre as cultivares de soja e sistemas de manejo no ano agrícola 1999/2000. No mês de fevereiro do ano agrícola 1998/1999, no estudo da densidade do solo, observa-se diferença significativa para sistemas de manejo e entre parcelas cultivadas com soja, no ano 1999/2000. No mês de março, percebe-se diferença significativa para sistemas de manejo, nos anos 1998/1999 e 1999/2000. No mês de maio, constata-se diferença significativa para sistemas de manejo nos anos 1999/2000 e 2000/2001. Em setembro, ao estudar a densidade do solo, não se obteve diferença significativa para nenhum dos fatores avaliados nos três períodos.

Na Tabela 5 são apresentadas as comparações de

médias da densidade do solo nos sistemas de manejo e cultivares, O aumento da densidade do solo no último ano de cultivo pode estar relacionado à melhoria na estrutura do solo, pela seqüência de cultivos e pelo desenvolvimento das culturas de inverno. O mesmo foi observado por Moraes *et al.* (1988), verificando aumento na densidade do solo com sistemas de manejo diferenciados, evidenciando que esse aumento pode ser conseqüência da quebra da estrutura do solo.

**Tabela 5.** Comparação de médias da densidade do solo nos sistema de manejo e cultivar para os meses de janeiro 1998/1999, dezembro 1999/2000 e fevereiro de 1999/2000.

Ano Agrícola 1998/1999 - Janeiro							
Sist/Cult	BR-61	BR-62	BR-66	BR-133	B-135	BR-136	Médias (S)
SD	1,36	1,29	1,28	1,36	1,38	1,22	1,32A
CO	1,39	1,33	1,27	1,35	1,30	1,24	1,31A
Médias(C)	1,37b	1,31ab	1,28ab	1,36b	1,34b	1,23a	
Ano Agrícola 1999/2000 - Dezembro							
Sist/Cult	BR-61	BR-62	BR-66	BR-133	BR-135	BR-136	Médias (S)
SD	1,38	1,32	1,43	1,39	1,40	1,30	1,37B
CO	1,27	1,08	1,16	1,17	1,20	1,24	1,18A
Médias(C)	1,33b	1,20a	1,29ab	1,28ab	1,30ab	1,27ab	
Ano Agrícola 1999/2000 - Fevereiro							
Sist/Cult	BR-61	BR-62	BR-66	BR-133	BR-135	BR-136	Médias (S)
SD	1,11	1,17	1,21	1,14	1,21	1,21	1,17A
CO	1,14	1,15	1,14	1,26	1,26	1,22	1,19A
Médias(C)	1,12a	1,16ab	1,17ab	1,19ab	1,23b	1,21ab	

SD-Semeadura direta; CO-Preparo convencional; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste t em nível de 5% de significância.

Na Tabela 6 observa-se, pela porosidade do solo, em dezembro, diferença estatística significativa somente para sistemas de manejo no ano agrícola 1999/2000. Em janeiro, verifica-se diferença estatística significativa para sistemas de manejo nos anos 1998/1999 e 1999/2000. No mês de fevereiro, percebe-se diferença estatística significativa somente para sistemas de manejo nas parcelas cultivadas com soja, no ano 1999/2000. No mês de março, observa-se diferença estatística significativa para sistemas de manejo nos três anos agrícolas. No mês de maio, constata-se diferença estatística significativa somente para sistemas de manejo no ano 1999/2000. No mês de setembro, verifica-se diferença estatística significativa somente para sistemas de manejo no ano 2000/2001, quando a cultura era milho.

Nas Tabelas 8, 9 e 10 são apresentados resultados da comparação de médias para teor de água do solo (%), densidade do solo ( $g\ cm^{-3}$ ) e porosidade do solo (%), nos meses em que não houve efeito significativo do fato cultivar e da interação cultivar e sistemas de manejo, nos anos agrícolas 1998/1999, 1999/2000 e 2000/2001, respectivamente.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância para obtenção dos valores da estatística F, média geral, desvio padrão e coeficiente de variação para porosidade do solo, nos anos agrícolas 1998/1999, 1999/2000 e 2000/2001.

Ano Agrícola 1998/1999						
Parâmetros/Estatística	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Mai	Set.
Sistemas de manejo (S)	2,32 <sup>ns</sup>	23,24*	0,34 <sup>ns</sup>	10,25*	0,30 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
Cultivares (C)	1,56 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	0,85 <sup>ns</sup>	2,33 <sup>ns</sup>
Interação (S) x (C)	0,14 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	1,58 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>
Média Geral	55,87	58,42	51,18	55,44	46,19	56,11
Desvio Padrão	4,58	3,57	2,35	1,59	3,32	0,91
Coeficiente de Variação (%)	8,12	6,11	4,59	2,87	7,19	1,78
Ano Agrícola 1999/2000						
Sistemas de manejo (S)	88,97*	7,50*	78,68*	11,35*	23,64*	2,20 <sup>ns</sup>
Cultivares (C)	1,39 <sup>ns</sup>	2,15 <sup>ns</sup>	2,13 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	2,30 <sup>ns</sup>
Interação (S) x (C)	0,62 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	2,15 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>ns</sup>
Média Geral	61,77	59,42	56,21	63,43	61,49	58,55
Desvio Padrão	7,43	3,99	4,40	4,34	1,64	0,78
Coeficiente de Variação (%)	12,03	6,71	7,80	6,84	2,67	1,33
Ano Agrícola 2000/2001						
Sistemas de manejo (S)	0,14 <sup>ns</sup>	1,27 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	42,60*	0,19 <sup>ns</sup>	5,87*
Média Geral	55,89	56,44	55,18	64,09	57,94	61,39
Desvio Padrão	2,32	2,71	1,81	3,65	2,70	1,44
Coeficiente de Variação (%)	4,15	4,80	3,28	5,70	4,66	2,35

<sup>ns</sup>não significativo; \*significativo em nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 7.** Comparação de médias da porosidade do solo no sistema de manejo e cultivar.

Ano Agrícola 1998/1999 - Janeiro							
Sist/Cult	BR-61	BR-62	BR-66	BR-133	BR-135	BR-136	Médias (S)
SD	56,27	56,47	54,49	58,54	56,49	56,68	56,49A
CO	59,73	61,49	60,82	58,83	60,63	60,65	60,36B
Médias(C)	58,00a	58,97a	57,66a	58,68a	58,66a	58,67a	
Ano Agrícola 1998/1999 - Março							
Sist/Cult	BR-61	BR-62	BR-66	BR-133	BR-135	BR-136	Médias (S)
SD	56,06	54,97	54,01	54,09	54,58	52,65	54,39A
CO	56,24	55,81	56,41	55,28	58,23	56,88	56,48B
Médias(C)	56,15a	55,39a	55,21a	54,69a	56,41a	54,77a	
Ano Agrícola 1999/2000 - Dezembro							
Sist/Cult	BR-61	BR-62	BR-66	BR-133	BR-135	BR-136	Médias (S)
SD	57,68	56,17	53,17	55,27	53,96	55,80	55,34A
CO	69,55	64,74	68,66	68,39	67,33	68,57	67,87B
Médias(C)	63,62a	60,46a	60,91a	61,83a	60,65a	62,18a	
Ano Agrícola 1999/2000 - Janeiro							
Sist/Cult	BR-61	BR-62	BR-66	BR-133	BR-135	BR-136	Médias (S)
SD	60,12	59,69	56,73	55,64	56,26	57,98	57,74A
CO	61,46	64,92	59,41	61,93	60,61	58,50	61,09B
Médias(C)	60,79a	62,31a	58,07a	58,78a	58,29a	58,24a	
Ano Agrícola 1999/2000 - Fevereiro							
Sist/Cult	BR-61	BR-62	BR-66	BR-133	BR-135	BR-136	Médias (S)
SD	56,34	59,51	51,13	51,76	51,22	57,96	54,65A
CO	61,33	57,98	57,07	57,55	56,47	56,35	57,67B
Médias(C)	58,84a	58,75a	54,10a	54,66a	53,84a	57,16a	
Ano Agrícola 1999/2000 - Março							
Sist/Cult	BR-61	BR-62	BR-66	BR-133	BR-135	BR-136	Médias (S)
SD	61,27	60,98	59,81	59,22	62,51	58,86	60,44A
CO	66,62	65,52	63,76	65,32	65,11	64,69	66,42B
Médias(C)	63,95	63,25	61,79	62,27	63,81	61,78	
Ano Agrícola 1999/2000 - Maio							
Sist/Cult	BR-61	BR-62	BR-66	BR-133	BR-135	BR-136	Médias (S)
SD	59,43	60,17	59,37	60,69	60,26	59,29	59,87A
CO	63,65	65,27	61,17	62,49	62,50	63,64	63,12B
Médias(C)	61,54a	62,73a	60,27a	61,59a	61,38a	61,46a	

SD-Semeadura direta; CO-Preparo convencional; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey em nível de 5% de significância.

**Tabela 8.** Comparação de médias para teor de água (%), nas áreas com culturas de soja e milho sob sistema de semeadura direta e preparo convencional nos anos agrícolas 1998/1999, 1999/2000 e 2000/2001 (não existe efeito cultivar, sistemas de manejo e interação).

Ano/Mês	Semeadura Direta-SD		Preparo Convencional-CO	
	Set.		Set.	
1998/1999	34,28C		34,33C	
1999/2000	19,97 A		19,73 A	
2000/2001	25,66 B		25,13 B	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste t em nível de 5% de significância.

Na Tabela 8, observa-se que em ambos os sistemas de manejo (CD e CO) o teor de água do solo no mês de setembro mostrou redução nos valores médios do ano agrícola 1998/1999 para 1999/2000, aumentando no último ano agrícola 2000/2001. No ano agrícola 1998/1999 foram verificados os maiores valores de teor de água do solo, o que se supõe estarem associados ao fato do solo apresentar pior condição para o desenvolvimento das plantas do que os anos subsequentes, podendo acumular água na superfície devido à presença de camada compactada e alta densidade do solo, como postulado por Johnson *et al.* (1989). Verificam-se também semelhanças de valores médios de teor de água do solo em ambos os sistemas de manejo, resultados esses, que discordaram dos encontrados por Linn e Doran (1984).

**Tabela 9.** Comparação de médias para densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ), nas áreas com culturas de soja e milho sob sistema de semeadura direta e preparo convencional nos anos agrícolas 1998/1999, 1999/2000 e 2000/2001 (não existe efeito interação vs cultivar).

Ano/Mês	Semeadura Direta-SD		
	Mar.	Maio	Set.
1998/1999	1,35 B	1,94 C	1,82 C
1999/2000	1,15 A	1,16 A	1,59 B
2000/2001	1,33 B	1,38 B	1,36 A

  

Ano/Mês	Preparo Convencional-CO		
	Mar.	Maio	Set.
1998/1999	1,30 B	1,95 C	1,90 C
1999/2000	1,10 A	1,08 A	1,60 B
2000/2001	1,30 B	1,28 B	1,34 A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste t em nível de 5% de significância.

Na Tabela 9 observa-se que os valores médios de densidade do solo decresceram no segundo ano no mês de março do experimento e aumentaram no último ano agrícola (2000/2001), porém os valores médios não alcançaram os obtidos no início do experimento, mostrando melhoria das condições do solo possivelmente pelo efeito do sistema radicular das culturas de milho, aveia e nabo forrageiro em romper as camadas do solo, como relatado por Torres e Saraiva (1999). A redução da densidade do solo pode promover melhor distribuição da quantidade de água no perfil do solo em ambos os sistemas de manejo, o que pode ser evidenciado pela redução do teor de água na camada superficial do

solo nos meses de setembro de cada ano (Tabela 4). Ressalta-se também, no mês de maio, que a densidade do solo decresceu nos anos 1999/2000 e 2000/2001 e no mês de e setembro o solo estava sob efeito das coberturas de inverno, o que pode ter influenciado os valores obtidos. Comparando os valores médios de teor de água e densidade do solo, observou-se que ao serem elevados os valores de densidade do solo, o teor de água do solo aumentou, evidenciando relação direta entre teor de água e densidade do solo. Comportamento semelhante foi encontrado por Jonhson *et al.* (1989) trabalhando em solos argilosos com densidade relativamente alta.

Na Tabela 10, no mês de dezembro, em áreas sob semeadura direta verificam-se maiores valores médios de porosidade do solo no ano 1998/1999 e 2000/2001 e sob preparo convencional, no ano agrícola 1999/2000. Em janeiro, em áreas sob semeadura direta, observam-se maiores valores médios de porosidade do solo no ano agrícolas 1999/2000 e sob preparo convencional nos anos agrícolas 1998/1999 e 1999/2000. Em fevereiro, em áreas sob semeadura direta, percebe-se maior valor médio de porosidade do solo no ano 1999/2000 e sob preparo convencional no ano 2000/2001. Em março, em áreas sob semeadura direta, constata-se maior valor médio de porosidade do solo nos anos 1999/2000 e 2000/2001 e sob preparo convencional no ano 2000/2001. No mês de maio, em áreas sob semeadura direta e preparo convencional, observa-se maior valor médio da porosidade do solo no ano agrícola 1999/2000. Em setembro, em áreas sob semeadura direta e preparo convencional, verifica-se maior valor médio da porosidade do solo no ano 2000/2001. Constata-se, também, em ambos os sistemas de manejo, a partir do mês de janeiro e após o ano agrícola 1998/1999, ano de implantação do experimento, que o solo apresentou acréscimos de porosidade nos anos subsequentes, demonstrando melhorias nas condições para o desenvolvimento das culturas.

**Tabela 10.** Comparação de médias para porosidade do solo (%), nas áreas com culturas de soja sob sistema de semeadura direta e preparo convencional nos anos agrícola 1998/1999, 1999/2000 e milho nos anos agrícola 2000/2001.

Ano/Mês	Semeadura Direta-SD					
	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Maio	Set.
1998/1999	54,64 B	56,59 A	51,32 A	54,40 B	46,45 A	56,09 A
1999/2000	45,78 A	57,74 B	57,79 C	60,44 A	59,87 C	58,99 B
2000/2001	56,03 B	56,00 A	55,05 B	60,66 A	57,77 B	61,89 C

  

Ano/Mês	Preparo Convencional-CO					
	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Maio	Set.
1998/1999	57,10 A	60,36 B	51,03 A	56,48 A	45,82 A	56,14 A
1999/2000	57,91 B	61,09 B	49,93 A	65,17 B	63,12 C	58,51 B
2000/2001	56,03 A	56,89 A	55,33 B	67,52 C	58,11 B	60,88 C

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste t em nível de 5% de significância.

Comparando-se os valores de porosidade com densidade do solo, principalmente nos meses de maio e setembro, verifica-se que à medida que os valores de porosidade do solo aumentaram, a densidade do solo sofreu redução, demonstrando relação inversamente proporcional entre essas propriedades físicas, resultados que concordaram com os obtidos por Johnson *et al.* (1989).

### Conclusão

As variações nas propriedades físicas do solo mostraram relação diretamente proporcional entre teor de água e densidade do solo e inversamente proporcional entre teor de água e densidade do solo com a porosidade do solo. O solo apresentou melhoria de sua condição física pelo acréscimo de porosidade e redução de densidade do solo com o cultivo de aveia preta+nabo forrageiro e milho. O manejo soja/milho em rotação com aveia preta+nabo forrageiro mostrou-se o mais adequado na melhoria das condições físicas do solo do que os sistemas de manejo, uma vez que nenhum dos sistemas destacou-se na melhoria das propriedades físicas avaliadas em todo o período.

### Agradecimentos

À Capes pelo apoio financeiro (concessão de bolsa).

### Referências

- ALVARENGA, R.C. *et al.* Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 20, p. 319-326, 1999.
- CALEGARI, A. Rotação de culturas. *In: Grupo de plantio direto; Federação plantio direto na palha. (Org.). Guia de plantio direto.* São Paulo: Masa S/C, 2000. v. 1, p. 68-78.
- CASTRO, O.M. Preparo do solo para culturas anuais. *In: LOMBARDI NETO, F., DRUGOWICH, M.I. (Coord.). Manual técnico de manejo e conservação de solo e água.* 2. ed. Campinas: CATI, 1994. v. 3, p. 61-87.
- DE MARIA, I.C. *et al.* Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 23, p. 703-709, 1999.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise de solo.*, 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. (Documento, 1).
- JOHNSON, B.S. *et al.* Physical conditions of a Lake Plain soil as affected by deep tillage and wheel traffic. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 53, p. 1545-1551, 1989.
- KIEHL, E.J.L. *Manual de edafologia.* São Paulo: Agronômica Ceres, 1979.
- LINN, D.M.; DORAN, J.W. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 48, p. 1267-1272, 1984.
- MISCHAN, M.M.; PINHO, S.Z. *Experimentação agrônômica: dados não balanceados.* Botucatu: Funbio, 1996.
- MORAES, M.H. *et al.* Influencia de camadas compactadas de subsuperfície no desenvolvimento do sistema radicular de plantas de soja (*Glycine max* L. Merrill). *In: CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO*, 7., 1988, João Pessoa. *Resumos...* Campinas: SBCS, 1988.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CASCAVEL. Proposta para recuperação ambiental da bacia hidrográfica do Rio Cascavel. Cascavel, 1995.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J. Efeito do sistema de cultivo na resistência de um latossolo roxo. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA*, 6., 1998, Brasília. *Resumos...* Brasília: Febrapdp, 1998.
- TORRES, E.; SARAIVA, O.F. *Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja.* Londrina: Embrapa/Soja, 1999. (Circular técnica, n. 23).
- VOORHEES, W.B.; LINDSTROM, M.J. Long term effects of tillage method on soil tilth independent of wheel traffic compaction. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 48, p. 152-156, 1984.

Received on May 19, 2006.

Accepted on April 04, 2007.