

ALTERAÇÕES FÍSICAS E HÍDRICAS DE UM PODZÓLICO EM FUNÇÃO DE SISTEMAS DE PREPARO¹

CARLOS ANDRÉS LEGUIZAMÓN ROJAS², QUIRIJN DE JONG VAN LIER³

RESUMO – Sistemas de preparo do solo diferem quanto à mobilização e grau de cobertura, causando alterações diferenciadas nos atributos físicos do solo, podendo afetar o rendimento das culturas e a qualidade ambiental. Com o objetivo de avaliar alguns destes atributos e a dinâmica de água no ciclo de uma cultura de inverno, no Rio Grande do Sul, conduziu-se um experimento em sistema de preparo convencional e em semeadura direta sobre solo Podzólico Vermelho-amarelo, com três anos de implantação. Nestes tratamentos, situados na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob rotação aveia+ervilhaca/milho, foram retiradas amostras indeformadas, até 0,70 m de profundidade, para a determinação da densidade, curva de retenção de água, distribuição do tamanho de poros e condutividade hidráulica do solo. Foi monitorada a dinâmica da água no ciclo da aveia+ervilhaca, utilizando-se o método gravimétrico a 0,05 m e tensiômetros de 0,10 a 0,70 m, sendo a drenagem interna determinada a 0,60 m. Verificou-se que as diferenças mais significativas nos atributos físicos do solo encontram-se a 0,20 m de profundidade. Nesta profundidade, o preparo convencional resultou em menor macroporosidade, maior microporosidade e maior retenção de água, que foi coincidente com a menor condutividade hidráulica saturada e não saturada, quando comparado com o sistema de semeadura direta. Esta diferenciação nos atributos físicos possibilitou maior umidade, sob preparo convencional, no ciclo da cultura de aveia+ervilhaca, nas profundidades 0,10, 0,20 e 0,30 m, e maior drenagem a 0,60 m, sob semeadura direta. Conclui-se que os três anos de implantação dos sistemas de preparo alteraram, diferenciadamente, os atributos físicos do solo, possibilitando aumentos na retenção de água, sob preparo convencional a 0,20 m, e na drenagem sob semeadura direta a 0,60 m.

Palavras-chave: semeadura direta; manejo convencional, umidade do solo, drenagem.

PHYSICAL AND WATER CONTENT CHANGES IN A RED-YELLOW PODZOLIC SOIL INDUCED BY TILLAGE

ABSTRACT – Soil management systems differ in relation to topsoil mobilization and surface cover, resulting in differences in soil physical attributes that can affect yield and environmental quality. Aiming the evaluation of some of these parameters and soil water dynamics in a winter crop, in southern Brazil, an experiment was conducted at the Estação Experimental Agronômica of Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS-Brazil, on a Red-yellow Podzolic soil under conventional tillage and no-tillage, for three years, both in a maize-oat/vetch rotation. Undisturbed soil samples were used to obtain bulk density, pore size distribution, soil water retention curve and hydraulic conductivity from the surface up to 0.70 m depth, determining the internal drainage at 0.60 m. Soil water dynamics, during the oat/vetch, cycle was monitored using tensiometers. Higher differences were observed at the depth of 0.20 m, where conventional tillage resulted in lower macroporosity and higher microporosity, higher soil water retention, and a lower saturated and unsaturated hydraulic conductivity. These differences led to a higher soil moisture content at 0.10, 0.20 and 0.30 m in conventional tillage, and a faster drainage at 0.60 m for the no-tillage treatment. Therefore, it is concluded that significant physical changes have occurred in the soil after three years of implantation of the tillage systems, with higher water retention, under conventional tillage at 0.20 m, and drainage, under no-tillage.

Key Words: no-tillage; conventional tillage, soil water content, drainage.

INTRODUÇÃO

Diferentes sistemas de preparo causam alterações diferenciadas nos atributos físicos do solo, por afetar o grau de cobertura e mobilização do mesmo, podendo influir, por exemplo, na sua dinâmica da água. Assim, maior retenção de água no solo, quando submetido à semeadura direta e comparado com o preparo convencional, tem sido verificada a campo, por vários autores, principalmente no processo de secagem e nas camadas mais superficiais do solo (BLEVINS et al., 1971; SIDIRAS et al., 1983; SALTON e MIELNICZUK, 1995). Tal fato também tem sido observado atra-

vés da determinação da curva de retenção de água no solo (GANTZER e BLAKE, 1978; HILL et al., 1985; BARCELOS, 1997; AZOOZ et al., 1996). Como causas da maior umidade, sob semeadura direta, são citadas: menor evaporação devido à cobertura do solo (BLEVINS et al., 1971; GANTZER e BLAKE, 1978), maior taxa de infiltração e, conseqüentemente, menor escoamento superficial (HILL, 1990) e maior capacidade de armazenamento (BLEVINS et al., 1971; HILL et al., 1985; AZOOZ et al., 1996).

A drenagem interna é um reflexo das características intrínsecas do perfil de solo, porém é influenciada pelo sistema de preparo utilizado, que

1. Parte da dissertação apresentada pelo primeiro autor para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo, UFRGS, Porto Alegre, RS.

2. Aluno – Curso de Mestrado em Ciência do Solo, Dep. de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Caixa Postal 776, 91501-970 Porto Alegre, RS.

3. Eng. Agr., Dr. – Professor do Departamento de Ciências Exatas, ESALQ-USP, Caixa Postal 9, Piracicaba, SP. Bolsista do CNPq.

Recebido para publicação em 16/12/1998.

pode afetar a infiltração acumulada, a capacidade de armazenamento e a condutividade hidráulica. Pela presença de uma camada compactada abaixo da camada arada, no preparo convencional (SILVA et al., 1986), e de maior porosidade contínua, em semeadura direta (HEARD et al., 1988; LOGSDON et al., 1990; CARTER, 1992), espera-se perda maior de água por drenagem sob semeadura direta, apesar de sua maior capacidade de retenção.

As alterações nos atributos físicos, em sistemas menos mobilizadores do solo, são graduais, sendo reportado por VOORHEES e LINDSTROM (1984) que três a quatro anos, sob semeadura direta, são requeridos para desenvolver uma porosidade mais favorável ao desenvolvimento de raízes na camada 0-0,15 m. Com preparos intensivos, os efeitos nos atributos físicos são imediatos, porém efêmeros no tempo (ADEOYE, 1982).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar as diferenças causadas na dinâmica da água no solo, num ciclo das culturas aveia+ervilhaca por três anos de manejo agrícola com preparo convencional e semeadura direta.

MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se um experimento a campo na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, localizada no município de Eldorado do Sul (RS), a 70 km de Porto Alegre. O solo é um Podzólico Vermelho-amarelo, com teor de argila em torno de 0,20 kg/kg na camada superficial (0-0,3 m) e de, aproximadamente, 0,30 kg/kg na camada subsuperficial (> 0,3 m). A área permaneceu sob vegetação natural por três anos, sendo, no inverno de 1994, dividida em duas parcelas de 22 x 60 m, uma para cada tratamento: o sistema com preparo convencional e o com semeadura direta, ambos com a mesma rotação aveia+ervilhaca/milho. O preparo convencional consistiu de uma lavragem com arado de discos, operando a uma profundidade de 0,15 a 0,20 m e uma gradagem com grade niveladora de discos. No sistema de semeadura direta utilizou-se rolo-faca para acamar os restos de culturas, sendo, em ambos casos, utilizada uma semeadeira-adubadeira de quatro linhas com sistema sulcador de disco combinado com guilhotina.

Após a safra do milho do período 1996/97, foram abertas duas trincheiras em cada tratamento, sendo coletadas amostras indeformadas de solo (cilindros de 0,03 m de altura e de 0,054 m de diâmetro) nas profundidades 0,05 - 0,10 - 0,20 - 0,30 - 0,50 e 0,70 m, com três repetições por profundidade, em cada perfil. Nestas amostras foram determinadas a densidade do solo, pelo método do anel

(BLAKE e HARTGE, 1986), a porosidade total (DANIELSON e SUTHERLAND, 1986) e a curva de retenção de água do solo, segundo CAUDURO e DORFMANN (1988), utilizando funil de placa porosa para as tensões menores que 2 mH₂O e câmara de pressão com placa porosa para as tensões maiores que esse valor, determinando-se um total de nove pontos. Para possibilitar a transformação da umidade volumétrica [θ (m³/m³)] em potencial mátrico [ψ_m (mH₂O)], e vice-versa, ajustaram-se os resultados da curva de retenção à equação de VAN GENUCHTEN (1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + |\alpha\psi_m|^n\right]^m} \quad (1)$$

onde θ_r (m³/m³) é a umidade residual, θ_s (m³/m³) é a umidade de saturação, α (1/mH₂O), m e n são parâmetros empíricos.

A partir da curva de retenção de água, foi obtida a macroporosidade (diferença entre a porosidade total e a umidade volumétrica do solo na tensão de 0,60 mH₂O), a mesoporosidade (diferença entre a umidade volumétrica do solo na tensão de 0,60 mH₂O e -150 mH₂O) e a microporosidade (umidade volumétrica na tensão de 150 mH₂O).

Outra amostragem, seguindo a metodologia anteriormente citada, foi feita 30 dias após a semeadura do milho, na safra 1997/98, para a determinação da condutividade hidráulica saturada do solo, utilizando-se permeâmetro de carga constante (0,048 m), segundo procedimento proposto por KLUTE e DIRKSEN (1986). A condutividade hidráulica de solo não saturado foi determinada a partir da condutividade hidráulica saturada e a curva de retenção de água no solo, segundo procedimento apresentado por VAN GENUCHTEN

$$K(\theta) = K_o \omega^l \left[1 - (1 - \omega^{1/m})^m\right]^2$$

(1980), através da seguinte expressão:

onde $K(\theta)$ (m/dia) é a condutividade hidráulica do solo em função da umidade; K_o (m/dia) é a condutividade hidráulica saturada; l é um parâmetro empírico [$l = 0,5$, de acordo com MUALEM (1976)]; m é o parâmetro de ajuste da curva de retenção (equação 1); θ (m³/m³) é a umidade do solo; θ_r , θ_s (m³/m³) são as umidades volumétricas residual e de saturação, respectivamente. O parâmetro adimensional ω representa a umidade relativa e é calculado através da equação:

$$\omega = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

Para o acompanhamento da umidade, ao longo do ciclo da cultura, instalaram-se dois conjuntos de tensiômetros com manômetro de mercúrio em cada tratamento, nas profundidades de 0,10 - 0,20 - 0,30 - 0,50 e 0,70 m, sendo realizadas leituras pelo menos três vezes por semana. A partir do potencial mátrico obtido dos tensiômetros e os dados da curva de retenção de água, foi estimada a umidade no ciclo da cultura de aveia+ervilhaca. A 0,05 m de profundidade a umidade foi obtida pelo método gravimétrico, por meio de tradagens.

A drenagem interna no ciclo da cultura de aveia+ervilhaca foi obtida a partir da equação de Darcy-Buckingham, considerando-se apenas o fluxo vertical:

$$q = -K \frac{d\psi}{dz}$$

onde q (m/dia) é a densidade de fluxo; K (m/dia) é condutividade hidráulica do solo; $\frac{d\psi}{dz}$ mH₂O/m é o gradiente de potencial total da água do solo na direção vertical.

Para verificar o nível de significância de diferença entre médias das medições feitas utilizou-se o teste t nos níveis de significância de 0,05, 0,10 e 0,20.

No contexto de outro estudo na mesma área, coletaram-se, nas mesmas trincheiras, amostras deformadas para a análise granulométrica do solo. Verificaram-se diferenças significativas entre elas, que devem ser levadas em consideração na discussão do presente estudo. Os principais resultados dessa análise estão na Tabela 1.

TABELA 1 – Dados granulométricos do solo sob semeadura direta (SD) e preparo convencional (PC)

Profundidade m	Areia		Silte		Argila	
	SD	PC	SD	PC	SD	PC
	---- kg/kg ----		---- kg/kg ----		---- kg/kg ----	
0,05	0,588	0,498	0,253	0,301	0,159	0,201
0,10	0,600	0,498	0,241	0,302	0,159	0,200
0,20	0,582	0,493	0,233	0,299	0,185	0,208
0,30	0,561	0,484	0,239	0,240	0,200	0,276

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade do solo, distribuição do diâmetro de poros e retenção da água

Na determinação da densidade do solo verificou-se menor valor deste parâmetro sob preparo convencional, a 0,05 m de profundidade

($P < 0,05$) e a 0,10 m ($P < 0,20$) (Tabela 2), e maior valor ($P < 0,20$) abaixo da camada preparada, quando comparado com o sistema de semeadura direta. Existe, portanto, evidência da formação de um gradiente na densidade do solo sob preparo convencional, permanecendo mais uniforme sob semeadura direta, na camada 0-0,30 m.

TABELA 2 – Densidade do solo e porosidade total sob semeadura direta (SD) e preparo convencional (PC)

Profund.	Densidade do solo		Sig. ¹	Porosidade total		Sig. ¹
	SD	PC		SD	PC	
	---- kg/m ³ ----			---- m ³ /m ³ ----		
0,05	1547	1464	***	0,405	0,431	*
0,10	1568	1451	*	0,398	0,442	
0,20	1569	1652	*	0,391	0,358	
0,30	1533	1561	*	0,406	0,395	

¹ Diferença significativa pelo teste t: $P < 0,05$ (***), $P < 0,20$ (*).

A porosidade total foi superior no preparo convencional, apenas na profundidade de 0,05 m ($P < 0,20$). Macro, micro e mesoporosidade foram determinadas através das curvas de retenção, cujos parâmetros de ajuste encontram-se na Tabela 3. A macroporosidade foi superior sob semeadura direta ($P < 0,05$) a 0,20 e 0,30 m de profundidade

(Tabela 4). Esse comportamento também foi observado por outros autores (NEGI et al., 1981; DERPSCHE et al., 1986; BARBER et al., 1996). Para a mesoporosidade encontrou-se maior valor sob semeadura direta, nas profundidades de 0,05 m ($P < 0,05$) e de 0,30 m ($P < 0,10$). Isto indica uma tendência de maior retenção de água disponível

para as plantas sob semeadura direta na camada 0-0,30 m, corroborando resultados de HILL et al. (1985), DERPSCHE et al. (1986) e ZHAI et al. (1990). O volume de microporos foi superior sob preparo convencional ($P < 0,05$), na camada 0-0,30 m, representando 39 e 54% da porosidade total para as camadas 0-0,10 m e 0,20-0,30 m, respectivamente (Tabela 4). A

maior microporosidade sob preparo convencional, em comparação com a semeadura direta, pode dever-se, na camada preparada, à desestruturação do solo pela mobilização e ao teor de argila de 0,04 kg/kg mais alto para esta camada; abaixo da camada preparada, ao efeito do teor de argila, 0,07 kg/kg mais alto sob este tratamento nesta camada.

TABELA 3 – Parâmetros da equação (1) e condutividade hidráulica saturada (K_0) para o tratamento com preparo convencional (PC) e com semeadura direta (SD), em 4 profundidades

Profundidade	0,05 m		0,10 m		0,20 m		0,30 m	
	PC	SD	PC	SD	PC	SD	PC	SD
α ($1/m_{H_2O}$)	9,46	9,93	37,62	12,05	3,57	15,12	9,91	21,03
m	0,3382	0,2876	0,2043	0,2928	0,3257	0,2522	0,2866	0,2306
n	1,5111	1,4038	1,2568	1,4140	1,4831	1,3373	1,4018	1,2997
θ_r (m^3/m^3)	0,161	0,125	0,133	0,125	0,193	0,124	0,197	0,130
θ_s (m^3/m^3)	0,432	0,404	0,441	0,394	0,383	0,390	0,391	0,404
K_0 (m/dia)	1,899	0,569	0,395	1,839	0,031	0,985	1,023	0,460

TABELA 4 – Macroporosidade, mesoporosidade e microporosidade sob semeadura direta (SD) e preparo convencional (PC)

Prof.	Macroporosidade			Mesoporosidade			Microporosidade		
	SD	PC	Sig ¹	SD	PC	Sig ¹	SD	PC	Sig ¹
m	--- m^3/m^3 ---			--- m^3/m^3 ---			--- m^3/m^3 ---		
0,05	0,158	0,162		0,118	0,103	***	0,128	0,166	***
0,10	0,164	0,171		0,105	0,101		0,129	0,170	***
0,20	0,147	0,050	***	0,108	0,108		0,137	0,200	***
0,30	0,149	0,103	***	0,103	0,083	**	0,154	0,210	***

¹ Diferença significativa pelo teste t: $P < 0,05$ (***), $P < 0,10$ (**).

Condutividade hidráulica

Encontrou-se tendência de maior condutividade hidráulica sob semeadura direta, nas profundidades de 0,10 e 0,20 m, em toda a faixa de umidade avaliada (Figura 1), quando comparada com o preparo convencional. Isto está relacionado com a maior condutividade hidráulica saturada, a 0,20 m ($P < 0,05$) e a 0,10 m ($P < 0,20$), a uma continuidade maior da macroporosidade sob semeadura direta e à maior microporosidade sob preparo convencional. A 0,20 m encontrou-se o valor de condutividade hidráulica saturada de 0,985 m/dia para a semeadura direta, mais de 30 vezes superior aos 0,031 m/dia encontrados para o preparo convencional.

Nas profundidades de 0,05 e 0,30 m verificou-se maior condutividade hidráulica sob o preparo convencional na faixa mais úmida até, aproximadamente, 0,25 m^3/m^3 de umidade, correspondendo com a maior condutividade hidráulica saturada ($P < 0,10$) sob este sistema de preparo. Porém, observa-se que, em menor umidade, a condutividade

hidráulica é superior sob semeadura direta. Isto pode dever-se ao fato de a água encontrar-se já retida nos microporos, no preparo convencional, existindo maior força de atração entre as moléculas de água e sólidos, reduzindo a facilidade de transmissão de água no solo.

Umidade do solo

A 0,05 m de profundidade o teor de água, ao longo do ciclo da cultura, foi ligeiramente superior sob semeadura direta em relação ao preparo convencional (Figura 2). Este resultado deve-se à maior cobertura do solo em semeadura direta, que diminui a evaporação, considerando que as maiores diferenças de umidade ocorreram, quando o solo estava em processo de secagem (BOND e WILLIS, 1969; BRAGAGNOLO e MIELNICZUK, 1990; FORTIN, 1993; SAUER et al., 1996). Diferenciação mais clara não aconteceu pela baixa demanda evaporativa no ciclo (de inverno) avaliado.

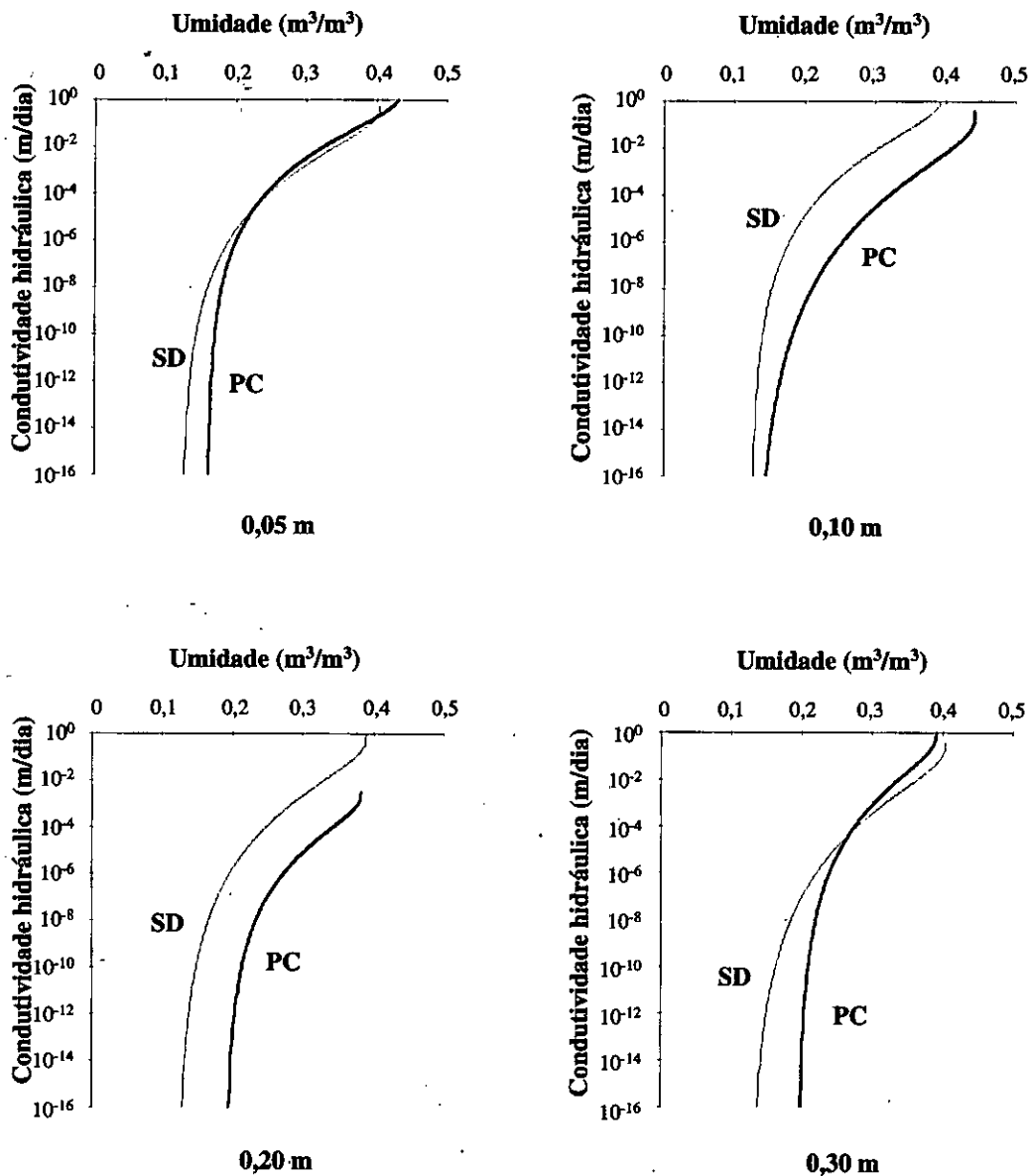


FIGURA 1 – Condutividade hidráulica do solo em função da umidade, para tratamentos sob semeadura direta (SD) e preparo convencional (PC), nas profundidades de 0,05, 0,10, 0,20 e 0,30 m

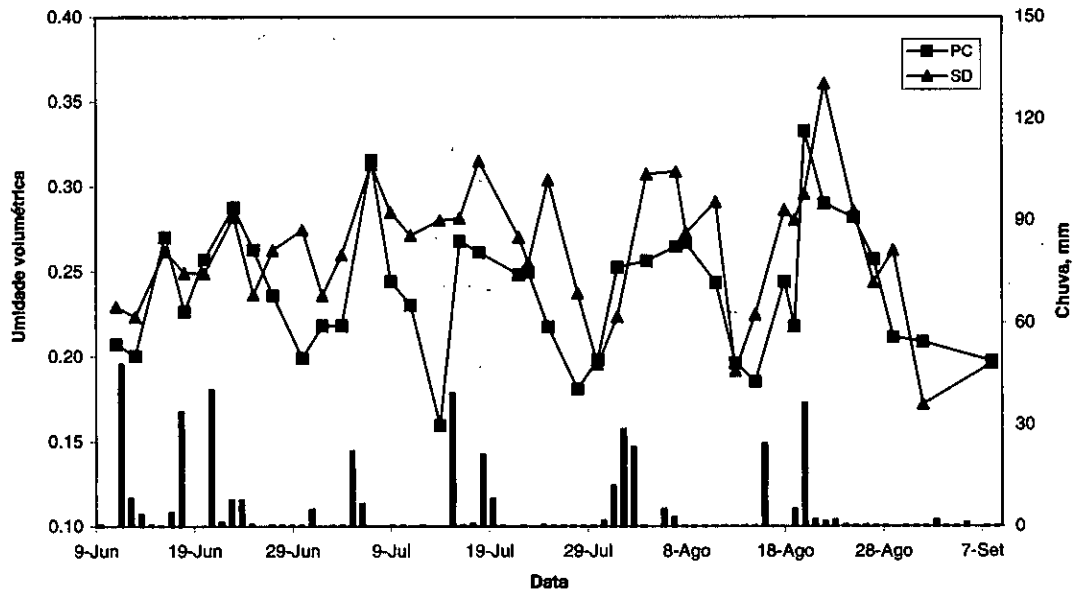


FIGURA 2 – Umidade volumétrica e chuva no ciclo de aveia+ervilhaca, sob semeadura direta (SD) e preparo convencional (PC), na profundidade de 0,05 m

Nas profundidades de 0,10, 0,20 e 0,30 m encontrou-se tendência de maior umidade do solo sob preparo convencional, no ciclo da aveia+ervilhaca, sendo mais clara a diferença a 0,20 m (Figuras 3 a 5). Analisando-se a curva de retenção de água (Figuras 6 a 9), verifica-se que esta também foi significativamente superior ($P < 0,05$) no preparo convencional, para os potenciais mátricos mais negativos que $-0,40$, $-0,20$ e $-1,00$ mH_2O , respectivamente para as profundidades 0,10, 0,20 e 0,30 m, coincidindo com os resultados a campo. Esta maior retenção de água, sob preparo convencional, dá-se, principalmente, pelo maior volume de microporos. FARIAS (1981) também encontrou maior retenção de água sob preparo convencional. Porém, maior retenção de água sob semeadura direta é a mais encontrada na literatura (BLEVINS et al., 1971; SIDIRAS et al., 1983; ZHAI et al., 1990; SALTON e MIELNICZUK, 1995).

A maior umidade, sob preparo convencional a campo, deve-se à baixa condutividade hidráulica, principalmente na profundidade de 0,20 m, o que causou acúmulo de água nas camadas superiores, considerando que as chuvas, durante a época avaliada, foram muito frequentes; também ao maior volume de microporos encontrado neste sistema de preparo. Durante o ciclo de aveia+ervilhaca a umidade manteve-se em torno da capacidade de campo, principalmente a 0,20 m, e longe do ponto de murcha permanente calculado em $0,137$ e $0,186$ m^3/m^3 , respectivamente, para semeadura direta e preparo convencional. Também pode ter influenciado a tendência de maior condutividade hidráulica não saturada sob semeadura direta, principalmente a 0,10 e 0,20 m de profundidade.

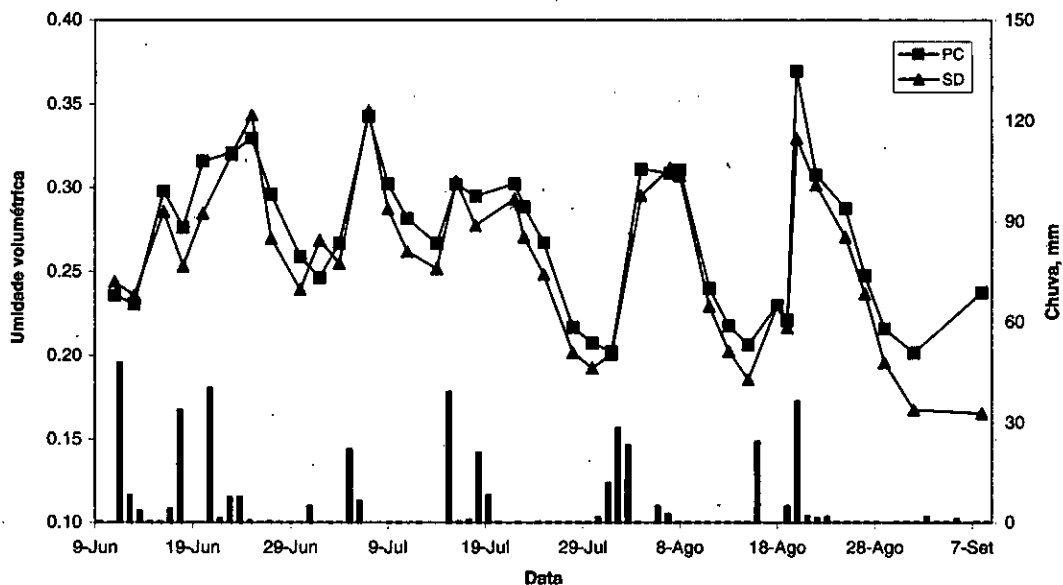


FIGURA 3 – Umidade volumétrica e chuva no ciclo de aveia+ervilhaca, sob semeadura direta (SD) e preparo convencional (PC), na profundidade de 0,10 m

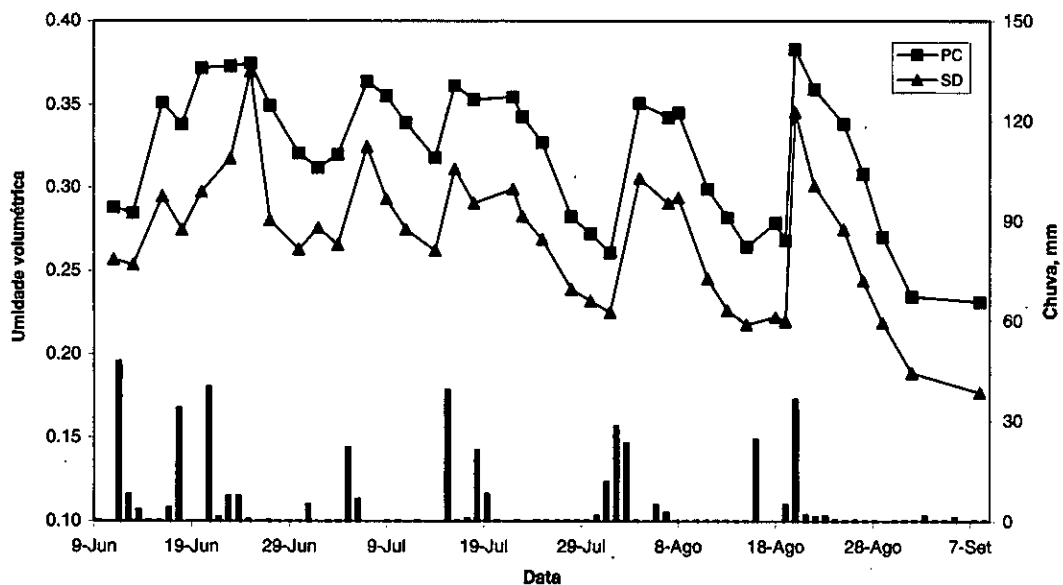


FIGURA 4 – Umidade volumétrica e chuva no ciclo de aveia+ervilhaca, sob semeadura direta (SD) e preparo convencional (PC), na profundidade de 0,20 m

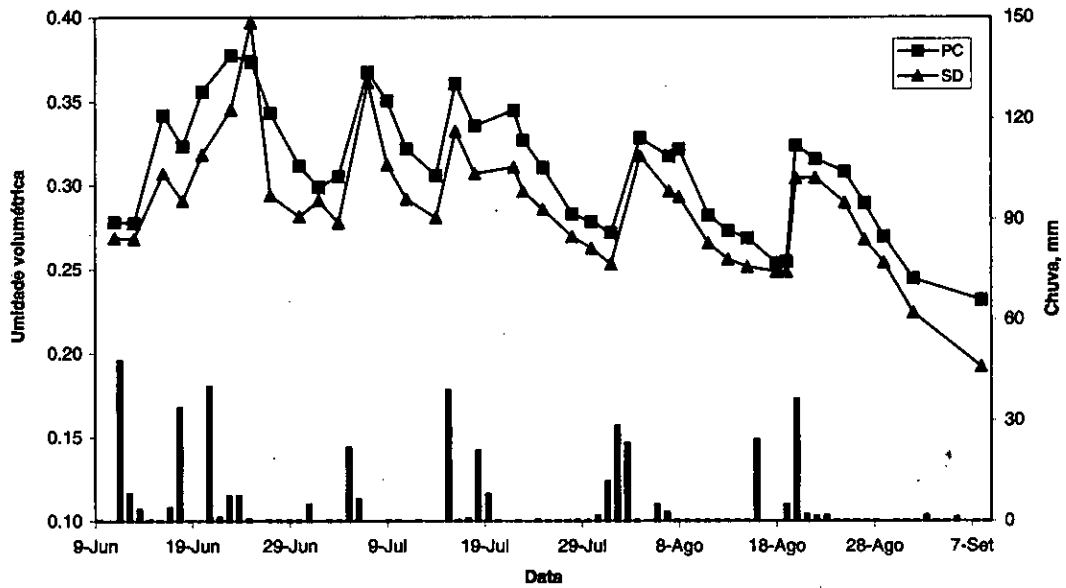
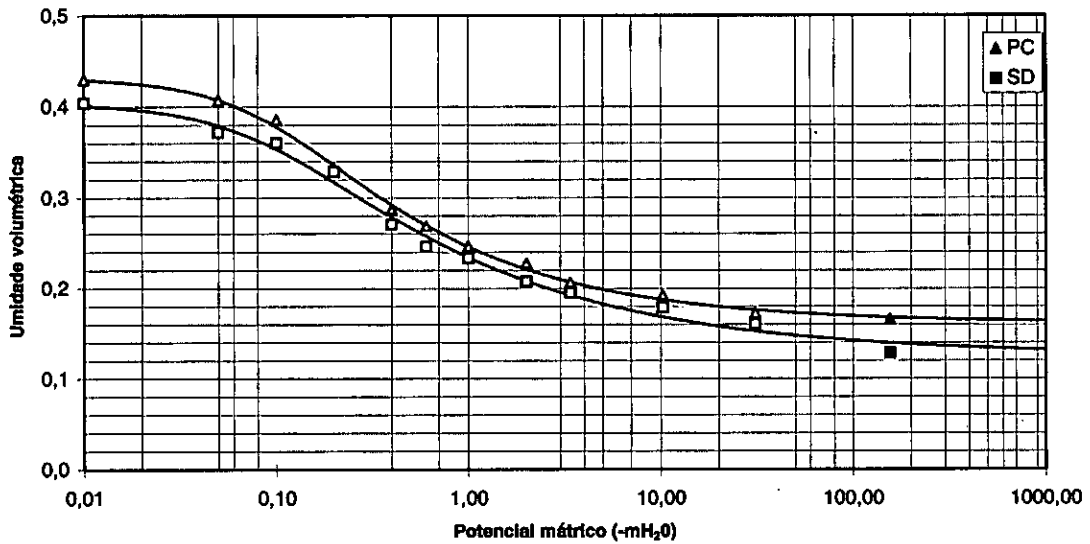


FIGURA 5 – Umidade volumétrica e chuva no ciclo de aveia+ervilhaca, sob semeadura direta (SD) e preparo convencional (PC), na profundidade de 0,30 m



Entre pontos cheios, no mesmo potencial mátrico, a diferença é significativa pelo teste t ($P < 0,05$)

FIGURA 6 – Curva de retenção de água no solo, em sistema de semeadura direta (SD) e preparo convencional (PC), na profundidade de 0,05 m

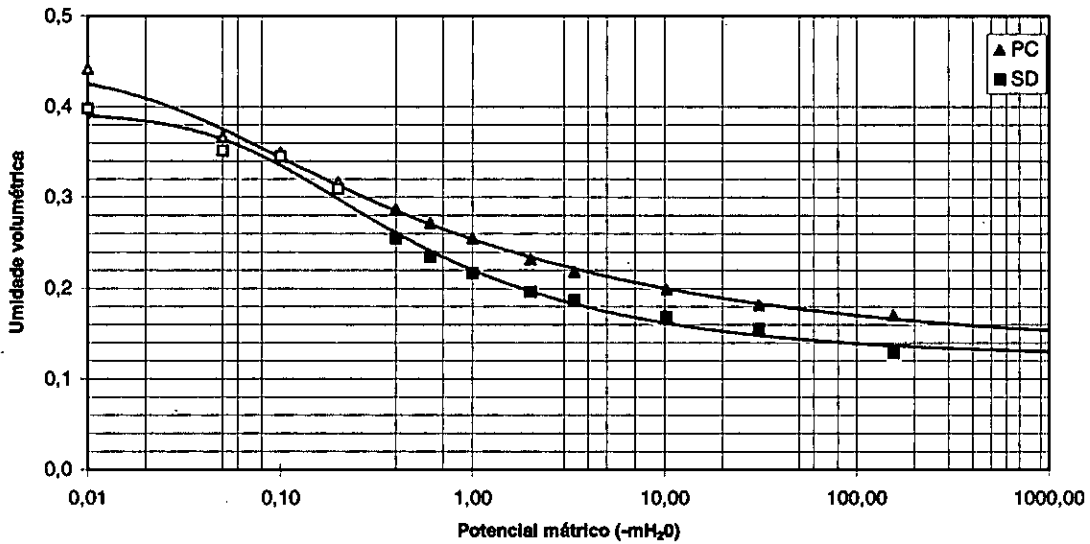
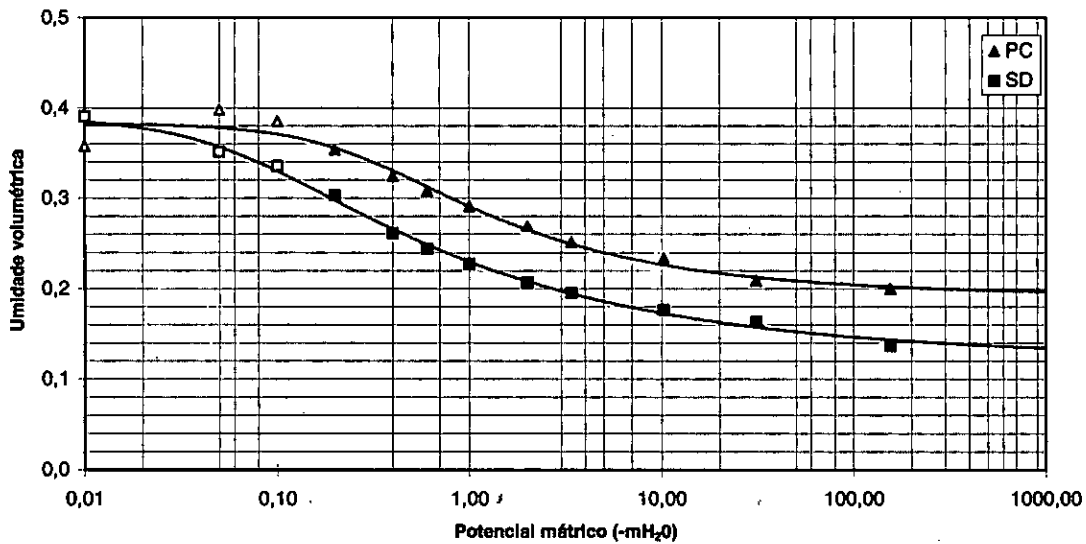
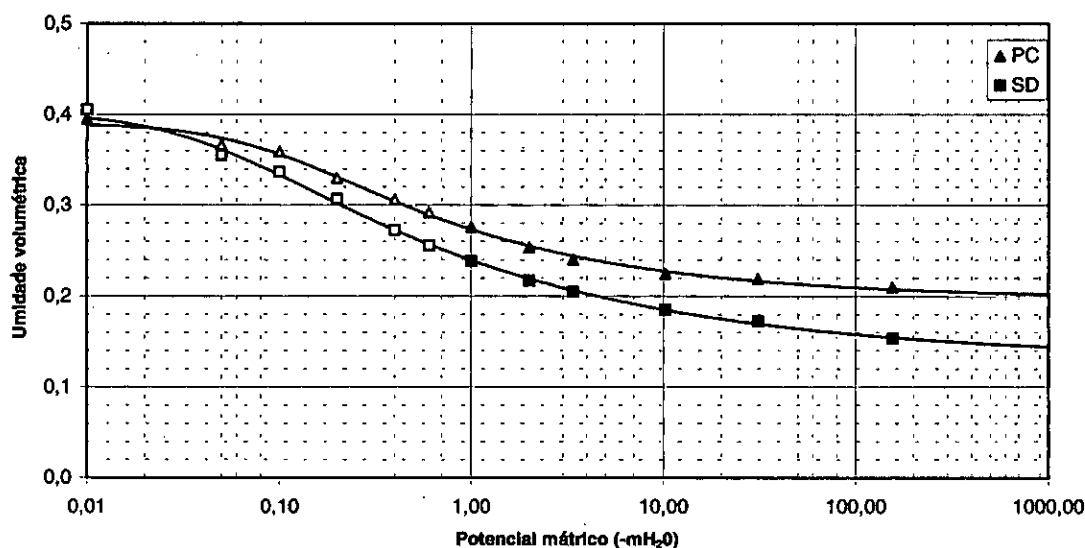


FIGURA 7 – Curva de retenção de água no solo, em sistema de semeadura direta (SD) e preparo convencional (PC), na profundidade de 0,10 m



Entre pontos cheios, no mesmo potencial mátrico, a diferença é significativa pelo teste t ($P < 0,05$)

FIGURA 8 – Curva de retenção de água no solo, em sistema de semeadura direta (SD) e preparo convencional (PC), na profundidade de 0,20 m



Entre pontos cheios, no mesmo potencial mátrico, a diferença é significativa pelo teste t ($P < 0,05$)

FIGURA 9 – Curva de retenção de água no solo, em sistema de sementeira direta (SD) e preparo convencional (PC), na profundidade de 0,30 m

Drenagem interna

A determinação da drenagem interna foi prejudicada no período 24-27/06 e 15-22/07 pelo alto teor de água, resultando em valores de condutividade hidráulica muito altos que, por sua vez, causaram fluxo de água grandes e mudanças rápidas de umidade, superando a frequência de observação de três vezes por semana, resultando em perda de informação. Desconsiderando este período, verificaram-se valores de drenagem interna de 157 e 206 mm a 0,60 m de profundidade, em perfis sob sementeira direta, e de 39,2 e 1,5 mm

em perfis sob preparo convencional no ciclo da cultura de aveia+ervilhaca (Tabela 5), constatando-se tendência de maior perda de água por drenagem sob sementeira direta. Este comportamento é coerente com as alterações nos atributos físico-hídricos encontrados sob os sistemas de preparo na camada de 0-0,30 m, sendo encontrada no preparo convencional menor macroporosidade e condutividade hidráulica, logo abaixo da camada preparada, e maior a microporosidade na camada 0-0,31 m, provocando diminuição da drenagem e aumento da armazenagem de água no solo, nas condições meteorológicas avaliadas.

TABELA 5 – Drenagem interna a 0,60 m, em dois perfis, sob sementeira direta e preparo convencional

Data	Sementeira direta		Preparo convencional	
	Perfil A	Perfil B	Perfil C	Perfil D
	----- mm -----			
11/06-23/06	33,69	116,22	21,76	0,63
28/06-14/07	98,23	37,74	10,30	0,43
23/07-07/08	9,79	33,12	6,23	0,30
08/08-22/08	13,11	14,39	0,92	0,10
23/08-08/09	2,22	4,53	0,03	0,03
Total parcial ¹	157	206	39,20	1,5

¹Valor de drenagem no ciclo da aveia+ervilhaca, excluindo os intervalos de leitura de 24-27/06 e 15-22/07.

CONCLUSÕES

Quando comparam-se os sistemas de semeadura direta e preparo convencional, com três anos de estabelecimento, encontram-se diferenças nos atributos físicos do solo, destacando-se, no preparo convencional: menor macroporosidade, logo abaixo da camada mobilizada; menor condutividade hidráulica saturada e não saturada a 0,20 m; maior microporosidade na camada 0-0,30 m; maior retenção de água nas profundidades 0,10, 0,20 e 0,30 m.

Estas alterações físicas produzem maior umidade no ciclo da cultura de inverno, principalmente a 0,20 m, sob o preparo convencional, e maior drenagem interna, sob semeadura direta, a 0,60 m de profundidade, nas condições meteorológicas encontradas.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ADEOYE, K.B. Effect of tillage depth on physical properties of a tropical soil and on yield of maize, sorghum and cotton. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.2, p.225-231, 1982.
- AZOOZ, R.H.; ARSHAD, M.A.; FRANZLUEBBERS, A.J. Pore size distribution and hydraulic conductivity affected by tillage in Northwestern Canada. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.60, p.1197-1201, 1996.
- BARBER, R.G.; ORELLAN, M.; NAVARRO, F.; DIAZ, O.; SORUCO, M.A. Effects of conservation and conventional tillage systems after land clearing on soil properties and crop yield in Santa Cruz, Bolivia. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.38, p.133-152, 1996.
- BARCELOS, A.A. *Infiltração de água em um latossolo, sob chuva de alta intensidade, em diferentes sistemas de manejo*. Porto Alegre: UFRGS, 1996. 111p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1997.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density In: KLUTE, A. (Ed.) *Methods of soil analysis: Part 1 - Physical and mineralogical methods*. Madison: SSSA, 1986. p.363-375. (Agronomy, Monogr. 9)
- BLEVINS, R.L.; COOK, D.; PHILLIPS, S.H.; PHILLIPS, R.E. Influence of no-tillage on soil moisture. *Agronomy Journal*, Madison, v.63, p.593-596, 1971.
- BOND, J.J.; WILLIS, W.O. Soil water evaporation: surface residue rate and placement effect. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.33, p.445-448, 1969.
- BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências culturais e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.14, p.91-98, 1990.
- CARTER, M.R. Characterizing the soil physical condition in reduced tillage systems for winter wheat on a fine sandy loam using small cores. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.72, p.395-402, 1992.
- CAUDURO, F.A.; DORFMANN, R. Retenção de água pelo solo. In: *Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem*. Brasília: PRONI/MA, 1988. 216p.
- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.) *Methods of soil analysis: part 1 - Physical and mineralogical methods*. Madison: SSSA, 1986. p. 443-461. (Agronomy, Monogr. 9)
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C.H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná Brazil. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.8, p.253-263, 1986.
- FARIAS, G.S. *Efeito de sistemas de cultivo sobre a porosidade e retenção de água de um solo laterítico bruno avermelhado distrófico*. Porto Alegre, 1981. 95p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1981.
- FORTIN, M.C. Soil temperature, soil water, and no-till corn development following in-row residue removal. *Agronomy Journal*, Madison, v.85, p.571-576, 1993.
- GANTZER, C.J.; BLAKE, G.R. Physical characteristics of Le secur Clay Loam Soil following no-till and conventional tillage. *Agronomy Journal*, Madison, v.70, p.853-857, 1978.
- HEARD, J.R.; KLADIVKO, E.J.; MANNERING, J.V. Soil macroporosity, hydraulic conductivity and air permeability of silty soils under long-term conservation tillage in Indiana. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.11, p.1-18, 1988.
- HILL, R.L. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.54, p.161-166, 1990.
- HILL, R.L.; HORTON, R.; CRUSE, R.M. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two Mollisols. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.49, p.1264-1270, 1985.
- KLUTE, A.; DIRKSEN, C. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods In: KLUTE, A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis: Part 1 - Physical and mineralogical methods*. Madison: SSSA, 1986. p. 687-734. (Agronomy, Monogr. 9)
- LOGSDON, S.D.; ALLMARAS, R.R.; WU, L.; RANDALL, J.B. Macroporosity and its relation to saturated hydraulic conductivity under different tillage practices. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.54, p.1096-1101, 1990.
- MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research*, Washington, v.12, p.513-522, 1976.
- NEGI, S.C.; RAGHAVAN, G.S.V.; TAYLOR, F. Hydraulic characteristics of conventionally and zero-tilled field plots. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.2, p.281-292, 1981.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico vermelho-escuro de Eldorado do Sul (RS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.19, p.313-319, 1995.
- SAUER, T.J.; HATFIELD, J.L.; PRUEGER, J.H. Corn residue and placement effects on evaporation and soil thermal regime. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.60, p.1558-1564, 1996.
- SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em Latossolo Roxo Distrófico (Oxisol). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.7, p.103-106, 1983.
- SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.10, p.91-95, 1986.
- VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.44, p.892-898, 1980.
- VOORHEES, W.B.; LINDSTROM, M.J. Long-term effects of tillage method on soil tilt independent of wheel traffic compaction. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.48, p.152-156, 1984.
- ZHAI, R.; KACHANOSKI, R.G.; VORONEY, R.P. Tillage effects on the spatial and temporal variations of soil water. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.54, p.186-192, 1990.