

SISTEMAS DE PREPARO DE SOLOS DE CERRADO: EFEITOS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E NA CULTURA DO MILHO¹

JOSÉ FREDERICO CENTURION² e JOSÉ LUIZ IORIATTI DEMATTÊ³

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de sistemas de preparo do solo (submetidos ou não à subsolagem) nas propriedades físicas de um solo sob cerrado, cultivado com milho, no ano agrícola de 1986/87, no município de Selvíria, MS. Observaram-se também as alterações ocasionadas pelo manejo desse solo (Latosolo Vermelho-Escuro, argiloso) após nove anos de cultivo, em relação ao seu estado natural. O experimento constou de seis sistemas de preparo do solo: convencional, superpreparo, invertido, enxada rotativa, reduzido e semeadura direta. Aliada a tais sistemas testou-se a subsolagem. O sistema invertido de preparo proporcionou um melhor rendimento de grãos de milho, ao passo que a semeadura direta apresentou os menores rendimentos. A subsolagem só surtiu efeito em termos de produtividade no sistema de semeadura direta. Todas as formas de preparo degradaram as propriedades físicas do solo em relação ao seu estado natural.

Termos para indexação: manejo do solo, *Zea mays*.

EFFECTS OF PREPARATION SYSTEMS ON THE PHYSICAL PROPERTIES AND ON THE CORN CROP IN A SOIL UNDER "CERRADO" VEGETATION

ABSTRACT - The purpose of this work was to assess the effects of soil preparation methods (with or without subsoiling) on physical properties of a "cerrado soil" cropped to corn during the 1986/87 season, in the Selvíria county (Mato Grosso do Sul, Brazil). Also, the objective of this was to check the changes in the soil (dark red latosol-Acrustox) caused by the preparation after nine years of cultivation in comparison with natural state. The experiment consisted of six soil preparation systems: conventional, superpreparation, reversed, revolving hoe, reduced and no-tillage. Along with these systems subsoiling was also tested. The reversed system showed the best corn grain yield. Subsoiling only presented positive results in productivity with the no-tillage system. All the preparation system tested degraded the physical properties in comparison with the natural soil.

Index terms: soil management, *Zea mays*.

INTRODUÇÃO

Com a utilização de novas fronteiras agrícolas, os solos sob vegetação de cerrados estão sendo rapidamente incorporados ao processo produtivo do País. É iminente a necessidade de adoção de tecnologia moderna para o sucesso da agricultura nesta região.

Dentre as técnicas modernas, a mecanização intensa tem sido uma constante. Entretanto, muitas vezes a produtividade é comprometida pelo excesso ou pela inadequação de práticas a que o solo é submetido, desde o seu preparo até a colheita da cultura que nele se estabeleceu. Embora o objetivo do preparo do solo seja alterar algumas de suas propriedades físicas, conferindo-lhes novas condições que favoreçam o crescimento e desenvolvimento das plantas, via de regra ele tem proporcionado deterioração dessas propriedades.

Os fatores relacionados com o preparo do solo que podem causar modificações físicas no perfil são: intensidade de revolvimento, tipo de equipamento, manejo de resíduos vegetais e

¹ Aceito para publicação em 8 de agosto de 1991. Extraído da tese de Doutorado do primeiro autor, ESALQ/USP, nov./1988.

² Eng. - Agr., Dr., UNESP/Fac. de Ciências Agrárias e Veterinárias, Dep. de Solos e Adubos, Rod. Carlos Tonanni, Km 5, s/nº, CEP 14870 Jaboticabal, SP.

³ Eng. - Agr., Ph.D., ESALQ/USP. Titular no Dep. de Geologia, Solos e Fertil. CEP 13400 Piracicaba, SP.

condições de umidade do solo no momento do trabalho, segundo Vieira (1985).

O cultivo intensivo do solo provoca alteração de suas propriedades físicas, com conseqüente redução da porosidade total e macroporosidade, bem como aumento da microporosidade (Laws & Evans 1949, Machado 1976 e Machado & Brum 1978).

Para Abrão et al. (1979), uma das formas de diminuir a alteração da estrutura do solo é reduzir o preparo, podendo-se chegar à semeadura direta.

Visando contribuir para definir formas adequadas de manejo para solos de cerrado, foi conduzida esta pesquisa. Os objetivos aqui pretendidos são os de estudar os efeitos do preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro, cultivado com milho, no município de Selvíria, estado de Mato Grosso do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e descrição da área experimental

O trabalho foi conduzido na área experimental da UNESP - Campus de Ilha Solteira, situada no município de Selvíria, MS, em Latossolo Vermelho-Escuro álico, textura argilosa (Acrustox).

Os sistemas empregados para o preparo do solo, com as respectivas operações, foram o convencional (SC): aração, gradagens pesada e niveladora; reduzido (SR): gradagens pesada e niveladora; semeadura direta (SD): roçada e aplicação de herbicida; super-preparo (SP): duas arações, gradagens pesada e niveladora; invertido (SI): gradagem pesada, aração e niveladora e enxada rotativa (ER): gradagem pesada, enxada rotativa e niveladora.

Cada parcela experimental foi subdividida, sendo metade da área submetida à subsolagem (+S). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso (Pimentel-Gomes 1977), com parcelas subdivididas, tendo como tratamentos principais os sistemas de preparo do solo (SC, SP, SD, SI, SR e ER), e tendo a subsolagem como tratamento secundário.

Práticas culturais

O milho híbrido AG401 foi semeado em todos os tratamentos em 11.12.86, no espaçamento de 90 cm

entre linhas com a semeadora-adubadora de plantio direto, marca Baldan, modelo SPD F/A 1.600.

Procurou-se fazer com que a linha de semeadura coincidissem com as faixas de solo trabalhado pelas hastes do subsolador. Assim, as linhas e entrelinhas do tratamento secundário foram subsoladas, em função dos espaçamentos das hastes do subsolador (45 cm) e das linhas da semeadora (90 cm).

O controle de plantas daninhas foi feito empregando-se uma mistura dos herbicidas 2,4D + glyphosate (1,96 kg/ha do i.a.) para o sistema de semeadura direta e alachlor + atrazine (3,84 kg/ha do i.a.) em pré-emergência, para os demais sistemas de preparo.

Analisaram-se as principais propriedades físicas do solo, submetido aos diferentes sistemas de preparo estudados, bem como no solo em seu estado natural (SN), ou seja, sob vegetação de cerrado.

A densidade do solo foi determinada em quatro repetições, através do método do anel volumétrico, em amostras retiradas na linha da cultura às profundidades de 0 a 3, 10 a 13, 20 a 23 e 30 a 33 cm.

Nas mesmas profundidades, com dez leituras por subparcela, foram feitas as determinações da resistência do solo à penetração, avaliada com penetrômetro Solotest-210, com um diâmetro de base do cone de 2,4 cm e uma profundidade de penetração de 5,5 cm. A aplicação do penetrômetro foi realizada perpendicularmente à superfície do solo.

Também foram realizadas algumas determinações físico-hídricas. As amostras de solo foram coletadas em duas repetições, no início do ciclo da cultura, às profundidades de 0 a 3, 10 a 13, 20 a 23 e 30 a 33 cm. Após saturadas, foram colocadas em funis de placa porosa (funil de Buchner) e submetidas às tensões de 0,001 e 0,006 MPa, segundo Reichardt (1975). Para determinação dos teores de umidade referentes às tensões 0,01; 0,033; 0,06 e 0,1 MPa, foi empregada a placa porosa de Richards (1947).

Para medida de umidade no campo, foi instalada em cada tratamento, uma bateria de quatro tensiômetros com manômetro de mercúrio, os quais foram lidos diariamente.

A umidade do solo foi determinada pela interpolação dos valores do potencial matricial à curva de retenção da água.

Os valores de macro e microporosidade foram obtidos a partir dos dados da curva de retenção de água, considerando-se como microporosidade o volume relativo de água retida no solo à tensão de 0,006 MPa. A macroporosidade foi determinada pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa

do solo submetido à tensão de 0,006 MPa. A porosidade total avaliada é expressa pela soma da micro e da macroporosidade.

Na determinação da taxa de infiltração de água no solo, utilizou-se, em duas repetições, o método de inundação com infiltrômetro de duplos cilindros concêntricos, descrito por Bertrand (1965).

A colheita do milho foi feita manualmente em 14.05.87. Esta operação foi realizada na área útil de cada subparcela, ou seja, 54 m². O peso dos grãos foi ajustado para 12% de umidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de resistência e densidade do solo, (Fig. 1 e Tabela 1) mostram que houve tendência à formação de uma camada mais compacta em diferentes profundidades do solo em todos os sistemas de preparo. A intensida-

de desta compactação é variável com a profundidade de atuação dos diversos implementos utilizados no preparo do solo.

Assim, em sistemas em que foi empregada a grade pesada (SR, ER, SC, SP, SI), detectaram-se compactações entre 10 e 15 cm. Esta é denominada "pé-de-grade" e ocorreu por ter sido feito o preparo com grade pesada (aradora), que com o uso contínuo tende a formar camada compactada, como relatam Centurion (1984), Mazuchowski & Derpsch (1984) e Seguy et al. (1984). Também ocorreu, embora com menos intensidade, no SC e SP, a formação de "pé-de-arado", comum onde se utiliza este implemento na mesma área por vários anos, confirmando os resultados de Mazuchowski & Derpsch (1984), Centurion (1987) e Castro et al. (1987).

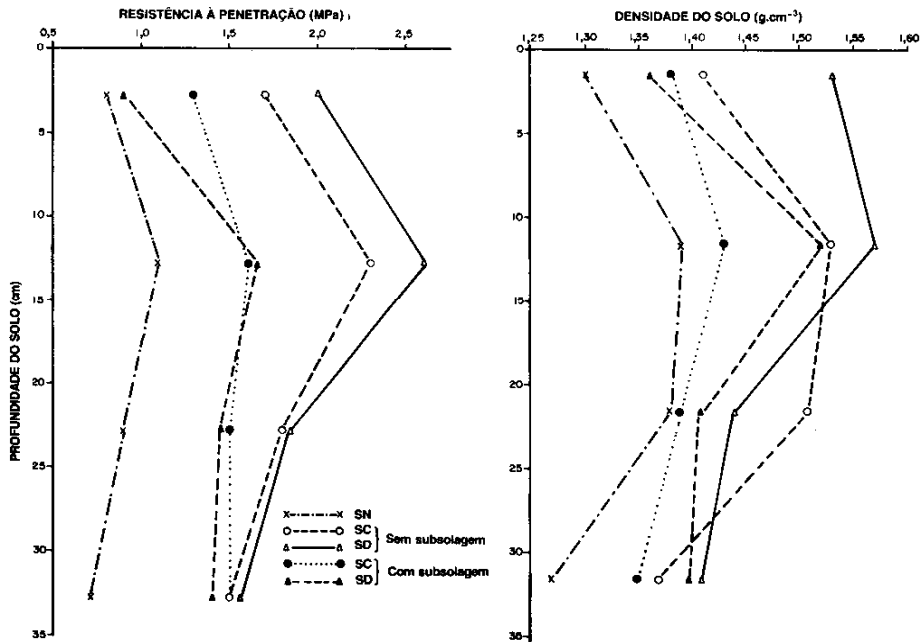


FIG. 1. Valores de resistência à penetração (MPa) e densidade do solo (g.cm⁻³), obtidos em diferentes profundidades no solo natural (SN), sistema convencional (SC) e semeadura direta (SD), com e sem subsolagem.

TABELA 1. Valores médios de resistência à penetração (MPa) e densidade do solo (g.cm⁻³) à várias profundidades (cm) em relação aos tratamentos estudados.

Preparo do solo ¹	Resistência à penetração				Densidade do solo			
	0-5,5	10-15,5	20-25,5	30-35,5	0-3	10-13	20-23	30-33
	Sem subsolagem				Sem subsolagem			
SC	1,7(31,4) ²	2,3(34,6)	1,8(33,5)	1,5(35,7)	1,41	1,53	1,51	1,37
SD	2,0(32,4)	2,6(33,0)	1,8(36,4)	1,5(36,8)	1,53	1,57	1,44	1,41
SI	1,5(32,1)	1,6(32,8)	1,5(33,6)	1,4(34,3)	1,31	1,47	1,56	1,38
SP	1,7(31,7)	2,2(32,5)	1,9(32,9)	1,6(33,0)	1,40	1,49	1,60	1,45
SR	1,6(31,7)	2,5(32,0)	1,4(32,4)	1,3(33,4)	1,43	1,60	1,53	1,43
ER	1,3(31,8)	2,4(32,2)	1,3(35,3)	1,2(36,0)	1,42	1,56	1,54	1,45
SN	0,8(35,2)	1,1(36,0)	0,9(35,3)	0,7(35,7)	1,29	1,39	1,37	1,27
	Com subsolagem				Com subsolagem			
SC	1,3(34,1)	1,6(34,1)	1,5(32,4)	1,5(32,1)	1,38	1,43	1,39	1,35
SD	0,9(34,4)	1,6(34,4)	1,5(33,1)	1,4(35,7)	1,36	1,52	1,41	1,40
SI	1,5(32,0)	1,6(32,5)	1,5(33,1)	1,4(33,8)	1,31	1,43	1,40	1,31
SP	1,6(33,0)	1,5(32,8)	0,9(32,7)	1,2(32,9)	1,38	1,44	1,31	1,30
SR	1,6(32,0)	1,6(32,2)	1,5(32,1)	1,4(32,5)	1,29	1,46	1,32	1,39
ER	1,2(31,5)	1,4(31,7)	1,3(32,2)	1,1(32,8)	1,28	1,48	1,45	1,46

¹ SC: sistema convencional - aração, gradagens pesada e niveladora.

SD: semeadura direta - roçada e aplicação de herbicida.

SI: sistema invertido - gradagem pesada, aração e gradagem niveladora.

SP: super preparo - duas arações, gradagens pesada e niveladora.

SR: sistema reduzido - gradagens pesada e niveladora.

ER: enxada rotativa - gradagem pesada, enxada rotativa e gradagem niveladora.

SN: solo natural - área coberta com vegetação natural (cerrado).

² % de umidade gravimétrica do solo em que foi feita a determinação.

A realização da aração após a gradagem pesada no SI diminuiu o efeito da compactação neste sistema de preparo, concordando com as conclusões de Seguy et al. (1984).

No tratamento SD a maior compactação ocorreu nos primeiros 15 cm (Fig. 1), em decorrência de o solo não ser revolvido e do tráfego que recebe, propiciando este comportamento nestas áreas, como explicam Baumer & Bakermans (1973) e Vieira & Muzilli (1984).

A ação da subsolagem pode ser analisada pelos valores apresentados na Tabela 1 e Fig. 1. Nestas, observa-se que com a subsolagem, tanto no tratamento SD como SC, verificam-se valores de resistência à penetração e de densidade do solo mais próximos do tratamento SN, ou seja, as camadas mais compac-

tas foram rompidas. A Fig. 2 também mostra esta tendência, observada através dos maiores valores de macroporosidade para os tratamentos subsolados (SC + S e SD + S), em relação aos mesmos sistemas não subsolados, sendo que o tratamento SN mantém-se com maiores valores de macroporosidade em todo o perfil do solo avaliado. A diminuição da porosidade total e macroporosidade, e aumento da microporosidade, observada em todos os sistemas de preparo em relação ao SN como mostram os valores contidos na Tabela 2 e Fig. 2, sugerem, como ressalta Veen & Boone (1981), que existe tendência de degradação da estrutura do solo com o uso intensivo da mecanização agrícola.

A velocidade de infiltração de água no so-

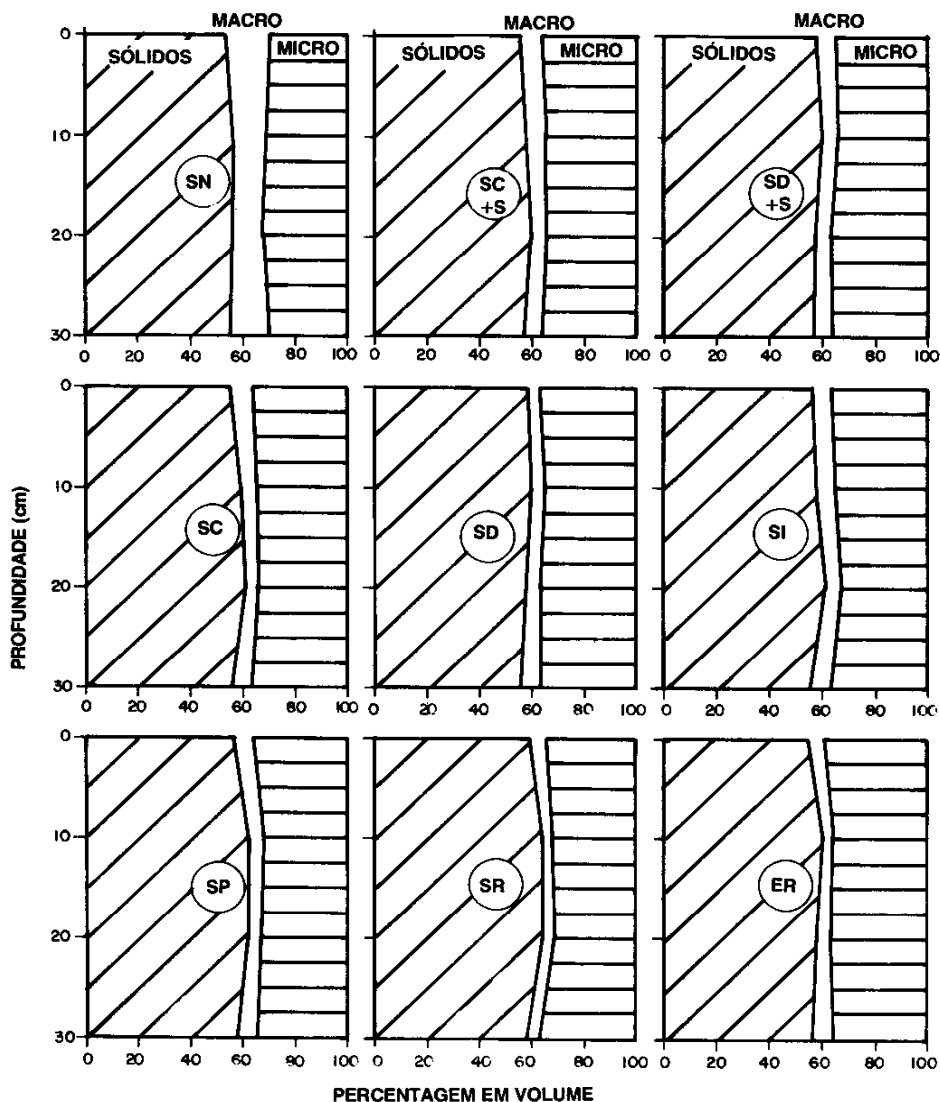


FIG. 2. Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total avaliada, obtidos em diferentes profundidades no solo natural (SN), sistema convencional (SC), semeadura direta (SD), sistema invertido (SI), superpreparo (SP), sistema reduzido (SR), enxada rotativa (ER) sem subsolagem e SC + S e SD + S com subsolagem.

lo, Fig. 3, indica diferenciação do comportamento hidrodinâmico do solo em função do sistema de preparo. Os efeitos da subsolagem são constatados, através de valores superiores na infiltração de água, tanto para os tratamen-

tos SC como SD. Porém, os maiores valores foram obtidos com o tratamento SN.

Considerando que a infiltração da água reflete as condições físicas do solo, como estrutura, porosidade e ausência de camadas com-

TABELA 2. Valores de macroporosidade (MP), microporosidade (mp) e porosidade total avaliada (PT), expressos em % de volume, obtidos em função do preparo do solo.

Profundidade (cm)	SN			SC ¹			SD ¹			
	MP	mp	PT	MP	mp	PT	MP	mp	PT	
0 - 3	16,8	29,5	46,3	8,0	36,5	44,5	7,2	35,1	42,3	
10 - 13	12,5	31,6	44,1	7,2	35,0	42,2	5,6	35,2	40,8	
10 - 23	11,2	32,7	43,9	5,8	34,7	40,5	6,6	37,1	43,7	
30 - 33	15,2	30,1	45,3	7,5	36,1	43,6	7,9	36,2	44,1	
		SC ²			SD ²			SI ²		
0 - 3	7,8	36,2	44,0	4,7	36,6	41,3	6,9	36,4	43,3	
10 - 13	5,7	34,4	40,1	4,9	35,4	40,3	7,0	35,5	42,5	
20 - 23	5,3	34,3	39,6	5,3	36,9	42,2	6,1	32,9	39,0	
30 - 33	7,6	36,4	44,0	7,3	37,1	44,4	7,7	36,7	44,4	
		SP ²			SR ²			ER ²		
0 - 3	7,1	36,1	43,2	5,2	34,7	39,9	5,3	39,3	44,6	
10 - 13	5,7	32,3	38,0	3,3	33,0	36,3	4,1	35,9	40,0	
20 - 23	4,6	33,8	38,4	5,2	31,9	37,1	5,8	37,0	42,8	
30 - 33	8,6	34,4	43,0	6,1	36,9	43,0	7,6	36,1	43,7	

¹ Preparo do solo com subsolagem.

² Preparo do solo sem subsolagem.

pactadas (Hillel 1970 e Baumer & Bakermans 1973), deduz-se com isso que no solo estudado elas sofreram modificações acentuadas em função do sistema de preparo.

Os valores de umidade do solo obtidos em diferentes profundidades para os sistemas de preparo, considerados como representativos da intensidade de revolvimento do solo, SD e SC, estão contidos na Fig. 4, juntamente com a distribuição da precipitação ocorrida durante o ciclo da cultura do milho. Os teores de água semelhantes verificados na profundidade de 30 a 33 cm são conseqüência da pouca alteração ocorrida na estrutura de ambos os tratamentos.

Quando o solo se apresenta com elevado grau de umidade, como aconteceu no período de 50 a 60 dias após a semeadura, constata-se valores mais elevados para o sistema SC, exceto na camada de 20 a 23 cm. Todavia, nos períodos de menores precipitações – como ocorreu no meio e no final do ciclo da cultura, quando o potencial de água do solo está mais na dependência de forças de absorção (Reichardt 1975) –, verificam-se valores mais ele-

vados de umidade do solo no tratamento SD, nas camadas de 0 a 3 cm e 10 a 13 cm. Estas, se encontram mais compactas, como pode ser confirmado pelos maiores valores de resistência do solo à penetração e densidade do solo (Fig. 1), encontrados para estas camadas.

Esses resultados vêm confirmar as hipóteses levantadas anteriormente a respeito da formação de camadas compactas em diferentes profundidades do solo em todos os sistemas de preparo testados. Assim, como relata Camargo (1983), a camada compactada aumenta a quantidade de água retida na faixa de disponibilidade para as plantas. Contudo, esta disponibilidade deve ser interpretada concomitantemente com a deficiência da aeração e com a resistência mecânica do solo.

A eficiência da cobertura morta advinda de restos culturais, tem sido definida por Derpsch et al. (1986) como o fator mais importante para explicar o maior conteúdo de água encontrado em solo sob plantio direto, quando comparado com o sistema convencional, no estado do Paraná. Entretanto, no presente trabalho,

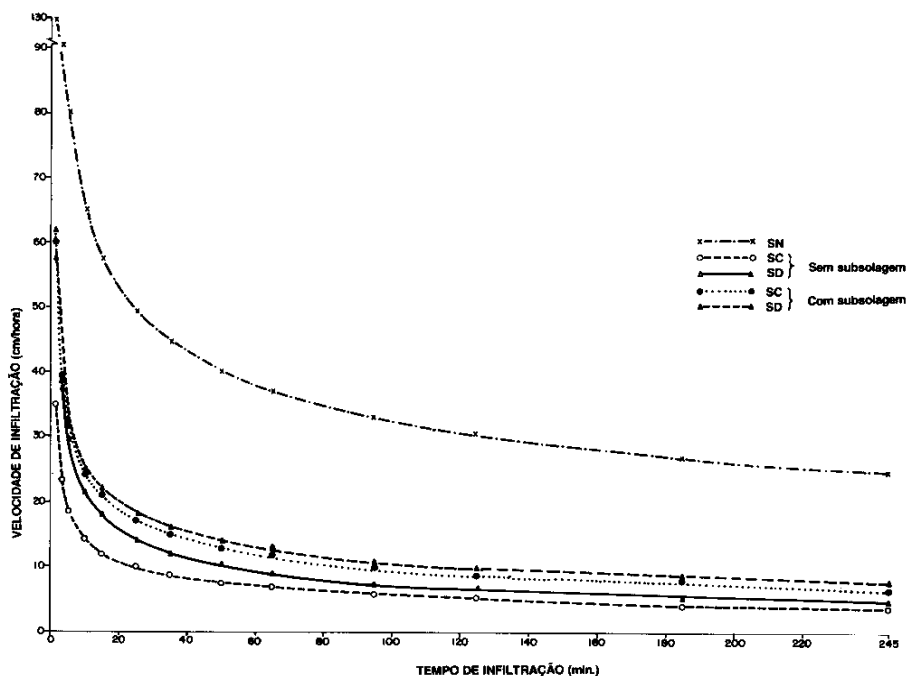


FIG. 3. Valores de velocidade de infiltração de água (cm/hora) obtidos no solo natural (SN), sistema convencional (SC) e semeadura direta (SD) com e sem subsolagem.

isto não ocorreu, dadas as condições de clima que permitem a sustentação de apenas uma cultura economicamente viável por ano agrícola.

Embora o manejo dado ao solo tenha provocado alterações em sua estrutura em relação ao seu estado natural, isto não teve maiores conseqüências uma vez que a distribuição pluvial durante todo o ciclo da cultura foi regular, amenizando o problema.

As alterações ocorridas na estrutura do solo provocaram variações no rendimento de grãos de milho nos tratamentos estudados. Considerando a média dos sistemas de preparo do solo com e sem subsolagem, como mostra a Tabela 3, verifica-se que os menores rendimentos foram encontrados no tratamento SD, embora não diferindo significativamente dos demais tratamentos, exceto do tratamento SI, que apresentou-se mais produtivo. Resultado se-

melhante foi observado por Seguy et al. (1984) os quais sugerem que para áreas de cerrado o preparo deva ser invertido em relação ao convencional, diminuindo os efeitos maléficis da compactação.

Observando-se os efeitos da subsolagem dentro dos sistemas de preparo do solo, verifica-se que os valores do tratamento SD sem subsolagem são estatisticamente inferiores aos demais tratamentos, como demonstram os dados da Tabela 3. Provavelmente esta baixa produtividade é decorrente da formação de camadas compactas induzidas por este sistema de preparo, principalmente próximo à superfície do solo.

O sucesso da semeadura direta depende do uso da sucessão de culturas e da cobertura vegetal (Derpsch et al. 1986), o qual minimiza os efeitos da compactação superficial de acordo com os resultados obtidos no estado do Pa-

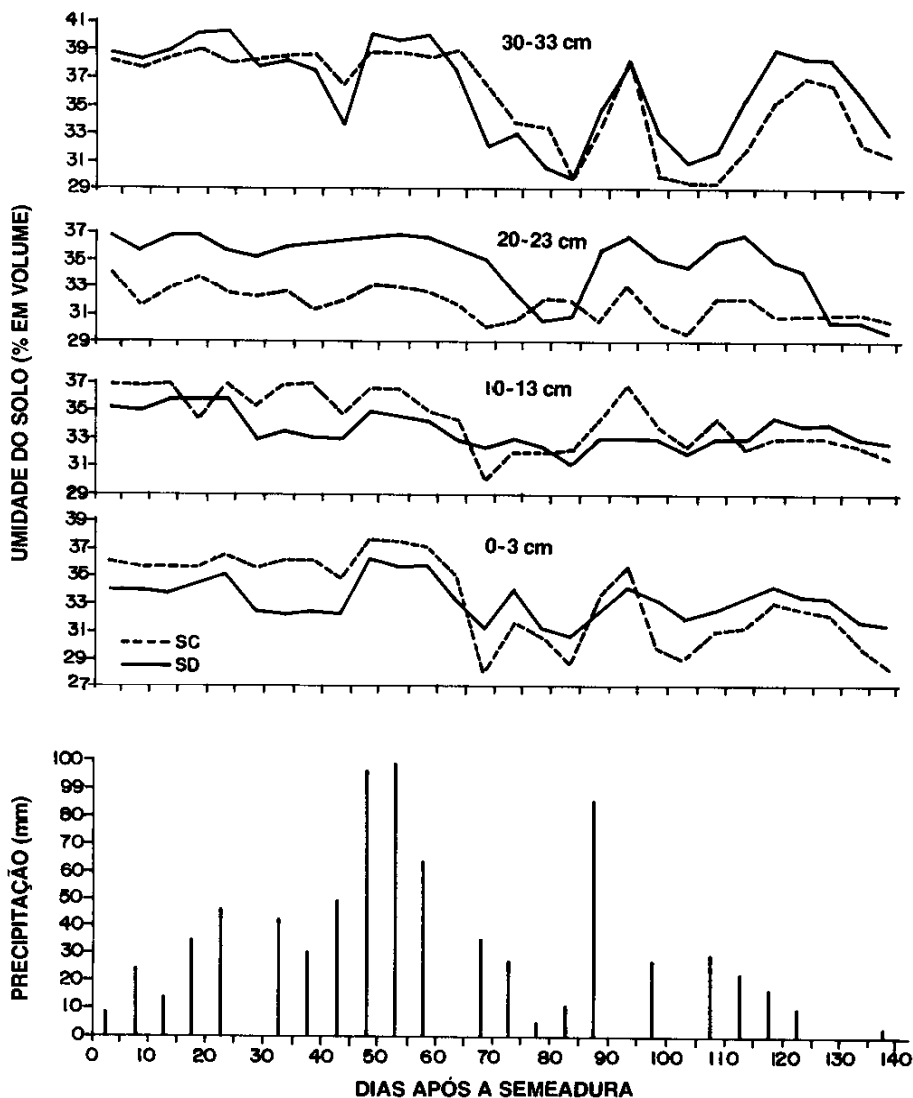


FIG. 4. Valores de precipitação e umidade do solo, para as profundidades de 0 a 3 cm, 10 a 13 cm, 20 a 23 cm e 30 a 33 cm, obtidos para os sistemas convencional e de semeadura direta sem subsolagem, durante o ciclo do milho.

raná por Vieira (1985). A ausência de cobertura morta sobre a superfície do solo em SD, pode ter sido o fator responsável pela menor produtividade obtida neste sistema. Portanto, o uso do tratamento SD em solo de cerrado, a longo prazo, como ocorreu no presente ensaio,

tende a aumentar a compactação superficial, podendo tornar inviável a sua utilização.

Com a realização da subsolagem nos diversos sistemas de preparo, o rendimento de grãos foi semelhante, não apresentando diferenças estatísticas significativas entre os pre-

TABELA 3. Comparação de médias de rendimentos de grãos de milho (kg/ha) nos diversos sistemas de preparo de solo em relação à subsolagem, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Preparo do solo ¹	Subsolagem		Média ³
	Sem ²	Com ²	
SC	5454,4 a	5280,2 a	5.367,3 ab
SD	4189,6 b	5324,0 a	4.756,8 b
SI	5875,2 a	5434,6 a	5.654,9 a
SP	5219,8 a	5140,0 a	5.179,9 ab
SR	5632,0 a	5561,0 a	5.596,5 ab
ER	5591,6 a	5508,0 a	5.549,8 ab
DMS	598,5377	598,5377	876,8637
Média	5327,1	5374,6	5.350,8

¹ SC: sistema convencional - aração, gradagens pesada e niveladora.

SD: semeadura direta - roçada e aplicação de herbicida.

SI: sistema invertido - gradagem pesada, aração e gradagem niveladora.

SP: super preparo - duas arações, gradagens pesada e niveladora.

SR: sistema reduzido - gradagens pesada e niveladora.

ER: enxada rotativa - gradagem pesada, enxada rotativa e gradagem niveladora.

² Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente entre si.

³ Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si.

paros, como mostra a Tabela 3.

Assim, nas condições edafoclimáticas em que foi conduzido o ensaio, a exemplo do que observaram Reeves & Touchton (1986), é necessária a realização de subsolagem para o tratamento SD, visando romper a camada compactada que se forma próximo à superfície do solo. Esta técnica visa facilitar o crescimento de raízes em solo compactado (Ide et al. 1987). Box & Langdale (1984), recomendam ainda que tal subsolagem deva ser realizada na linha do milho para aumentar a produção devido ao maior aprofundamento do sistema radicular.

Embora o uso e manejo da área experimental, em nove anos de cultivo, tenham provocado degradação das propriedades físicas do solo, em relação ao SN, observa-se que os ren-

dimentos obtidos em todos os tratamentos estão bem acima da média nacional, que segundo Viegas & Peeten (1987) é da ordem de 1,5 a 2,0 t/ha. Isto sugere que o uso de tecnologia é indispensável em áreas sob vegetação de cerrados, para que estas possam ser incorporadas ao processo produtivo do País.

CONCLUSÕES

1. Não houve respostas significativas em termos de rendimento de grãos de milho em relação aos tratamentos testados. O sistema de preparo invertido sem subsolagem foi o que apresentou tendência de melhor resposta.

2. A subsolagem propiciou melhores condições físicas do solo em todos os sistemas de preparo testados. Entretanto, em termos de produtividade, só foi efetiva no sistema de semeadura direta.

3. Houve degradação das propriedades físicas em relação ao solo natural, mas, esta, pouco afetou a produtividade do milho, uma vez que a distribuição pluvial durante todo o ciclo da cultura foi regular, amenizando o problema.

REFERÊNCIAS

- ABRÃO, P.U.R.; GOEPFERT, C.F.; GUERRA, M.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo-distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.3, n.3, p.169-172, 1979.
- BAUMER, K.; BAKERMANS, W.A.P. Zero-tillage. *Advances in Agronomy*. New York, v.25, p.77-125, 1973.
- BERTRAND, A.R. Rate of water intake in the field. In: BLACK, C.A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.197-209.
- BOX, J.E.; LANGDALE, G.W. The effects of in-row subsoil tillage and soil water on corn yields in the southeastern coastal plain of the United States. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, n.4, p.67-78, 1984.

- CAMARGO, O.A. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 44p.
- CASTRO, O.M. de; VIEIRA, S.R.; MARIA, I.C. de. Sistemas de preparo do solo e disponibilidade de água. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA., 1987, Campinas, **Anais...** Campinas: Cargill, 1987, p.27-51.
- CENTURION, J.F. Efeitos de diferentes sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob vegetação de cerrado e na cultura do milho. **Científica**, São Paulo, v.15, n.1/2, p.1-8, 1987.
- CENTURION, J.F. **Efeitos de sistemas de preparo do solo na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em solos de cerrado**. Piracicaba, SP: USP-ESALQ, 1984. 124p. Dissertação de Mestrado.
- 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 & Tillage Research**, Amsterdam, n.8, p.253-263, 1986.
- HILLEL, D. **Solo e água; fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre: UFRGS, 1970. 231p.
- IDE, G.; HOFMAN, G.; OSSEMERCT, C.; RUYMBEKE, M.V. Subsoiling: time dependency of its beneficial effects. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, n.10, p.213-223, 1987.
- LAWS, W.D.; EVANS, D.D. The effects of long-time cultivation on some physical and chemical properties of two rendzina soils. **Proceedings Soil Science Society of America**, v.14, p.15-19, 1949.
- MACHADO, J.A. **Efeito do sistema convencional de cultivo na capacidade de infiltração da água no solo**. Santa Maria, RS: UFSM, 1976. 135p. Dissertação de Mestrado.
- MACHADO, J.A.; BRUM, A.C.R. Efeitos de sistemas de cultivos em algumas propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2, n.2, p.81-84, 1978.
- MAZUCHOWSKI, J.Z.; DERPSCH, R. **Guia de preparo do solo para culturas anuais mecanizadas**. Curitiba: ACARPA, 1984, 68p.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 7. ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1977. 430p.
- REEVES, D.W.; TOUCHTON, J.T. Effects of in-row and interrow subsoiling and time of nitrogen application on growth, stomatal conductance and yield of striptilled corn. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, n.7, p.327-340, 1986.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 3. ed. Piracicaba: CENA/Fundação Cargill, 1975. 286p.
- RICHARDS, L.A. Pressure membrane apparatus, construction and use. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v.28, p.451-454, 1947.
- SEGUY, L.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVA, J.G.; BLUMENSCHNEIN, F.N.; DALL'ACQUA, F.M. **Técnicas de preparo do solo: efeitos na fertilidade e na conservação do solo, nas ervas daninhas e na conservação da água**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1984. 26p. (EMBRAPA-CNPAP. Circular Técnica, 17).
- VEEN, B.W.; BOONE, F.R. The influence of mechanical resistance and phosphate supply on morphology and function of corn roots. **Plant and soil**, Netherlands, v.63, p.77-81, 1981.
- VIÉGAS, G.P.; PEETEN, H. Sistemas de produção. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G.P. (Eds.). **Melhoramento e produção de milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.2, cap. 12, p.453-538.
- VIEIRA, M.J. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: ATUALIZAÇÃO em plantio direto. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p.163-179.
- VIEIRA, M.J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.7, p.873-882, 1984.