

SEÇÃO I - FÍSICA DO SOLO

PRODUTIVIDADE DE SOJA E PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO SUBMETIDO A SISTEMAS DE MANEJO E COMPACTAÇÃO⁽¹⁾

D. SECCO⁽²⁾, D. J. REINERT⁽³⁾, J. M. REICHERT⁽³⁾ & C. O. DA ROS⁽⁴⁾

RESUMO

Em solos sob plantio direto, o tráfego de máquinas pode imprimir ao solo estado de compactação restritivo ao rendimento de culturas. Este trabalho foi realizado na Universidade de Cruz Alta, no município de Cruz Alta (RS). O objetivo foi avaliar os efeitos de sistemas de manejo e estados de compactação do solo sob sistema plantio direto nas propriedades físicas e no rendimento de grãos de seis cultivares de soja. O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho distroférrico, com 427 g kg⁻¹ de argila. Os tratamentos, estabelecidos em blocos ao acaso, com quatro repetições, constaram de sistemas de manejo e estados de compactação criados por um rolo compactador de 2 Mg, foram: plantio direto (PD) contínuo sem compactação adicional (PD-C0), PD com uma passada do rolo compactador (PD-C1), PD com três passadas do rolo compactador (PD-C2), PD com cinco passadas do rolo compactador (PD-C3) e PD escarificado sem preparo secundário (ESCAR). As propriedades físicas avaliadas foram resistência à penetração do solo (RP), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Macro) e microporosidade (Micro). A compactação do solo causou menores valores de Ds, espaço poroso e RP do solo na camada de 0-0,10 m de profundidade. Houve relação direta entre a Ds, volume de Micro e a RP do solo e relação inversa entre a Ds e o volume de Macro, com o aumento do estado de compactação. Os cultivares de soja apresentaram comportamento semelhante para os diferentes estados de compactação do solo. A escarificação do solo em área manejada por oito anos sob sistema plantio direto não propiciou incremento no rendimento de grãos de soja. Quando os valores de RP foram de até 2,6 MPa, os de Ds de até 1,51 Mg m⁻³ e volume de Macro superiores a 0,10 dm³ dm⁻³, em

⁽¹⁾ Trabalho desenvolvido em convênio entre as Universidades de Cruz Alta – UNICRUZ e a Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Recebido para publicação em outubro de 2003 e aprovado em agosto de 2004.

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

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). Bolsista do CNPq. E-mails: dalvan@ccr.ufsm.br; reichert@smail.ufsm.br

⁽⁴⁾ Professor do Curso de Agronomia, Universidades de Cruz Alta – UNICRUZ. CEP 98015-130 Cruz Alta (RS). E-mail: daros@unicruz.edu.br

condições de lavoura, não houve comprometimento do rendimento de grãos de soja.

Termos de indexação: estrutura do solo, espaço poroso, resistência do solo, produção de soja.

SUMMARY: IMPLICATIONS OF SOIL MANAGEMENT AND COMPACTION STATE ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND SOYBEAN YIELD

Agricultural machinery traffic may lead to a restrictive state of soil compaction for crop yields in no-tillage systems. This study was conducted at the University of Cruz Alta, in Cruz Alta, State of Rio de Janeiro, Brazil. The main objective was to evaluate the effects of soil management systems and compaction states on selected soil physical properties and on yield of six soybean cultivars. The experiment was conducted on an Oxisol with 427 g kg⁻¹ of clay, prior under no-tillage. The experimental design was randomized blocks with five treatments and four replications. The treatments consisted of management systems and compaction stages: continuous no-tillage (NT₀) without additional soil compaction, NT with one pass of a compacting-wheel 2.0 Mg weight (NT₁), NT with three passes of the compacting-wheel (NT₂), NT with five passes of the compacting-wheel (NT₃), and NT chisel-plowed without secondary tillage (Chisel). Soil physical properties were determined during the cropping season including soil penetration resistance (PR), bulk density (Bd), and porosity (total-Tp, macro-Mac, and micro-Mic). Soil compaction states induced by the compacting wheel increased Bd and PR and decreased soil porosity at 0 to 0.10 m-depth. There were direct relationships between Bd, Mic and PR, and an inverse relationship between bulk density and Mac as the state of compaction increased. The soybean cultivars behaved similarly in all states of soil compaction. The chiseling of soil under eight year no-tillage did not result in an increased soybean yield. When PR values were under 2.6 MPa, Bd values under 1.51 Mg m⁻³, and Mac values over 0.10 dm³ dm⁻³, there were no restrictions for soybean crop.

Index terms: soil structure, soil porosity, soil strength, soybean production.

INTRODUÇÃO

No sistema plantio direto, a ausência, ou revolvimento mínimo do solo, favorece a manutenção de teores de água mais elevados em virtude da manutenção dos resíduos culturais, bem como o tráfego sistemático de máquinas pode promover compactação excessiva na superfície do solo (Tormena & Roloff, 1996), principalmente em solos com elevados teores de argila, conforme o tamanho e formato de partículas. A compactação por pneus pode ser superficial, provocada pela pressão de ar nos pneus, e subsuperficial, provocada pelo peso por eixo dos tratores, colhedoras e máquinas agrícolas (Salire et al., 1994; Hakansson & Voorhees, 1996). Segundo Daniel & Maretti (1990), a profundidade máxima de efeito da compactação imposta por máquinas e implementos agrícolas, independentemente do tipo de solo e do peso da maquinaria, não excede 50 cm.

A compactação do solo é um processo em que a porosidade e a permeabilidade são reduzidas, a resistência é aumentada e muitas mudanças

ocorrem na estrutura do solo (Soane & Ouwerkerk, 1994). Essas alterações nas propriedades físicas do solo decorrentes da compactação afetam suas propriedades hídricas. Os fatores preponderantes do solo que determinam seu comportamento, quando submetidos à compactação, são a granulometria, o teor de matéria orgânica e a umidade do solo (Bodman & Constantin, 1966), além do estado de compactação inicial (Silva et al., 2000).

As operações agrícolas, quando realizadas sem o controle da umidade do solo, provocam aumento da área compactada do solo (Pedrotti & Dias Junior, 1996), o que pode reduzir a infiltração e, conseqüentemente, a disponibilidade de água para as plantas, comprometendo a produtividade.

Na literatura, existem inúmeros relatos dos níveis de compactação do solo cultivado sob o sistema plantio direto. Contudo, ainda existem dúvidas sobre qual o estado de compactação do solo, sob sistema plantio direto, que influi negativamente na produção das culturas e quais os limites críticos das propriedades físico-mecânicas que limitam o pleno desenvolvimento das plantas.

Os efeitos negativos de estados de compactação do solo na produtividade das culturas em condições de lavoura são escassos, dada a dificuldade de isolar o fator compactação do solo. Chancellor (1971) constatou que a compactação pelo tráfego pesado não influenciou o rendimento de grãos do trigo, do sorgo e do milho. Atribuiu esse fato à continuidade de poros, gerada pela proximidade dos agregados do solo, o que teria melhorado a disponibilidade de água por ascensão capilar.

Forsythe & Huertas (1979) afirmaram que a produção de grãos, de matéria seca e de raízes do feijoeiro, às vezes, pode ser diminuída se ocorrer aumento na resistência à penetração do solo na camada superior. Com valores de resistência do solo, na capacidade de campo, variando de 0,6 a 1,0 MPa, encontraram os maiores rendimentos, enquanto valores acima de 2,1 MPa provocaram efeito contrário.

Secco (2003), estudando o efeito de estados de compactação em um Latossolo Vermelho distrófico e num Latossolo Vermelho distroférico, ambos manejados sob sistema plantio direto, verificou que o estado de compactação mais intenso, com valores de densidade do solo de 1,62 e 1,54 Mg m⁻³ e de resistência à penetração de 2,65 e 3,26 MPa, proporcionou decréscimos na produtividade do trigo de 18,35 e 34,05 %, respectivamente; na cultura do milho, somente no Latossolo Vermelho distroférico houve diferença significativa em relação aos outros estados de compactação, onde esse nível de compactação propiciou decréscimo de 24,3 % e, na cultura da soja, esses estados de compactação não propiciaram decréscimos na produtividade, em ambos os Latossolos.

Diante desses resultados, verifica-se a necessidade de estudar, em condições de campo, quando o nível/estado de compactação passa a comprometer o rendimento de grãos da cultura da soja e se existem diferenças entre os cultivares de soja no que diz respeito à adaptação aos estados de compactação encontrados nas condições de lavoura.

Assim, este trabalho objetivou avaliar os efeitos de dois sistemas de manejo e de quatro estados de compactação do solo sob sistema plantio direto nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distroférico e no rendimento de grãos de seis cultivares de soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade de Cruz Alta, no município de Cruz Alta (RS), na safra agrícola 2000/2001. O solo, classificado como Latossolo Vermelho distroférico (108 g kg⁻¹ de areia, 427 g kg⁻¹ de argila e 465 g kg⁻¹ de silte, na camada

de 0–0,20 m), apresenta basalto como material de origem e relevo ondulado. A área vinha sendo cultivada há oito anos sob sistema plantio direto, com rotação de culturas no inverno (trigo, aveia e nabo forrageiro) e verão (milho e soja).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. Cada unidade experimental mediou 4 x 10 m. Os sistemas de manejo do solo estudados foram: plantio direto (PD) contínuo sem compactação adicional (PD-C0), PD com uma passada do rolo compactador (PD-C1), PD com três passadas do rolo compactador (PD-C3), PD com cinco passadas do rolo compactador (PD-C5) e PD escarificado sem preparo secundário (ESCAR). Os cultivares de soja utilizados foram: (1) FEPAGRO RS 10 (ciclo tardio), (2) BRS 66 (ciclo médio), (3) BRS 154 (ciclo médio), (4) RS 7 JACUÍ (ciclo médio), (5) FUNDACEP 33 (ciclo médio), e (6) COODETEC 205 (ciclo tardio).

Os estados de compactação do solo foram obtidos por meio de um rolo compactador de superfície lisa, com peso total de 2 Mg (pressão média aproximada do rolo sobre o solo de 110 kPa). Os níveis de compactação foram estabelecidos quando o conteúdo médio de umidade do solo na camada de 0–0,20 m era de 0,27 kg kg⁻¹.

A escarificação foi realizada na profundidade de 0–0,20 m, com escarificador que continha cinco hastas espaçadas em 0,25 m, na umidade de 0,23 kg kg⁻¹. Nessa parcela, não houve preparo secundário do solo.

A semeadura das culturas foi em faixas transversais aos sistemas de manejo e estados de compactação do solo, usando uma semeadora-adubadora com oito linhas espaçadas em 0,47 m. O mecanismo de sulcamento do solo da semeadora para o deposição do adubo foi o disco de corte simples (retirou-se o facão/cinzel, para não eliminar os possíveis efeitos negativos dos níveis de compactação estabelecidos), quando o adubo foi colocado a lança sobre as linhas de semeadura. O mecanismo de sulcamento do solo para deposição das sementes foi a duplo disco defasado, regulando-se a semeadora para que a profundidade de deposição de sementes não fosse superior a 0,05 m. Realizou-se a adubação com 0,22 Mg ha⁻¹ de fertilizante na formulação 0–20–20 de N-P-K. Em dezembro de 2000, foi feita a semeadura, com 20 sementes por metro linear. Todas os cultivares de soja apresentaram vigor e emergência superiores a 90 %.

Monitorou-se a distribuição das chuvas ocorridas na área experimental durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da soja, ou seja, durante os meses de dezembro de 2000 e de janeiro a março de 2001 (Figura 1). A precipitação pluvial acumulada foi de 142, 285, 127 e 109 mm, respectivamente, para os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, tendo sido os volumes considerados normais (média dos últimos 30 anos)

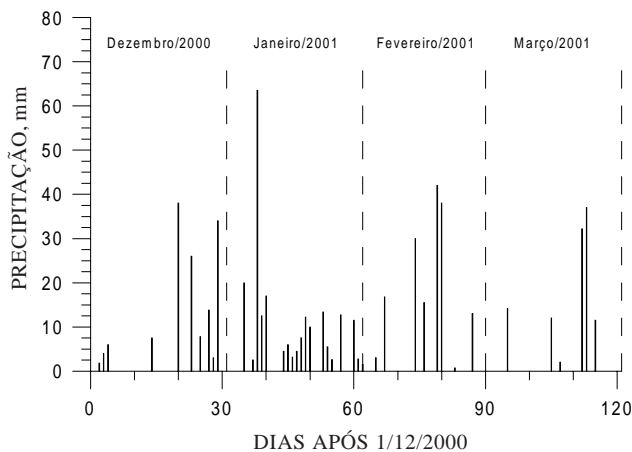


Figura 1. Precipitações pluviiais ocorridas no local do experimento, nos meses de dezembro de 2000 e de janeiro a março de 2001.

para esses meses, respectivamente, de: 131, 168, 153 e 121 mm, de acordo com a Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa FUNDACEP FECOTRIGO, de Cruz Alta (RS).

Avaliações no solo

Amostras com estrutura parcialmente alterada foram coletadas no início do estudo, secas ao ar e submetidas às análises físicas de densidade de partículas pelo método do balão volumétrico (Embrapa, 1997) e análise granulométrica pelo método da pipeta (Gee & Bauder, 1986).

Após a aplicação dos tratamentos, avaliaram-se a densidade do solo, o espaço poroso e a resistência à penetração do solo. A densidade do solo foi avaliada retirando-se duas subamostras por parcela pelo uso de anéis volumétricos de 3,0 cm de altura e 8,5 cm de diâmetro, nas profundidades de 0,0–0,05; 0,05–0,10; 0,10–0,15; 0,15–0,20 e 0,30–0,40 m.

Para a microporosidade, foram coletadas amostras com estrutura preservada (torrões), nas mesmas profundidades; no laboratório, essas amostras foram parafinadas e saturadas com água, sendo considerado, como microporosidade, o conteúdo volumétrico de água equilibrada na mesa de tensão a 60 cm de coluna de água. A porosidade total foi calculada pela equação $Pt = 1 - Ds/Dp$, em que Pt = Porosidade total, em $dm^3 dm^{-3}$; Ds = Densidade do solo, em $Mg m^{-3}$; Dp = Densidade de partículas, em $Mg m^{-3}$. A macroporosidade foi calculada por diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

A resistência à penetração do solo foi determinada até à profundidade de 0,45 m, com o uso do penetrógrafo SOILCONTROL - PENETROGRAPHER^{PAT.} SC-60, tendo sido o índice de cone obtido conforme norma ASAE R313. Foram realizadas nove repetições por tratamento, em uma área de

aproximadamente 1,0 m². O teor médio de água nas profundidades de 0,0–0,05; 0,05–0,10; 0,10–0,15; 0,15–0,20 e 0,30–0,40 m foram, respectivamente, de 0,26; 0,27; 0,26; 0,27 e 0,30 kg kg⁻¹.

Avaliações na planta

Avaliaram-se a população de plantas e o rendimento de grãos de soja. A população foi avaliada 30 dias após a emergência, pela contagem do número de plantas ao longo de 2 m, com cinco contagens aleatórias em cada unidade experimental. O rendimento de grãos foi avaliado, tomando-se uma subamostra de quatro fileiras com dois metros de comprimento. Os resultados de produção de grãos obtidos foram expressos em Mg ha⁻¹, com umidade corrigida para 13 %.

Análise estatística

A análise estatística dos resultados foi efetuada por meio da análise da variância e, quando significativa, as médias de tratamentos foram comparadas pelo teste de Duncan a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os maiores valores de densidade do solo (D_s) ocorreram no solo sob PD-C3 e PD-C5, nas profundidades de 0–0,05 e 0,05–0,10 m, o que pode ser explicado pelo acúmulo das tensões impostas por 3 e 5 passagens do rolo compactador na superfície do solo (Quadro 1).

Nessas camadas e estados de compactação, em virtude de o solo ter atingido valores de densidade do solo semelhantes e, ou, superiores a 1,45 Mg m⁻³ e de resistência à penetração do solo (RP) superiores a 2,0 MPa (Figura 2), o solo pode ser considerado compactado, de acordo com Reinert et al. (2001). Tendo em vista que os valores de RP foram obtidos em condições de umidade do solo elevada (média de 0,27 kg kg⁻¹ na camada de 0–0,40 m), isso pôde restringir o pleno desenvolvimento da cultura à medida que o solo foi sofrendo redução em seu conteúdo de água, já que a RP apresenta relação inversa com a umidade do solo (Secco, 2003).

Verificou-se que a camada de influência dos estados de compactação do solo foi de 0 a 0,10 m, pois, a partir da profundidade de 0,10 m, não houve diferença significativa entre as médias de tratamentos para a D_s , macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e porosidade total do solo (Pt). Outro aspecto é que entre a profundidade de 0,15–0,40 m, os valores de D_s e espaço poroso não configuram o solo como sendo compactado. Isso está relacionado com a pequena pressão aplicada sobre a superfície do solo pelo rolo compactador.

Quadro 1. Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (micro) e porosidade total (Pt) de um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes estados de compactação

Estado de compactação ⁽¹⁾	Ds	Macro	Micro	Pt
	Mg m ⁻³	dm ³ dm ⁻³		
		Profundidade 0,0–0,05 m		
PD-C0	1,28 b ⁽²⁾	0,14 a	0,38 b	0,52 a
PD-C1	1,29 b	0,14 a	0,36 b	0,50 a
PD-C3	1,45 a	0,04 b	0,42 a	0,46b
PD-C5	1,51 a	0,00 b	0,46 a	0,46 b
F (estado compactação)	9,69*	9,15*	15,91*	9,55*
C.V. (%)	4,66	50,99	4,71	5,31
		Profundidade 0,05–0,10 m		
PD-C0	1,43 b	0,07	0,38	0,45
PD-C1	1,45 ab	0,06	0,38	0,44
PD-C3	1,47 a	0,05	0,39	0,44
PD-C5	1,50 a	0,01	0,41	0,42
F (estado compactação)	1,71*	2,33 ^{ns}	2,45 ^{ns}	1,63 ^{ns}
C.V. (%)	2,92	60,73	4,10	3,87
		Profundidade 0,10–0,15 m		
PD-C0	1,40 b	0,11 a	0,36 b	0,47 a
PD-C1	1,42 b	0,08 a	0,38 ab	0,46 a
PD-C3	1,47 a	0,04 b	0,39 a	0,43 b
PD-C5	1,40 b	0,09 a	0,38 ab	0,47 a
F (estado compactação)	9,57*	8,35*	12,40*	6,74*
C.V. (%)	1,31	19,87	1,98	1,75
		Profundidade 0,15–0,20 m		
PD-C0	1,33	0,13	0,36	0,49
PD-C1	1,39	0,08	0,40	0,48
PD-C3	1,38	0,10	0,37	0,47
PD-C5	1,37	0,08	0,40	0,48
F (estado compactação)	1,98 ^{ns}	2,98 ^{ns}	3,67 ^{ns}	2,02 ^{ns}
C.V. (%)	2,22	25,41	4,38	2,23
		Profundidade 0,30–0,40 m		
PD-C0	1,30	0,12	0,38	0,50
PD-C1	1,28	0,13	0,38	0,51
PD-C3	1,32	0,11	0,38	0,49
PD-C5	1,31	0,10	0,40	0,50
F (estado compactação)	1,12 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,57 ^{ns}	2,27 ^{ns}
C.V. (%)	1,90	15,61	3,57	1,91

⁽¹⁾ PD-C0: sistema plantio direto contínuo (sem compactação adicional com o rolo); PD-C1: uma passada com o rolo compactador; PD-C3: três passadas com o rolo compactador; PD-C5: cinco passadas com o rolo compactador. ⁽²⁾ Médias com letras distintas, na coluna, e por profundidade diferem pelo teste de Duncan (P < 0,05). * Teste F significativo a 5 % de significância. ^{ns} Teste F não-significativo a 5 % de significância.

Houve uma relação direta entre a Ds e a Micro do solo e entre a Ds e a RP, onde, nas camadas com maiores valores de Ds, ocorreram maiores volumes de Micro e maiores valores de RP. Com relação ao volume de Macro, a relação com a Ds foi inversa. Os valores de Macro do solo atingiram valores inferiores a 0,10 dm³ dm⁻³ (10 %), quando a Ds foi igual ou superior a 1,36 Mg m⁻³ (Figura 2), indicando

maior risco de limitações ao crescimento radicular nos tratamentos que apresentaram valores de Ds maiores do que 1,36 Mg m⁻³.

Somente o PD-C3 e o PD-C5 impuseram ao solo valores de resistência à penetração superiores a 2,0 MPa até à profundidade de 0–0,05 m, com umidade média, na camada de 0–0,40 m, de 0,27 kg kg⁻¹ (Figura 3).

O efeito dos estados de compactação do solo sobre os valores de resistência ocorreu somente até à profundidade de 0,10 m, possivelmente em razão da baixa pressão que o rolo imprimiu sobre o solo (≈ 110 kPa). Isso pode ser verificado pelos valores de Ds e pela Macro do solo, onde o PD-C3 e o PD-C5 apresentaram valores superiores de densidade e inferiores de Macro, quando comparados aos demais estados de compactação e à área escarificada (Quadro 2).

Até à profundidade de 0,20 m, o tratamento que recebeu escarificação apresentou valores inferiores de RP solo em relação aos demais tratamentos, mostrando ser uma prática eficiente quando se

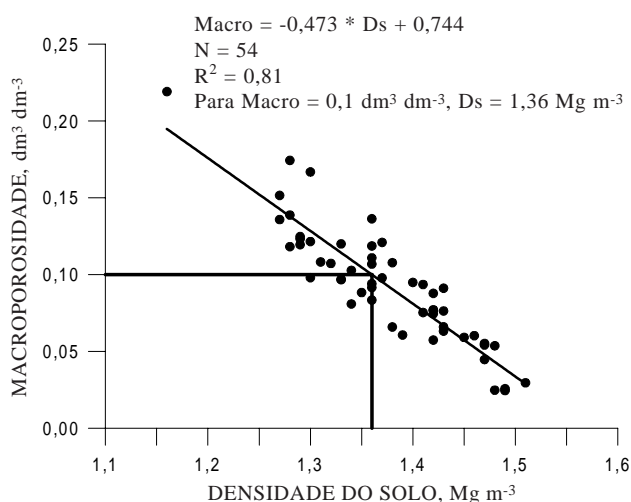


Figura 2. Relação entre a macroporosidade (Macro) e a densidade do solo (Ds) de um Latossolo Vermelho distroférico.

almeja rápida redução da resistência à penetração do solo. A partir dessa profundidade, não houve diferença significativa entre os valores médios de resistência do solo entre os tratamentos estudados.

A população média de plantas dos cultivares BRS 66, BRS 154 e COODETEC 205 não diferiu significativamente entre si (Quadro 3). Os cultivares RS 10 e CEP 33 apresentaram menor número de

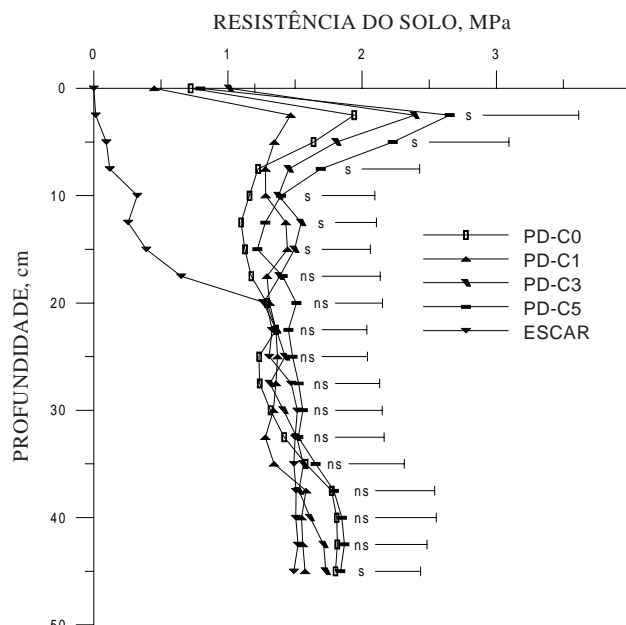


Figura 3. Variação da resistência com a profundidade do Latossolo Vermelho distroférico, em quatro estados de compactação e em área escarificada, com teor médio de água de $0,27 \text{ kg kg}^{-1}$, na profundidade de 0-0,40 m.

Quadro 2. Número de plantas de seis cultivares de soja por metro linear em um Latossolo Vermelho distroférico sob dois sistemas de manejo e quatro estados de compactação e escarificação

Cultivar	Estado de compactação ⁽¹⁾					Média
	PD-C0	PD-C1	PD-C3	PD-C5	ESCAR	
RS 10	12,9	11,8	10,1	10,5	9,4	10,9 d ⁽²⁾
BRS 66	15,9	16,6	16,5	17,2	13,7	16,0 a
BRS 154	16,6	15,6	15,6	14,1	13,7	15,1 ab
RS 7	15,2	13,6	16,6	14,2	12,6	14,5 b
CEP 33	15,2	10,8	13,7	12,1	10,6	12,5 c
Codetec 205	16,4	15,6	16,4	14,1	15,1	15,5 ab
Média	15,4 A ⁽²⁾	14,0 B	14,8 AB	13,7 BC	12,5 C	
F (manejo)	16,58*					
F (cultivares)	6,04*					
F (interação)	0,89 ^{ns}					
C.V. (%)	15,40					

⁽¹⁾ PD-C0: sistema plantio direto contínuo (sem compactação adicional com o rolo); PD-C1: uma passada com o rolo compactador; PD-C3: três passadas com o rolo compactador; PD-C5: cinco passadas com o rolo compactador. ⁽²⁾ Médias com letras distintas, minúsculas, na coluna, e maiúsculas, na linha, diferem pelo teste de Duncan ($P < 0,05$). * Teste F significativo a 5 % de significância. ^{ns} Teste F não-significativo a 5 % de significância.

Quadro 3. Rendimento de grãos de seis cultivares de soja em um Latossolo Vermelho distroférico submetidos a diferentes estados de compactação e escarificação no oitavo ano de cultivo no sistema plantio direto. Safra agrícola 2000/2001

Cultivar	Estado de compactação ⁽¹⁾					Média
	PD-C0	PD-C1	PD-C3	PD-C5	ESCAR	
	Mg ha ⁻¹					
FEPAGRO RS 10	3,77	3,30	3,62	3,35	3,97	3,60 a ⁽²⁾
BRS 66	3,22	3,13	3,32	3,29	3,37	3,27 bc
BRS 154	3,76	3,19	3,60	3,36	3,71	3,52 ab
RS 7 JACUÌ	3,39	3,69	3,61	3,19	3,81	3,54 ab
FUNDACEP 33	3,23	3,12	2,81	2,92	3,25	3,07 c
COODETEC-205	3,15	3,22	3,43	3,07	3,33	3,24 c
Média	3,42 AB ⁽²⁾	3,28 B	3,40 AB	3,20 B	3,57 A	
F (manejo)	5,27*					
F (cultivares)	9,55*					
F (interação)	1,19 ^{ns}					
C.V. (%)	9,11					

⁽¹⁾ PD-C0: sistema plantio direto contínuo (sem compactação adicional com o rolo); PD-C1: uma passada com o rolo compactador; PD-C3: três passadas com o rolo compactador; PD-C5: cinco passadas com o rolo compactador. ⁽²⁾ Médias com letras distintas, minúsculas, na coluna, e maiúsculas, na linha, diferem pelo teste de Duncan (P < 0,05). * Teste F significativo a 5 % de significância. ^{ns} Teste F não-significativo a 5 % de significância.

plantas por metro linear, diferindo significativamente entre si e em relação às demais. Isso demonstra que esses cultivares apresentaram maior dificuldade para se adaptar às condições impostas pelos estados de compactação e, ou, pela parcela escarificada.

Analisando a população de plantas por tratamento, o PD-C5 diferiu significativamente do tratamento PD-C0. Acredita-se que a ausência do sulcador tipo facão para deposição do adubo na semeadora-adubadora, aliada à alta resistência do solo no PD-C5, tenha acarretado pequeno volume de solo revolvido na linha de semeadura, dificultando o contato solo-semente e a posterior emergência.

Em relação ao rendimento de grãos, não houve interação significativa entre os tratamentos (sistemas de manejo do solo e estados de compactação) e cultivares (Quadro 3). Dessa forma, não foi possível, com esses resultados, indicar qual(ais) cultivar(es) se adaptou(aram) melhor aos diferentes estados de compactação. Isso evidencia que os estados de compactação induzidos pelo rolo compactador não impuseram ao solo condições que diferenciassem o desenvolvimento e crescimento desses cultivares de soja, não afetando o rendimento de grãos. Estes resultados concordam com os encontrados por Secco (2003).

É possível que a ausência de resposta de produção de grãos de soja com os diferentes níveis de compactação no solo sob plantio direto esteja relacionada com o fato de a compactação do solo propiciada pelo rolo ter ocorrido na superfície do solo (0–0,10 m) de baixa intensidade, em virtude do pouco peso e, ou, que o nível de compactação estabelecido tenha sido eliminado pelo efeito do mecanismo sulcador para deposição de sementes da semeadora-adubadora.

Os maiores rendimentos foram obtidos no ESCAR PD-C0, PD-C3 e que não diferiram estatisticamente. Pelo fato de a escarificação (área considerada ausente de compactação) não ter propiciado rendimento de grãos superiores ao PD-C0, fica evidente, neste caso, que foi desnecessária a mobilização do solo. De maneira geral, o PD-C5 não influenciou negativamente no rendimento de grãos, se comparado com outros tratamentos manejados sob sistema plantio direto (PD-C0; PD-C1 e PD-C3). Assim, para a cultura da soja, pode-se afirmar que o nível de compactação existente no PD-C5 (RP ≤ 2,6 MPa, com Ug = 0,27 kg kg⁻¹, Ds ≤ 1,51 Mg m⁻³ e volume de Macro ≥ 10 dm³ dm⁻³), em condições de lavoura, não comprometeu significativamente o rendimento de grãos dessa cultura.

CONCLUSÕES

1. A compactação do solo influenciou negativamente os valores de densidade do solo (Ds), espaço poroso e resistência à penetração (RP) do solo na camada de 0–0,10 m de profundidade.
2. Houve relação direta entre a Ds, volume de microporos (Micro) e a RP do solo e relação inversa entre a Ds e o volume de macroporos (Macro) com o aumento do estado de compactação.
3. Os cultivares de soja apresentaram comportamento semelhante para os diferentes estados de compactação do solo.
4. A escarificação do solo em área manejada por oito anos sob sistema plantio direto não propiciou incremento no rendimento de grãos de soja.

5. Quando os valores de RP foram de até 2,6 MPa, os de Ds de até 1,51 Mg m⁻³ e volume de Macro superiores a 0,10 dm³ dm⁻³, em condições de lavoura, não houve comprometimento do rendimento de grãos de soja.

LITERATURA CITADA

- BODMAN, G.B. & CONSTANTIN, G.K. Influence of particle size distribution in soil compaction. *Hilgardia*, 36:567-591, 1966.
- CHANCELLOR, W.J. Effects of compaction on soil strength. In: BARNES, K.K.; CARLETON, W.M. & TAYLOR, H.M., eds. *Compaction of Agricultural Soils*. St. Joseph: American Society of Engineering, 1971. p.190-222.
- DANIEL, L.A & MARETTI, H.J. Avaliação de camada de solo compactada e análise de crescimento de plantas. In: SILVEIRA, G.M., coord. *Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola*, 4., Jundiaí, 1990. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1990. p.22-33.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FORSYTHE, W.M. & HUERTAS, A. Effect of soil penetration resistance on the growth and yield of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) 27-R variety. *Turrialba*, 29:293-298, 1979.
- GEE, G.W. & BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. Part 1. Madison, 1986. p.343-411.
- HAKANSSON, I. & VOORHEES, W.B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTIN, C. & STEWART, B.A., eds. *Methods for assesment of soil degradation*. Boca Raton, Lewis Publishers, 1996. p.167-179.
- PEDROTTI, A. & DIAS JUNIOR, M.S. Compactação do solo: Como evitá-la. *Agropec. Catarinense*, 9:50-52, 1996.
- REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & SILVA, V.R. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; ROSA, G.M.; CERETTA, C.A., orgs. *Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul*. Santa Maria, Palloti, 2001. v.1, p.114-133.
- SALIRE, E.V.; HAMMEL, J.E. & HARDCASTLE, J.H. Compression of intact subsoils under short-duration loading. *Soil Till. Res.*, 31:235-248, 1994.
- SECCO, D. Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 108p. (Tese de Doutorado)
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:191-199, 2000.
- SOANE, B.D. & OUWERKERK, C. van. Soil compaction problems in world agriculture. In: SOANE, B.D. & OUWERKERK, C. van, eds. *Soil compaction in crop production*. Netherlands, Elsevier, 1994. p.01-21.
- TORMENA, C.A. & ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:333-339, 1996.