

INFLUÊNCIA DA COMPACTAÇÃO E DO CULTIVO DE SOJA NOS ATRIBUTOS FÍSICOS E NA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM LATOSSOLO VERMELHO

**Amauri Nelson Beutler
José Frederico Centurion
Cassiano Garcia Roque
Zigomar Menezes de Souza**

Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP. CEP 14870-000. E-mail: amaurib@yahoo.com.br, jfcentur@fcav.unesp.br

1 RESUMO

Este estudo teve como objetivo determinar a influência da compactação e do cultivo de soja nos atributos físicos e na condutividade hidráulica de um Latossolo Vermelho de textura média. O experimento foi conduzido na Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal (SP). Os tratamentos foram: 0, 1, 2, 4 e 6 passadas de um trator, uma ao lado da outra perfazendo toda a superfície do solo, com quatro repetições. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado para a condutividade hidráulica e, em esquema fatorial 5 x 2 para os atributos físicos. Foram coletadas amostras de solo nas faixas de profundidades de 0,02-0,05; 0,07-0,10 e 0,15-0,18 m, por ocasião da semeadura e após a colheita para determinação da densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo. A condutividade hidráulica do solo foi determinada após a colheita. O tempo entre a semeadura e a colheita de soja foi suficiente para aumentar a compactação do solo apenas na condição de solo solto. A compactação do solo reduziu a condutividade hidráulica em relação a condição natural (mata) e a condição de solo solto, sendo que esta não foi reduzida, após a primeira passagem, com o aumento no número de passagens.

UNITERMOS: Densidade do solo, porosidade do solo, infiltração de água, soja.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; SOUZA, Z. M. COMPACTION AND SOYBEAN GROW INFLUENCE ON PHYSICAL ATTRIBUTES AND HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN RED LATOSSOL SOIL

2 ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the influence of compaction and soybean grow on physical attributes and hydraulic conductivity of a Red Latossol, medium texture soil. The experiment was carried out in the experimental farm at the Paulista State University – Agricultural Science College, Jaboticabal – São Paulo state. The treatments were 0, 1, 2, 4 and 6 side-by-side tractor strides on the soil surface with four replications. The experimental design was completely randomized for hydraulic conductivity and a 5 x 2 factorial design for soil physical attributes. Soil samples have been collected at 0.02-0.05, 0.07-0.10 and 0.15-0.18 m depth at sowing season and after harvest in order to determine soil bulk density, total porosity, macro and

micro porosity. Soil hydraulic conductivity was determined after harvest. The time period between the soybean sowing and harvesting was enough to increase soil compaction only in loose soil condition. Soil compaction reduced hydraulic conductivity compared to the natural (forest) and loose soil condition

KEYWORDS: Bulk density, soil porosity, water infiltration, soybean.

3 INTRODUÇÃO

A compactação do solo é resultado da ação de forças externas ou internas e naturais ou antrópicas. As forças externas resultam do tráfego de máquinas e equipamentos e as internas são devido a ciclos de umedecimento e secamento e expansão e contração da massa do solo (CAMARGO & ALLEONI, 1997).

A compactação do solo é uma alteração estrutural, que resulta na reorganização de suas partículas e dos agregados, redução da porosidade total e da macroporosidade e do tamanho e continuidade dos poros, alterando pouco a microporosidade (HILLEL, 1982; MEROTTO & MUNDSTOCK, 1999; STONE et al., 2002); isto prejudica a infiltração e o movimento da água e a disponibilidade de nutrientes no solo, culminando com a redução da penetração e da ramificação das raízes por excessiva resistência mecânica e aeração deficiente, podendo afetar o desenvolvimento vegetativo da parte aérea das plantas (HAKANSSON & VOORHEES, 1998; RALISCH & TAVARES FILHO, 2002). Além disso, em solos compactados ocorre aumento da erosão e da potência necessária para o preparo do solo (SOANE, 1990).

A infiltração de água junto com a precipitação é um dos mais importantes parâmetros do ciclo hidrológico pois determina a quantidade de água que fica disponível às plantas, o escoamento superficial e o abastecimento dos lençóis freáticos (SILVA & KATO, 1998), além de ser importante o seu conhecimento no dimensionamento de projetos agrícolas de

irrigação, drenagem e conservação do solo e da água.

Em conseqüência da menor condutividade hidráulica do solo, que tem sido utilizada como medida comparativa para avaliação da compactação do solo, ocorre maior escoamento superficial de água, carreando partículas de solo, fertilizantes e defensivos (COLETI & DEMATTÊ, 1982), assoreando e poluindo os cursos de água e o ecossistema.

Solos excessivamente compactados tem sido relatados freqüentemente em locais com grande tráfego de máquinas e equipamentos, resultando em menor condutividade hidráulica (BELTRAME et al., 1981; BEUTLER et al., 2001; STONE et al., 2002). Segundo Pott & de Maria (2003), a infiltração de água determinada por meio de permeâmetros é governada pelo arranjo das partículas do solo mensuráveis através da densidade do solo e porosidade total.

A soja tem sido amplamente cultivada no Brasil, porém, há escassez de estudos mostrando alterações dos atributos físicos causados com o cultivo desta, visto que a maioria dos estudos relata a compactação resultante do tráfego de máquinas sobre o solo e em sistemas de uso e manejo (BEUTLER et al., 2001; STONE et al., 2002).

Este estudo teve o objetivo de determinar a influência da compactação e do cultivo de soja nos atributos físicos e na condutividade hidráulica em um Latossolo Vermelho de textura média.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na fazenda de ensino e pesquisa da Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal (SP), situado nas coordenadas geográficas de 21° 15' 29" de latitude Sul e 48° 16' 53" de longitude Oeste de Greenwich, e altitude de 607 m. O clima é do tipo Cwa, segundo o sistema de Köppen. A precipitação pluviométrica total da semeadura à colheita da soja foi de 996,9 mm (dezembro a abril).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, típico, textura média, A moderado, caulínico hipoférrico (LVd), segundo Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1999). A composição granulométrica foi determinada em amostras deformadas através da dispersão com NaOH (0,1 mol.L⁻¹) e agitação lenta durante 16 horas, sendo o conteúdo de argila obtido pelo método da pipeta (Day, 1965). O LVd apresentou 271 g.kg⁻¹ de argila; 42 g.kg⁻¹ de silte; 687 g.kg⁻¹ de areia; e densidade de partículas de 2,82 Mg.m⁻³.

Foi realizada uma escarificação do solo até 0,30 m de profundidade, seguido de uma gradagem para nivelar o solo. A compactação foi realizada através da passagem de um trator de 11 Mg com os quatro pneus de mesma largura, uma ao lado da outra, perfazendo toda a superfície do solo. Os tratamentos foram T.1= 0; T.2= 1; T.3= 2; T.4= 4 e T.5= 6 passagens de trator 1 dia após a chuva, com 4 repetições, sendo as parcelas de 9 m². Foram coletadas, na entrelinha, amostras de solo com cilindros de 53,16 x 10⁻⁶ m³ nas faixas de profundidades de 0,02 – 0,05; 0,07 – 0,10 e 0,15 – 0,18 m para determinação da densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997), em dezembro de 2002, logo após a semeadura, e após a colheita, ou seja, no final de abril 2003. Com o objetivo de caracterizar as condições naturais do solo foram determinados os atributos físicos do solo sob mata.

Em dezembro de 2002 foi semeada a soja (*Glycine max* cv. EMBRAPA 48), sendo o controle de plantas invasoras e a colheita realizados manualmente, não havendo tráfego de máquinas sobre o solo após a semeadura.

A condutividade hidráulica do solo saturado foi determinada, após a colheita da soja, a 0,08 e 0,15 m de profundidade, com as cargas hidráulicas de 0,03 e 0,06 m de coluna de água, com o permeâmetro de Guelph (modelo 2800KI Guelph Permeameter) (REYNOLDS et al., 1992). As leituras foram feitas no nível de coluna de água no aparelho, as quais foram utilizadas na determinação da condutividade hidráulica do solo que foi calculada pela expressão: $C_{hs} = ((0,0041 * 35,39 * x_1) - (0,0054 * 35,39 * x_2)) * fc$, onde C_{hs} é a condutividade hidráulica do solo saturado (mm.h⁻¹), x_1 é a média das leituras estabilizadas com carga de 0,06 m de coluna de água (cm.s⁻¹), x_2 é a média das leituras estabilizadas com carga de 0,03 m de coluna de água (cm.s⁻¹) e fc é o fator de conversão para mm.h⁻¹ (36000).

Os resultados foram submetidos a análise de variância, segundo o delineamento inteiramente casualizado, para a condutividade hidráulica, e em esquema fatorial 5 x 2 (cinco níveis de compactação e duas épocas de coleta) para a densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo, e quando significativa foi realizada a comparação das médias pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aumento no número de passagens do trator resultou em incrementos da densidade do solo, redução da porosidade total e da macroporosidade e alterando a microporosidade apenas na camada de 0,02 - 0,05 m (Quadro 1). Merotto & Mundstock (1999) e Stone et al. (2002) verificaram que o aumento da densidade do solo refletiu na redução da porosidade total e da macroporosidade do solo sem alterar a microporosidade, pois os poros de maior diâmetro se deformam com maior facilidade.

Quadro 1. Valores médios de densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo na semeadura e após a colheita da soja, nos diferentes tratamentos e profundidades no LVd.

Profundidade m	Semeadura					Colheita					Mata
	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	
Densidade do solo, Mg.m ⁻³											
0,02-0,05	1,19Bc	1,54Ab	1,70Aab	1,74Aa	1,80Aa	1,43Ac	1,53Abc	1,63Aab	1,66Aa	1,78Aa	1,11
0,07-0,10	1,31Bb	1,68Aa	1,76Aa	1,82Aa	1,81Aa	1,50Ab	1,69Aa	1,69Aa	1,75Aa	1,80Aa	1,30
0,15-0,18	1,46Bc	1,64Ab	1,74Aab	1,77Aa	1,78Aa	1,60Ab	1,69Aab	1,68Aab	1,72Aab	1,78Aa	1,38
Porosidade total, m ³ .m ⁻³											
0,02-0,05	0,52Aa	0,39Ab	0,36Abc	0,34Acd	0,32Ad	0,45Ba	0,40Ab	0,37Abc	0,35Ac	0,34Ac	0,45
0,07-0,10	0,50Aa	0,35Ab	0,33Ab	0,32Ab	0,32Ab	0,40Ba	0,35Ab	0,34Ab	0,32Ab	0,32Ab	0,43
0,15-0,18	0,46Aa	0,38Ab	0,36Ab	0,34Ab	0,34Ab	0,39Bb	0,34Ab	0,35Ab	0,34Ab	0,32Ab	0,44
Macroporosidade, m ³ .m ⁻³											
0,02-0,05	0,27Aa	0,10Ab	0,06Abc	0,05Abc	0,04Ac	0,18Ba	0,12Ab	0,09Ab	0,07Ab	0,07Ab	0,28
0,07-0,10	0,24Aa	0,06Ab	0,05Ab	0,04Ab	0,04Ab	0,12Ba	0,07Aa	0,06Aa	0,05Aa	0,05Aa	0,24
0,15-0,18	0,18Aa	0,08Ab	0,06Ab	0,05Ab	0,04Ab	0,11Ba	0,07Aab	0,07Aab	0,07Aab	0,05Ab	0,23
Microporosidade, m ³ .m ⁻³											
0,02-0,05	0,24b	0,29a	0,30a	0,29a	0,28ab	0,26b	0,28a	0,28a	0,28a	0,27ab	0,16
0,07-0,10	0,25a	0,29a	0,28a	0,28a	0,28a	0,28a	0,28a	0,27a	0,27a	0,27a	0,19
0,15-0,18	0,28a	0,30a	0,30a	0,29a	0,29a	0,28a	0,27a	0,28a	0,27a	0,27a	0,21

Médias, na linha, seguidas da mesma letra maiúscula (entre épocas), e minúscula entre tratamentos (na mesma época), não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Verifica-se que uma passagem do trator sobre o solo refletiu em acentuado aumento da densidade do solo, e com o aumento no número de passagens esses incrementos foram menores. Neste sentido, Jakobsen & Greacen (1985) afirmam que a maior parte dos danos causados pela compactação ocorre nas primeiras passadas das máquinas e implementos e, a medida que aumenta o número de passadas no mesmo local, ocorre um aumento menos acentuado da compactação, graças, segundo Ankeny et al. (1990), a maior resistência à deformação dos poros de menor diâmetro em relação aos macroporos e a maior capacidade de suporte de carga.

Ainda, verificou-se que apenas uma passagem do trator de 11 Mg, um dia após a chuva foi suficiente para reduzir a macroporosidade do solo a níveis inferiores a 10%, considerado limitante ao desenvolvimento radicular das plantas (GUPTA & ALLMARAS, 1987), na profundidade de 0,07 – 0,10 e 0,15 – 0,18 m.

Apenas no tratamento 1 ocorreu incremento na densidade do solo e redução da porosidade total e macroporosidade do solo após a colheita. Camargo & Alleoni (1997) afirmam que

após o preparo do solo ocorre o rearranjo das partículas primárias e dos agregados pelo tráfego de máquinas sobre o solo que aplicam energia no sentido de empurrar as partículas do solo umas contra as outras gerando um arranjo compacto. Visto a ausência de tráfego de máquinas após a semeadura até a colheita da soja, esse aumento da compactação ocorreu devido ao rearranjo natural das partículas, aos ciclos de umedecimento e secagem e a pressão exercida pelo impacto das gotas de chuva sobre o solo. Já nos tratamentos compactados no preparo, não ocorreu nenhuma alteração nos atributos físicos após o cultivo da soja (5 meses) e após a precipitação pluvial acumulada de 997 mm que ocorreu durante o ciclo da cultura.

Ainda, verifica-se que os maiores valores de densidade do solo ocorreram na profundidade de 0,07 – 0,10 m e depois ocorreu um decréscimo gradual da compactação do solo. Beutler et al. (2001) verificaram que em sistemas de plantio direto a maior compactação do solo foi verificada a 0,15 m de profundidade, atribuído ao tráfego de máquinas quando o solo está muito úmido e ao não revolvimento do solo.

O aumento da compactação do solo refletiu em decréscimo da condutividade hidráulica do solo de forma direta, nas profundidades de 0,08 e 0,15 m, com alto coeficiente de correlação negativo e significativo a 1% para a densidade do solo, e positivo para a porosidade total e a macroporosidade (Quadro 2). A microporosidade apresentou correlação negativa e não significativa com a condutividade hidráulica no solo, demonstrando ser um parâmetro pouco sensível as variações na compactação do solo. Já Pott & de Maria (2003) obtiveram correlações da condutividade hidráulica negativas próximo a -0,50 com a densidade do solo e positivas próximo a 0,50 com a porosidade total; Beltrame et al. (1981) verificaram decréscimos nos valores de condutividade hidráulica com o aumento da densidade do solo e redução da macroporosidade. Segundo Gent et al. (1984), a diminuição da infiltração de água no solo com o aumento da compactação ocorre devido às modificações no arranjo das partículas do solo, que resulta em diminuição dos macroporos, reduzindo a área da seção transversal para o fluxo de água, aumentando os percursos mais tortuosos e reduzindo a continuidade dos poros para o movimento da água.

Na Figura 1 observa-se acentuado decréscimo da condutividade hidráulica do tratamento 1 (solo solto) para os demais tratamentos, com tráfego, e que não diferiram estatisticamente entre si, apesar de haver tendência da diminuição da condutividade hidráulica com o aumento da compactação. Esse comportamento de queda mais acentuada da condutividade hidráulica no primeiro nível de compactação comparado a solo solto, e depois uma diminuição gradual e pequena da condutividade hidráulica foram verificados por Beltrame et al. (1981), Silva et al. (1986) e Stone et al. (2002), sugerindo que o tamanho dos poros para o fluxo da água deva ser similar, ou seja, a compactação do solo afeta uma

maior porcentagem dos poros de maior diâmetro, conforme verificado neste estudo.

Esta forte relação da condutividade hidráulica com a macroporosidade do solo e a grande variabilidade espacial deste atributo verificado através do alto coeficiente de variação neste estudo (28,6%) e nos estudos de Arzeno (1990), Castro (1995) e Beutler et al. (2001) são responsáveis pela menor sensibilidade deste atributo aos sistemas de uso e manejo e a pequenas diferenças no estado de compactação do solo conforme verificado nos tratamentos 2, 3, 4 e 5 que não diferiram estatisticamente, apesar do tratamento 2 apresentar o dobro da condutividade hidráulica observado no tratamento 5.

Os valores de condutividade hidráulica para os tratamentos 1 e 2 na profundidade de 0,08 m foram classificados como lenta a moderada e os demais como lenta em relação a mata que foi classificada como infiltração rápida (Figura 1), segundo Soil Survey Staff (1993). Já em solos tropicais do Brasil, velocidade básica de infiltração de 15 – 30 mm.h⁻¹ é considerada alta, (REICHARDT, 1987). Isto demonstra a degradação das propriedades físicas do solo com o incremento do tráfego de máquinas em condições de alta umidade no solo. Possivelmente esse efeito negativo do tráfego do trator seria menos acentuado se o solo estivesse mais seco, conforme demonstrado por Camargo & Alleoni (1997).

A condutividade hidráulica foi de 42,4 mm h⁻¹ no solo solto a 0,08 m de profundidade (Figura 1A), ao passo que Pott & de Maria (2003) encontraram condutividade hidráulica de 130 mm.h⁻¹ para o mesmo tipo de solo a 0,10 m de profundidade, porém com apenas 200 g.kg⁻¹ de argila e em sistema de plantio direto. Esse valor superior de condutividade hidráulica encontrada por Pott & de Maria (2003) ocorreu possivelmente devido ao solo ser mais arenoso, e conforme mencionado por Castro (1995), devido a maior continuidade de poros no sistema de plantio direto.

Quadro 2. Correlação dos atributos físicos com a condutividade hidráulica no solo, nas profundidades de 0,08 e 0,15 m.

Profundidade, (m)	Correlações			
	Densidade do solo	Porosidade total	Macroporosidade	Microporosidade
0,08	-0,96**	0,98**	0,98**	-0,38 ^{NS}
0,15	-0,94**	0,96**	0,98**	-0,53 ^{NS}

** Significativo à 1% e ^{NS} não significativo.

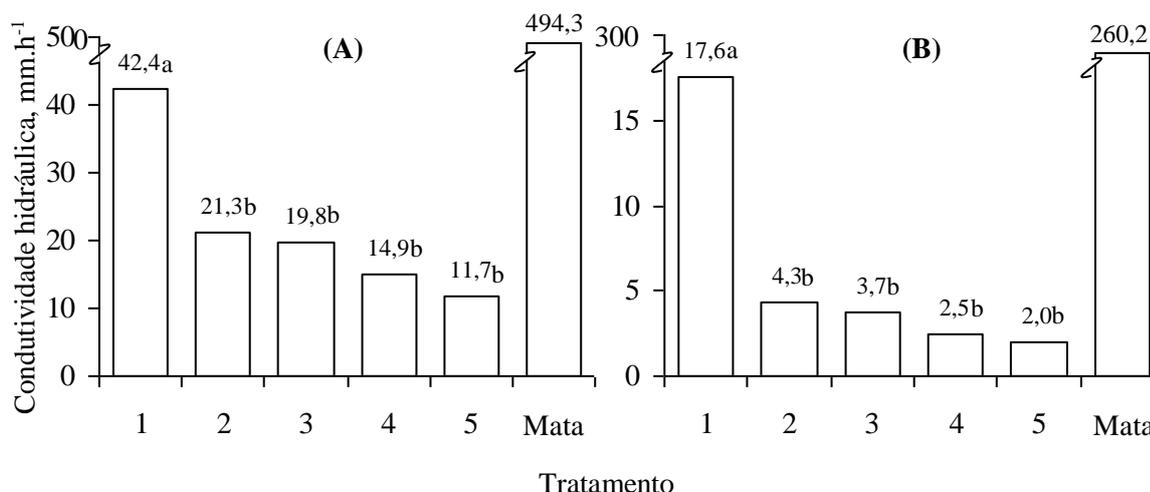


Figura 1. Valores médios de condutividade hidráulica (n= 4) à 0,08 (A) e 0,15 m (B) de profundidade em diferentes níveis de compactação e na mata, no Latossolo Vermelho.

A maior condutividade hidráulica de água na mata em relação ao solo solto e ao solo compactado ocorre devido a quantidade, continuidade e tamanho dos poros que são responsáveis pela infiltração de água no solo, sendo a compactação do solo e a descontinuidade dos poros responsáveis pela redução significativa na condutividade hidráulica (CASTRO & VIEIRA, 1996). Neste sentido, estudos mostram maior condutividade hidráulica em sistemas de plantio direto em relação ao sistema convencional, entre estes, Castro (1995) e Arzeno (1990) que encontraram condutividade hidráulica 2 vezes superior no sistema plantio direto comparado ao convencional, atribuído a maior atividade biológica principalmente da meso e macrofauna do solo, com conseqüente melhoria na estrutura e continuidade dos poros, mesmo com maiores valores de densidade do solo.

Ainda, na profundidade de 0,08 m (Figura 1A) verificou-se valor de condutividade hidráulica bastante superior em relação a profundidade de 0,15 m (Figura 1B) em todos os tratamentos (Figura 1). Isto ocorreu porque a infiltração de água ocorre em todas as direções através deste método, assim, na profundidade de 0,08 m e na carga hidráulica de 0,06 m ocorre infiltração na camada mais superficial que é menos compactada, comparado a profundidade de 0,15 m em que a infiltração ocorre na camada mais compactada do

perfil, conforme pode-se observar através da densidade e macroporosidade (Quadro1).

Além da compactação do solo diminuir a condutividade hidráulica no solo, é importante mencionar que foi observado visualmente que a emergência, crescimento inicial e estande de plantas de soja foi menor com o incremento da compactação do solo; e nos tratamentos mais compactados foi necessário irrigar e remover cerca de 0,03 a 0,05 m de solo sobre as sementes quando estavam germinando devido a formação de uma crosta rígida que não permitiu a emergência natural das plântulas.

6 CONCLUSÕES

O tempo decorrente entre o plantio e a colheita de soja foi suficiente para aumentar a compactação do solo apenas na condição de solo solto.

A compactação do solo reduziu de forma significativa a condutividade hidráulica em relação a condição natural (mata) e a condição de solo solto.

A primeira passada do trator de 11 Mg reduziu significativamente a condutividade hidráulica, a qual não diferiu estatisticamente até seis passadas do trator no mesmo local.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANKENY, M.D.; KASPAR, T.C.; HORTON, R. Characterization of tillage and traffic effects on unconfined infiltration measurements. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, n.3, p.837-840, 1990.
- ARZENO, J.L. **Avaliação física de diferentes manejos de solo em um Latossolo Roxo distrófico**. 1990. 259f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1990.
- BELTRAME, L.F.S.; GONDIM, L.A.P.; TAYLOR, J.C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 5, n.3, p.145-149, 1981.
- BEUTLER, A.N. et al. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.25, n.1, p.167-177, 2001.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo, 1997. 132p.
- CASTRO, O.M. **Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função de seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 1995. 174f. Tese (Doutorado Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1995.
- CASTRO, O.M.; VIEIRA, S.R. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo sob três sistemas de preparo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO “SOLO-SUELO 96”, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 1 CD-ROM.
- COLETI, J.T.; DEMATTÊ, J.L.I. Compactação artificial em solos. Experiências e dados informativos. **Álcool e Açúcar**, São Paulo, v.2, n.9, p.34-38, 1982.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle size analyses. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: America Society of Agronomy, 1965. p.545-566.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises do solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999. 412 p.
- GENT, J.A. et al. Impact of harvesting and site preparation on physical properties of piedmont forest soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.48, n.1, p.173-177, 1984.
- GUPTA, S.C.; ALLMARAS, R.R. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. **Advances in Soil Science**, New York, v.6, n.1, p.65-100, 1987.
- HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B. Soil compaction. In: LAL, R. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation**. **Advances in soil science**. Boca Raton: CRS Press, 1998. p.167-179.
- HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. San Diego: Academic Press, 1982. 264 p.
- JAKOBSEN, B.F.; GREACEN, E.L. Compaction of sandy forest soils by forwarder operations. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.5, n.1, p.55-70, 1985.
- MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.197-202, 1999.
- POTT, C.A.; DE MARIA, I.C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p.19-27, 2003.
- RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J. Compactação: uma preocupação pertinente. **A Granja**, Porto Alegre, v.646, p.55-57, 2002.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo, 1987. 188 p.

REYNOLDS, W.D.; VIEIRA, S.R.; TOPP, G.C. An assessment of the single-head analysis for the constant head well permeameter. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.72, n.4, p.489-501, 1992.

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, n.2, p.91-95, 1986.

SILVA, C.L.; KATO, E. Avaliação de modelos para previsão da infiltração de água em solos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária**

Brasileira, Brasília, v.33, n.7, p.1149-1158, 1998.

SOANE, B.D. The role of organic matter in soil compatibility: A review of some practical aspects. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.16, n.1-2, p.179-201, 1990.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington: United States Department of Agriculture. U.S. Gov. Print. Office, 1993. 437 p. (Handbook 18).

STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.207-212, 2002.