

Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio⁽¹⁾

Renato de Mello Prado⁽²⁾, Cassiano Garcia Roque⁽²⁾ e Zigomar Menezes de Souza⁽²⁾

Resumo – O manejo inadequado do solo causa a sua degradação e à queda no rendimento de muitas culturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar alterações na resistência à penetração e na densidade do solo em razão de sistemas de preparo do solo, durante e após o cultivo intensivo e após cinco anos de pousio em um Latossolo Vermelho eutrófico. Foram estudados dois sistemas de preparo do solo, com grade aradora e preparo reduzido com enxada rotativa e três épocas de amostragem compreendendo os anos agrícolas 1992/1993, 1993/1994 (sob cultivo intenso) e 1999/2000 (cinco anos sob pousio). Na avaliação dos sistemas de preparo do solo, nas diferentes épocas de amostragens, foram utilizados como parâmetros a resistência à penetração e a densidade do solo. Os sistemas de preparo do solo afetaram significativamente a resistência à penetração e a densidade do solo nas profundidades estudadas. No solo submetido a longo período de pousio, a resistência à penetração sofreu aumento significativo, comparado ao solo sob cultivo intenso, independentemente do sistema de preparo de solo anteriormente utilizado. Após cinco anos em pousio, a densidade do solo foi maior no sistema de preparo do solo com grade aradora do que no sistema de preparo com enxada rotativa.

Termos para indexação: grade, enxada, cultivador rotativo, compactação do solo.

Resistance to penetration and density of a soil submitted to different systems of tillage and cultivations

Abstract – Inadequate handling leads to the degradation and the decrease in the yield of many crops. The objective of this work was to evaluate the alterations in the resistance to penetration and density of soil due to systems tillage, during and after the intensive cultivation and after five years of fallow in a Red Eutrophic Latosol (Eutradox). Two tillage systems (tillage with harrow plow and reduced tillage with rotary tilling) and three sampling times comprising the agricultural years 1992/1993, 1993/1994 (under intense cultivation) and 1999/2000 (five years under fallow) were studied. For the evaluation of the systems of tillage at different times of samplings, the resistance to penetration and the density of soil were used as parameters. The systems of tillage affected significantly the resistance to penetration and density of soil in the studied depths. In soil submitted to long fallow period, the resistance to penetration increased significantly, compared to the soil under intense cultivation, independently of the system of tillage previously used. The system of tillage with harrow plow was responsible for the largest density of soil after long fallow period.

Index terms: harrows, hoes, rotary cultivators, soil compaction.

Introdução

A mecanização agrícola é um componente básico na maioria das estratégias de desenvolvimento rural

e no aumento da produtividade. No entanto, sua introdução desordenada, sem adaptação prévia aos diferentes tipos de solos, pode ocasionar uma rápida e contínua degradação desse recurso natural (Siqueira, 1999).

O uso intensivo de máquinas e implementos na agricultura moderna pode modificar as propriedades do solo, em relação àquelas de seu estado natural. Têm sido detectadas camadas compactadas subsuperficiais causadas pelo intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas, que provocam pressões na superfície do solo (Mantovani, 1987),

⁽¹⁾ Aceito para publicação em 10 de julho 2002.

⁽²⁾ Universidade Estadual Paulista, Fac. de Ciências Agrárias e Veterinárias, Dep. de Solos e Adubos, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/nº, CEP 14870-000 Jaboticabal, SP. Bolsista da Fapesp. E-mail: rmp Prado@fcav.unesp.br, cgroque@fcav.unesp.br, zigomar@fcav.unesp.br

afetando a sua densidade (Moraes & Benez, 1996), degradando a macroestrutura e reduzindo o grau de flocculação da argila do solo (Prado & Centurion, 2001).

A compactação do solo é um processo que leva ao aumento de sua resistência, redução da porosidade, da continuidade de poros, da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e água. Esse processo afeta o crescimento e o desenvolvimento radicular, aumenta a densidade do solo, as perdas de N por desnitrificação, o consumo de combustível das máquinas no preparo dos solos compactados e aumenta a erosão do solo pela menor infiltração de água (Soane & Ouwerkerk, 1994). Por diminuir a macroporosidade, a água retida nos microporos permanece sob altas tensões indisponível para as plantas (Kertsmann, 1996).

Com a crescente preocupação dos pesquisadores e agricultores em preservar os recursos naturais, principalmente o solo, torna-se necessário minimizar a mobilização do mesmo e manter quantidades razoáveis de resíduos vegetais sobre a sua superfície. Assim, surgiram novas tecnologias, como o cultivo mínimo que, em relação ao preparo convencional, desagrega menos o solo e mantém maior quantidade de resíduos vegetais na sua superfície (Furlani, 2000).

Na avaliação da resistência mecânica à penetração de raízes no solo, têm sido utilizados, na maioria das pesquisas, estudos de penetrometria por causa da facilidade e rapidez na obtenção dos resultados (Bengough & Mullins, 1990), apesar das diferenças entre uma raiz e um cone metálico (Barley & Greacen, 1967). Além disso, a dependência dos resultados, em relação ao teor de água e densidade do solo, dificulta sua interpretação (Klein & Boller, 1995; Klein et al., 1998).

No Brasil, há uma deficiência de estudos sobre o efeito do pousio por longo período, partindo de sistemas intensivos de cultivo nas propriedades físicas do solo, uma vez que a maioria dos trabalhos sobre o manejo do solo e as modificações de suas propriedades físicas comparam diferentes sistemas de manejo com a mata nativa.

O conhecimento dessas alterações, em condições específicas de solo e clima, é importante no entendimento da potencialidade dos sistemas de manejo em relação às condições físicas do solo e na adoção de

práticas para contornar limitações advindas da sua utilização.

O objetivo deste trabalho foi avaliar alterações na resistência à penetração e na densidade do solo em razão de sistemas de preparo do solo, durante o cultivo intensivo e após cinco anos de pousio em um Latossolo Vermelho eutrófico.

Material e Métodos

O experimento foi realizado na área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (Unesp), Campus de Jaboticabal, SP, com 21°18'58" W, 21°15'22" S e altitude de 570 m. O clima, conforme o sistema de Köppen, é do tipo Cwa. O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho eutrófico (Aloisi & Demattê, 1974). Sua composição granulométrica, nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente, apresentou, em g kg⁻¹, areia total: 182, 183, 183; silte: 234, 180 e 175; argila: 584, 637 e 642.

A área, em 1991, foi cultivada com milho e em 1992, iniciou-se um sistema intensivo de manejo com a sucessão de milho e feijão por dois anos, em diferentes sistemas de preparo do solo, cujos resultados foram apresentados por Coan (1995). A partir desse trabalho, foram utilizados, no presente estudo, dados de alguns atributos físicos do solo submetido aos sistemas de preparo grade aradora e enxada rotativa. Após 1994, a área permaneceu em pousio, e sua cobertura vegetal espontânea foi submetida a três roçadas por ano. Em março de 1999, avaliou-se o efeito residual dos sistemas de preparo do solo em seus atributos físicos.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com parcelas subdivididas, e quatro repetições. Os tratamentos de sistemas de preparo de solo e de épocas de amostragem estão na parcela e a profundidade de amostragem na subparcela. Foram dois sistemas de preparo de solo – preparo com grade aradora e preparo reduzido com enxada rotativa – e três épocas de amostragem, compreendendo os anos agrícolas de 1992/1993, 1993/1994 (sob cultivo intenso) e 1999/2000 (após pousio por cinco anos). A área útil de cada parcela era de 100 m² (10x10 m). Utilizou-se grade aradora (18 discos x 0,66 m) com 2,25 m de largura, acoplada a trator com potência nominal do motor de 118 cv, operando a 1.900 rpm e marcha 2ª M (pneus 18.4-30). A enxada rotativa era equipada com seis flanges e lâmina tipo veloz, com 1,22 m de largura. Foi utilizado o trator de pneus com potência nominal do motor de 75 cv, operando a 1.800 rpm e marcha 2ª R (pneus 18.4-30). A caixa seletora da enxada foi regulada para 153 rpm, operando com o anteparo traseiro levantado.

Na avaliação dos sistemas de preparo do solo, nas diferentes épocas de amostragem, foram utilizadas como parâmetros a resistência à penetração e a densidade do solo nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20; 0,20-0,25; 0,25-0,30; 0,30-0,35; 0,35-0,40 m e 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente.

Na determinação da resistência mecânica à penetração, utilizou-se um penetrômetro, com capacidade de carga de 150 kgf, precisão de 0,001 kgf, provido de uma haste de 0,65 m de comprimento, equipado com cone confeccionado em aço (INOX AISI 516), com inclinação de 30° e diâmetro de 0,2027 m. Foram tomados cinco pontos por parcela em diagonal, em sentidos perpendiculares, nas respectivas profundidades. Os valores de leitura foram obtidos em kgf/cm² e, posteriormente, transformados em MPa (1 kgf/cm² = 0,0981 MPa).

Na avaliação da densidade do solo, foram retiradas amostras em três profundidades através de cilindros padronizados (volume de 10⁻⁴ m³) com auxílio de amostrador, tomando-se três pontos em diagonal por parcela. Utilizou-se o método de Ulhand, descrito por Daniel & Maretti (1990). Na determinação do teor de água no solo pelo método gravimétrico padrão, foram retiradas três amostras em cada parcela, com trado do tipo holandês em três profundidades (0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m). As amostras foram retiradas um dia antes do preparo do solo da sua respectiva época de amostragem, juntamente com as determinações da resistência do solo à penetração.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, usando-se o software Statistical Analysis System (SAS Institute, 1995).

Resultados e Discussão

Resistência à penetração

Concomitantemente às leituras de resistência à penetração, foram tomados dados da umidade do solo e observou-se, no perfil analisado (0,00-0,40 m), que a umidade estava homogênea nos dois sistemas de preparo do solo em cada época de amostragem. Os resultados médios da umidade do solo para o ano 1992/1993 foram de 0,258, 0,267 e 0,274 kg kg⁻¹ nas profundidades de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente; no ano 1993/1994 foram de 0,243, 0,245 e 0,255 kg kg⁻¹ e no ano de 1999/2000, foram de 0,255, 0,248 e 0,245 kg kg⁻¹, respectivamente às profundidades estudadas.

O efeito dos sistemas de preparo do solo nos valores de resistência à penetração foi condicionado pela época de amostragem e profundidade estudadas, de forma que resultou em interações dupla: profundidade x sistema e, tripla: profundidade x sistema x época (Tabela 1).

Na última época de amostragem (1999/2000), a resistência à penetração aumentou nas camadas entre 0,00 e 0,25 m no sistema de preparo com grade aradora e no sistema de preparo reduzido com enxada rotativa, o aumento ocorreu nas camadas entre 0,10 e 0,40 m (Tabela 2). Este fato mostra que o cultivo intenso com sucessão de cultura pode até reduzir a resistência à penetração, comparado com uma área deixada em pousio. Isto deve-se ao fato de que, no sistema intensivo de cultivo, as operações de

Tabela 1. Resultados da análise da variância em relação à resistência à penetração e densidade do solo⁽¹⁾.

Fonte de variação	GL		QM	
	Resistência à penetração	Densidade do solo	Resistência à penetração	Densidade do solo
Sistema	1	1	2,1357 ^{ns}	0,0678**
Época	2	2	42,5889**	0,1285**
Sistema x época	2	2	0,8917 ^{ns}	0,0783**
Rep (sistema x época) (erro a)	6	6	0,4000*	0,0039**
Profundidade	7	2	0,4394*	0,0013 ^{ns}
Profundidade x sistema	7	2	0,4307*	0,0002 ^{ns}
Profundidade x época	14	4	0,2823 ^{ns}	0,0001 ^{ns}
Profundidade x sistema x época	14	4	0,3480*	0,0012 ^{ns}
Erro (b)	138	48	0,1814	0,0010

⁽¹⁾^{ns}Não-significativo. * e **Significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente; os coeficientes de variação quanto à resistência à penetração e à densidade do solo foram, respectivamente, de 19,40% e 2,31%.

revolvimento do solo, realizadas de forma adequada, tendem a aumentar a sua macroporosidade. O preparo do solo realizado ocorreu quando ele se encontrava com umidade abaixo do ponto crítico de compactação, sugerido por Figueiredo et al. (2000) para a mesma classe de solo em estudo, a qual recomenda que operações motomecanizadas devem ser executadas quando a umidade do solo for menor que 0,29 kg kg⁻¹. Assim como na época de preparo do solo a umidade estava abaixo da crítica de compactação (0,24 a 0,27 kg kg⁻¹), isto pode ter contribuído para evitar um eventual aumento da resistência à penetração.

Por outro lado, no solo submetido ao pousio por longo período, a resistência à penetração aumentou significativamente, atingindo valores acima de 2,0 MPa (Tabela 2). Segundo Tormena & Roloff (1996), valores de resistência à penetração acima de 2,0 MPa são considerados impeditivos para o crescimento de raízes no solo. Portanto, ambos os sistemas de preparo do solo não apresentaram efeito residual por longo período, pois os valores de resistência à penetração foram impeditivos ao crescimento das raízes em todas as profundidades estudadas após cinco anos de pousio.

Furlani (2000) também constatou que o solo quando submetido ao pousio apresentou aumento da resistência à penetração. Voorhees & Lindstrom (1984) relataram que isto ocorre por causa do pousio expor o solo à ação direta da chuva, levando-o à desagregação, uma vez que as plantas daninhas espontâneas

não são capazes de promover continuamente adequada cobertura do solo em termos quantitativo e qualitativo e produzem baixa quantidade de biomassa. Além disso, segundo Favero et al. (2000), o acúmulo de nutriente é menor se comparado a outras culturas próprias para a adubação verde.

As interações podem ser explicadas pelo fato de que o sistema de preparo com grade aradora tendeu a propiciar resistência à penetração menor somente na camada subsuperficial (0,25-0,40 m), ao passo que, no preparo do solo com enxada rotativa, este fato ocorreu na camada superficial (0,00-0,10 m), e estes resultados ocorreram apenas na amostragem de 1999/2000 (Tabela 2). Desse modo, para o ano de amostragem de 1999/2000, constatou-se correlação significativa entre a profundidade (x) e a resistência à penetração (y), ou seja, houve uma redução da resistência à penetração com a profundidade no preparo do solo com grade aradora ($y = 3,72 - 0,1786x$, $r = 0,93^{**}$) e um aumento linear desse parâmetro com a enxada rotativa ($y = 2,87 + 0,1056x$, $r = 0,56^*$). Esses efeitos diferenciados dos sistemas de preparo ao longo do perfil do solo devem-se à sua ação diferenciada na camada mobilizada de solo. Esta maior compactação subsuperficial da enxada rotativa pode ser atribuída à conformação das enxadas, que promovem um espelhamento do solo logo abaixo do ponto de contato das enxadas com o solo. A ocorrência da compactação da camada subsuperficial, denominada "pan", foi relatada por Borresen & Nijos (1993).

Tabela 2. Valores médios de resistência à penetração nos sistemas de preparo do solo, épocas de amostragem e profundidades estudadas⁽¹⁾.

Época de amostragem	Profundidade (m)							
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0,20-0,25	0,25-0,30	0,30-0,35	0,35-0,40
----- (MPa) -----								
Grade Aradora								
1992/1993	2,13Aa	2,13ABa	2,03Aa	1,89Aa	1,75ABa	1,64Aa	1,58Aa	1,60Aa
1993/1994	1,61Aa	1,51Aa	1,44Aa	1,38Aa	1,55Aa	1,51Aa	1,53Aa	1,51Aa
1999/2000	3,62Ba	3,01Ba	3,33Ba	3,18Ba	2,94Ba	2,57Aa	2,46Aa	2,23Aa
Enxada rotativa								
1992/1993	1,93Aa	1,93Aa	1,88Aa	2,01Aa	1,81Aa	1,66Aa	1,58Aa	1,57Aa
1993/1994	1,82Aa	1,88Aa	1,75Aa	1,78Aa	1,71Aa	1,75Aa	1,69Aa	1,71Aa
1999/2000	2,93Aa	2,36Aa	3,57Ba	3,76Ba	3,72Ba	3,51Ba	3,38Ba	3,50Ba

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto à profundidade na mesma época de amostragem, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto à época de amostragem na mesma profundidade, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Densidade do solo

Em relação aos valores de densidade do solo, não se observaram diferenças significativas entre os tratamentos por profundidade, tampouco entre médias de profundidades e interação entre tratamentos e profundidade (Tabela 1). Porém, houve interação entre o sistema de preparo do solo e época de amostragem para o presente atributo, e, com isso, efetuou-se o desdobramento dos tratamentos.

Nos dois sistemas de preparo do solo, houve diferença em relação à sua época de amostragem, e a maior densidade do solo ocorreu no sistema de preparo com grade aradora, na época de amostragem de 1999/2000, após cinco anos em pousio (Tabela 3). Wutke et al. (2000) também verificaram aumento da densidade do solo sob pousio, e argumentaram que isto faz com que haja redução dos fluxos de ar, água e dos espaços vazios, e aumento da resistência à penetração, com prejuízos ao crescimento do sistema radicular. A menor densidade do solo foi promovida pela enxada rotativa, comparada com grade aradora, na época de amostragem de 1999/2000, especialmente na camada superficial do solo.

Os menores valores para a densidade do solo, nos dois sistemas de preparo, ocorreram na época de amostragem de 1992/1993, e um pequeno aumento deste atributo foi verificado no cultivo subsequente (1993/1994). Portanto, dentro do sistema intensivo de cultivo (1992/1993 e 1993/1994), não há diferenças entre os sistemas de preparo do solo com grade aradora e enxada rotativa, quanto às alterações na sua densidade.

O sistema de preparo com grade aradora apresentou maiores valores de densidade do solo em relação à enxada rotativa apenas no ano de 1999/2000. Isso se deve, provavelmente, ao arranjo natural que o solo tende a apresentar quando deixa de sofrer manipulação mecânica (Fernandes et al., 1983; Cavenage et al., 1999).

Interação densidade do solo e resistência à penetração

Como houve efeito diferenciado dos sistemas de preparo na resistência à penetração e na densidade do solo (Tabela 1), optou-se por correlacionar estas variáveis e constatou-se que não houve correlação entre elas (Figura 1). Segundo Larson (1964), a au-

Tabela 3. Valores médios de densidade do solo nas camadas entre 0,00 e 0,40 m nos sistemas de preparo e épocas de amostragem do solo⁽¹⁾.

Sistema de preparo	Época de amostragem		
	1992/1993	1993/1994	1999/2000
	----- (kg dm ⁻³) -----		
Grade aradora	1,32Aa	1,40Ab	1,56Bc
Enxada rotativa	1,32Aa	1,41Ab	1,37Ac

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto à época de amostragem, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto ao sistema de preparo, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; as camadas entre 0,00 e 0,40 m foram: 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20; 0,20-0,25; 0,25-0,30; 0,30-0,35; e 0,35-0,40 m.

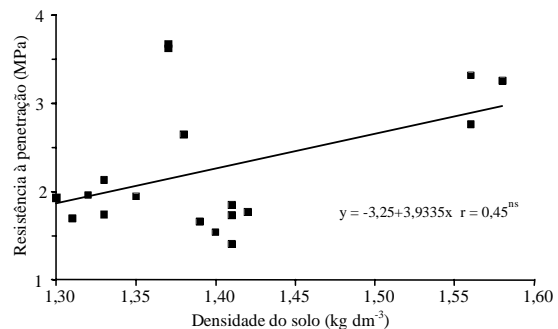


Figura 1. Relação entre a resistência à penetração (y) e a densidade (x) do Latossolo Vermelho eutrófico, na camada de 0,00-0,40 m (média de dois sistemas de preparo do solo e três épocas de amostragem).

sência de correlação entre essas duas variáveis é por causa de que a densidade do solo não é uma medida direta da resistência à penetração, porque não mede o tamanho dos poros e rigidez do solo.

Conclusões

1. Os sistemas de preparo do solo afetam a resistência à penetração e a densidade do solo.
2. A resistência à penetração aumenta quando o solo é submetido a longo período de pousio, independentemente do sistema de preparo anteriormente utilizado.
3. Após cinco anos em pousio, a densidade do solo é maior no sistema de preparo do solo com grade aradora do que no sistema de preparo com enxada rotativa.

Agradecimentos

À Fazenda de Ensino e Pesquisa da FCAV/Unesp, pelo apoio na execução do experimento e ao CNPq, pelo auxílio financeiro.

Referências

- ALOISI, R. R.; DEMATTÊ, J. L. I. Levantamento de solos da Faculdade de Medicina Veterinária e Agronomia de Jaboticabal. **Científica**, Jaboticabal, v. 2, n. 2, p. 123-136, 1974.
- BARLEY, K. P.; GREACEN, E. L. Mechanical resistance as a soil factor influencing the growth of roots underground shoots. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, n. 1, p. 1-43, 1967.
- BENGOUGH, A. G.; MULLINS, G. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, London, v. 41, n. 3, p. 341-358, 1990.
- BORRESEN, T.; NIJOS, A. Ploughing and rotary cultivation for cereal production in a long-term experiment on a clay soil in southeastern Norway - 1: soil properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 97-108, 1993.
- CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 4, p. 997-1003, 1999.
- COAN, O. **Sistemas de preparo do solo**: efeitos sobre a camada mobilizada e no comportamento das culturas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e do milho (*Zea mays* L.), conduzidas em rotação. 1995. 138 f. Tese (Livre Docência) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1995.
- DANIEL, L. A.; MARETTI, H. J. Avaliação da camada de solo compactada e análise de crescimento de plantas. In: CICLO DE ESTUDOS SOBRE MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA, 4., 1990, Jundiá. **Anais...** São Paulo: Fundação Cargill, 1990. p. 12-21.
- FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; COSTA, L. M.; ALVARENGA, R. C.; NEVES, J. C. L. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 171-177, 2000.
- FERNANDES, B.; GALLOWAY, H. M.; BRONSON, R. D.; MANNERING, J. V. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros, em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapludalf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 7, n. 1, p. 329-333, 1983.
- FIGUEIREDO, L. H. A.; DIAS JÚNIOR, M. S.; FERREIRA, M. M. Teor de água crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Vermelho eutrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 3, p. 487-493, 2000.
- FURLANI, C. E. **Efeito do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2000. 218 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.
- KERTZMANN, F. F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um Latossolo Vermelho eutrófico provocados pela compactação**. 1996. 153 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- KLEIN, V. A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes métodos de manejos do solo e métodos de semeadura em área sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 395-398, 1995.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 2, p. 45-54, 1998.
- LARSON, W. E. Soil parameters for evaluating tillage needs and operations. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 28, n. 1, p. 118-122, 1964.
- MANTOVANI, E. C. Máquinas e implementos agrícolas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n. 1, p. 56-63, 1987.
- MORAES, M. H.; BENEZ, S. H. Efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo em algumas propriedades físicas de uma terra roxa estruturada e na produção de milho para um ano de cultivo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, n. 2, p. 31-41, 1996.

- PRADO, R. M.; CENTURION, J. F. Alterações na cor e no grau de flocculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 197-203, jan. 2001.
- SAS INSTITUTE (Cary, Estados Unidos). **SAS/SAT user's guide**: version 6. Cary, 1995. 1686 p.
- SIQUEIRA, R. **Sistemas de preparo em diferentes tipos de coberturas vegetais do solo**. 1999. 191 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.
- SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. van. Soil compaction problems in world agriculture. In: ____ (Ed.). **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 1-21.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 20, n. 2, p. 333-339, 1996.
- VOORHEES, W. B.; LINDSTROM, M. J. Soil compaction on conservation tillage in the northern corn belt. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 38, n. 5, p. 307-311, 1984.
- WUTKE, E. B.; ARRUDA, F. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. N. A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G. M. B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 3, p. 621-633, 2000.