



Acta Scientiarum. Agronomy

ISSN: 1679-9275

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá
Brasil

Arantes Rodrigues da Cunha, João Paulo; Nery Cascão, Vinicius; Fialho dos Reis, Elton
Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo
Acta Scientiarum. Agronomy, vol. 31, núm. 3, julio-septiembre, 2009, pp. 370-375
Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303026588001>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo

João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha^{1*}, Vinicius Nery Cascão¹ e Elton Fialho dos Reis²

¹Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Umuarama, 38400-902, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. ²Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, Goiás, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: jpcunha@iciag.ufu.br

RESUMO. O objetivo deste trabalho foi avaliar a compactação do solo causada pelo tráfego de trator, em um Latossolo Vermelho distroférrico submetido a diferentes tipos de preparo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com arranjo de parcelas subdivididas, considerando os tipos de preparo de solo como tratamentos principais e o número de passadas do trator como tratamentos secundários. Como tratamentos de preparo de solo, além de uma testemunha sem movimentação, foram avaliados: aração com 18 cm de profundidade, aração com 18 cm de profundidade, seguida de gradagem a 10 cm e subsolagem a 40 cm de profundidade. Após o preparo, foi avaliada a resistência do solo à penetração, por meio de um penetrômetro eletrônico, antes da passagem do trator e após uma, três, cinco e sete vezes a passagem do trator na mesma linha de tráfego. Também se realizou a avaliação de densidade do solo. Concluiu-se que quanto maior a pulverização do solo, maior foi o potencial de compactação. Solos recentemente arados e gradeados foram mais susceptíveis à compactação do que solos somente arados ou subsolados. O efeito do tráfego do trator concentrou-se principalmente na camada superficial, e a primeira passada foi a que mais provocou compactação do solo.

Palavras-chave: física do solo, preparo do solo, resistência à penetração.

ABSTRACT. Soil compaction induced by tractor traffic in different soil managements. The objective of this work was to evaluate soil compaction induced by tractor traffic in a Red Latosol (Typic Acrustox), submitted to different soil managements. The experiment was arranged in a subdivided parcel scheme, with types of soil tillage as the primary soil treatments and the number of tractor passes as secondary treatments. In addition to a control treatment without soil tillage, the treatments were: tilling to a depth of 18 cm, a tilling to a depth of 18 cm followed by harrow use at a depth of 10 cm, and a 40-cm deep subsoil tilling. After preparing the parcels, soil penetration resistance was measured with an electronic penetrometer, before tractor passes and after 1, 3, 5 and 7 tractor passes on the same track. Soil density was also evaluated. It was concluded that the greater the pulverization during soil tillage, the greater the potential for compaction. Recently tilled soils (plough + harrow) were more susceptible to compaction than soils that were just tilled or deeply tilled. The effect of tractor traffic was chiefly concentrated on a superficial layer. The first tractor pass caused the greatest soil compaction, while the effect of subsequent passes was smaller.

Key words: soil physical characteristics, soil tillage system, resistance to penetration.

Introdução

A mecanização agrícola é um importante componente na maioria dos sistemas de produção agrícola. No entanto, sua introdução maciça, sem qualquer adaptação prévia aos diferentes tipos de solo pode ocasionar rápida e contínua degradação deste recurso natural (REIS et al., 2007).

O avanço da engenharia contribuiu bastante para o incremento na potência dos tratores e, com isso, os estudos se intensificaram na busca de máquinas e

sistemas mais eficientes de tração e, consequentemente, mais eficientes no preparo do solo. Contudo, esse incremento no peso e na potência dos tratores pode gerar alguns problemas ao solo, como a compactação (ANSORGE; GODWIN, 2008; HEMMAT; ADAMCHUK, 2008).

A compactação do solo é um processo em que a porosidade e a permeabilidade são reduzidas e a resistência é aumentada, em virtude de cargas ou pressões aplicadas. Esse processo afeta o crescimento e o desenvolvimento radicular, aumenta a densidade

do solo, as perdas de nitrogênio por desnitrificação, o consumo de combustível das máquinas no preparo dos solos e a erosão do solo pela menor infiltração de água (ABREU et al., 2004; SILVA et al., 2006; BOTTA et al., 2008). Além disso, por diminuir a macroporosidade, a água retida nos microporos permanece sob altas tensões, apresentando baixa disponibilidade para as plantas.

A resistência do solo à penetração, medida por penetrômetros, tem sido utilizada como parâmetro importante na identificação das condições físicas que determinam o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas (HERRICK; JONES, 2002; MOTAVALLI et al., 2003; REINERT et al., 2007). Elevados valores de resistência do solo à penetração indicam compactação e influenciam negativamente o crescimento das plantas e do seu sistema radicular. O valor de resistência à penetração de 2000 kPa tem sido aceito como limite crítico impeditivo para o crescimento de raízes. No entanto, esse valor pode variar em função da cultura trabalhada (WATANABE et al., 2000). O sistema radicular das plantas é afetado quando os valores observados forem maiores do que os críticos para cada cultura.

O solo, no sistema de plantio direto, geralmente apresenta maiores valores de densidade e microporosidade, e menores valores de macroporosidade e porosidade total, nas camadas superficiais do perfil, em comparação com o preparo convencional, podendo prejudicar o desenvolvimento das plantas (MAHL et al., 2008). Isto é decorrente, principalmente, do não-revolvimento do solo e da movimentação de máquinas e implementos agrícolas. No entanto, Goedert et al. (2002) verificaram não haver problemas de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto por um longo período. Strudley et al. (2008), estudando o efeito do preparo de solo em suas propriedades hidráulicas, mostra que o preparo convencional e o plantio direto podem produzir diferentes resultados, dependendo de cada situação.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a compactação do solo causada pelo tráfego de trator, em um Latossolo submetido a diferentes tipos de preparo.

Material e métodos

O presente trabalho foi realizado na Fazenda Experimental Capim Branco, localizada no município de Uberlândia, Estado de Minas Gerais, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, com textura superficial

muito argilosa (Tabela 1), determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). A umidade do solo, na capacidade de campo determinada a 300 kPa (0,3 bar) de tensão, foi de 30,6%.

Tabela 1. Textura do solo nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm.

Profundidade (cm)	Areia	Silte ----- g kg ⁻¹ -----	Argila	Classe textural
0 a 20	71	166	763	Muito argiloso
20 a 40	73	145	782	Muito argiloso

Foram avaliadas a densidade e a resistência do solo à penetração, o qual foi submetido a diferentes tipos de preparo, antes e após o tráfego de um trator em diferentes números de passadas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com arranjo de parcelas subdivididas, considerando os tipos de preparo de solo como tratamentos principais, e o número de passadas do trator, como tratamentos secundários, com quatro repetições.

Como tratamentos de preparo de solo, foram avaliados três tipos de mobilização: uma aração com 18 cm de profundidade, uma aração com 18 cm de profundidade, seguida de uma gradagem a 10 cm e uma subsolagem a 40 cm de profundidade. No tratamento testemunha, não ocorreu movimentação do solo.

Após o preparo das parcelas com os tratamentos descritos, foi avaliada a resistência à penetração e a umidade do solo, antes da passagem do trator e após uma, três, cinco e sete vezes a passagem do trator na mesma linha de tráfego.

A resistência do solo à penetração foi determinada nas profundidades de 0 a 60 cm, empregando-se um penetrômetro eletrônico Falker PLG 1020, com sistema de aquisição automático de dados, seguindo-se a norma ASAE S 313.3 (ASABE, 2006). A velocidade de penetração da haste foi mantida próxima a 30 mm s⁻¹, de acordo com a instrumentação do aparelho. Foi utilizado um cone com diâmetro de 12,83 mm e ângulo de penetração de 30°. A resolução do equipamento é de 7,7 kPa e o índice de cone máximo permitido de 7700 kPa.

A amostragem foi feita em cinco pontos aleatórios de cada parcela, obtendo-se os dados de resistência do solo à penetração com resolução de medida de profundidade de 10 mm. Posteriormente, foi calculado o índice de cone para as profundidades de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm. A avaliação da umidade do solo foi feita pelo método da estufa.

Para simular a compactação promovida pelo tráfego do trator dentro de uma lavoura, foi utilizado um trator agrícola Massey Ferguson 4 x 2 modelo MF290, com potência de 60,35 kW (82 cv),

trabalhando com rotação do motor de 1.800 rpm na terceira marcha reduzida. Ele apresentava pneus traseiros Pirelli TM 95 – 18.4 – 34, com dez lonas, juntamente com dois lastros de 50 kg e $\frac{3}{4}$ de água em cada pneu, à pressão de 97 kPa (14 psi), e pneus dianteiros Maggion MTF2 – 7.50 – 18, à pressão de 276 kPa (40 psi), com seis lastros metálicos frontais de 15 kg.

Para a aração, foi utilizado um arado de disco fixo, com três discos lisos de 61 cm (24”) de diâmetro. Para a gradagem, foi utilizada uma grade destorreadora off-set, com 24 discos recortados de 56 cm (22”), e para a subsolagem, um subsolador com sete hastes parabólicas de 60 cm, espaçadas de 60 cm.

Também foi realizada avaliação de densidade do solo. As amostras foram coletadas imediatamente após o preparo do solo, em quatro repetições, e após as sete passadas do trator no mesmo local, no centro do rastro, na profundidade de 0 a 20 cm. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), utilizando amostras indeformadas, retiradas com amostrador tipo Uhland e anel de aço de Kopecky de bordas cortantes, com volume interno de 80 cm³.

As parcelas experimentais foram constituídas de 60 m². A análise estatística dos resultados foi baseada na análise de variância e, quando significativa, foi aplicado o teste de Scott-Knott, a 5% de significância. Para avaliar o efeito do tráfego do trator na compactação do solo, considerou-se a diferença entre os índices de cone obtidos antes e depois da passagem do trator, com o objetivo de verificar o acréscimo na compactação promovido pela passagem do trator nas diferentes profundidades, conforme metodologia apresentada por Cunha (2003).

Resultados e discussão

Na Tabela 2, é apresentado o efeito dos diferentes preparos de solo no índice de cone, para as profundidades de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm, antes do tráfego do trator, considerando umidade de solo média de 24,8%. O teor de água no solo, determinado em cada parcela, não diferiu estatisticamente entre os tratamentos. Nota-se que não houve diferença significativa do índice de cone para os tratamentos na camada mais profunda, de 40 a 60 cm. Por não haver um revolvimento do solo nessa camada, durante o preparo, não houve influência da mobilização promovida pelos implementos.

Tabela 2. Efeito dos diferentes preparos de solo no índice de cone médio, para as profundidades de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm, antes do tráfego do trator.

Preparo de solo	Índice de cone (kPa)		
	0 a 20 cm	20 a 40 cm	40 a 60 cm
Arado	189,6a	2266,4b	1586,0a
Arado+grade	182,4a	2122,1b	1343,8a
Subsolador	246,6a	1732,20a	1317,4a
Testemunha	2117,8b	2341,6b	1575,4a
CV (%)	30,8	12,6	13,7

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Na camada de 20 a 40 cm, verifica-se que o tratamento realizado com subsolador diferenciou-se dos demais, apresentando menor resistência à penetração. Isso se deve ao fato de o subsolador estar regulado para mobilizar o solo até a profundidade de 40 cm. Observam-se, nesta camada do solo, nas parcelas que não sofreram a subsolagem, índices de cone bastante elevados, o que possivelmente dificultaria o desenvolvimento radicular das plantas nestas condições.

A compactação subsuperficial é função principalmente da carga total por eixo das máquinas. Por isso, Raper (2005) recomenda reduzir ao máximo a carga por eixo, usar pneus radiais com menor pressão de insulflagem e adotar o tráfego controlado para evitar este problema. A compactação e o adensamento do solo são responsáveis pelo impedimento do desenvolvimento do sistema radicular das plantas e, consequentemente, pela dificuldade em buscar água e nutrientes nas camadas mais profundas.

A camada de maior atuação dos tratamentos foi a de 0 a 20 cm, onde foram notados os efeitos da desagregação ocasionada pelo preparo. No entanto, não houve diferenciação entre o índice de cone do solo preparado com arado, arado seguido de grade e subsolador. A testemunha, sem preparo, apresentou índice de cone bastante acima dos demais tratamentos. A maior resistência mecânica do solo à penetração deve-se ao não revolvimento do solo, que, ano após ano, acumula pressões induzidas pelo tráfego de máquinas e, ainda, pela acomodação natural das partículas.

Sistemas de cultivo sem preparo de solo ou com preparo reduzido, como o plantio direto, são técnicas eficientes no controle da erosão, quando comparado com o sistema convencional, porém alguns estudos mostram problemas de compactação do solo, provocados pelo efeito cumulativo do tráfego de máquinas. Isso indica a importância do manejo do solo para o controle da compactação, diminuição da densidade e aumento da porosidade do solo (GOEDERT et al., 2002).

Na Tabela 3, é apresentado o efeito do tráfego do trator no índice de cone do solo submetido a

diferentes tipos de preparo. A interação entre preparo de solo e número de passadas não foi significativa, permitindo a análise isolada dos dois fatores. A diferença entre os índices de cone obtidos antes e após o tráfego do trator permite quantificar o incremento na resistência à penetração do solo promovido por cada tratamento.

Tabela 3. Efeito do tráfego de trator no incremento* do índice de cone de um solo submetido a diferentes tipos de preparo, nas profundidades de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm.

Preparo de solo	Incremento no índice de cone (kPa)		
	0 a 20 cm	20 a 40 cm	40 a 60 cm
Arado	1142,9b	182,2b	15,3a
Arado+grade	1331,4c	214,7c	18,7a
Subsolador	1062,9b	156,6b	13,7a
Testemunha	207,7a	17,6a	2,3a
Número de passadas			
1 passada	677,8a	110,9a	30,4a
3 passadas	902,3b	140,3b	33,5a
5 passadas	1033,8c	156,8b	36,5a
7 passadas	1131,1c	163,2b	39,7a
CV parcela (%)	20,1	33,3	36,9
CV subparcela (%)	22,8	38,7	37,2

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância. *Diferença entre os índices de cone obtidos antes e após o tráfego do trator.

Percebe-se que, na camada de 0 a 40 cm, a testemunha sem preparo foi o tratamento em que houve menor incremento no índice de cone, seguido pelo tratamento com arado e com subsolador, que não se diferenciaram entre si. O maior acréscimo de compactação se deu no tratamento com aração seguida de gradagem.

A desagregação, ocasionada durante a movimentação do solo com o arado seguido da grade, fez com que ocorresse aumento acentuado do índice de cone com o tráfego do trator, indicando maior compactação. Isso ocorreu na profundidade de 0 a 20 e de 20 a 40 cm. Resultados semelhantes foram encontrados por Cunha (2003). O autor sugere restringir o tráfego de máquinas sobre solos recentemente preparados, com objetivo de evitar a formação de camadas superficiais compactadas, pois solos trabalhados com grade e arados apresentam menor capacidade de suporte de carga.

Vale ressaltar que a umidade do solo durante a condução do ensaio estava próxima a sua capacidade de campo, o que acentua o processo de compactação, conforme demonstrado por Dias Júnior et al. (2005). O tráfego de máquinas nas lavouras deve observar a umidade do solo, e deve-se evitar trabalhar em condições com alta umidade. No entanto, em campo nem sempre isso é possível, o que reforça a necessidade de conhecer o comportamento do solo às pressões aplicadas, em condições extremas de umidade. A subsolagem nesta condição de umidade deve ser evitada, pois não há desagregação adequada em comparação a solos mais secos.

A operação de aração seguida de gradagem promove grande desagregação do solo. Provavelmente em função disso, foi neste tratamento que se notou a maior compactação do solo. Na testemunha, onde há o maior histórico de pressões sofridas, verificou-se pouca influência do tráfego do trator. Por possuir um estado de compactação mais elevado do que o solo que recebeu movimentação, pode resistir à pressão exercida pelas rodas do trator.

Em maiores profundidades, notou-se menor aumento no índice de cone, mostrando que o efeito do tráfego do trator concentrou-se mais nas camadas superficiais. Não houve diferença entre os tratamentos na camada de 40 a 60 cm.

Verifica-se também, na Tabela 3, a influência do número de passadas do trator na compactação do solo. Na camada de 0 a 20 cm, a primeira passada promoveu o maior incremento de compactação, reafirmando a teoria de Seixas e Souza (2007) e Pytka (2005). Os autores, fazendo estudos de tráfego controlado, verificaram que as maiores deformações no solo ocorrem logo após a primeira passada da máquina, sendo os efeitos das passagens subsequentes mais reduzidos. Esses resultados indicam a necessidade de restringir o tráfego de veículos à menor área possível dentro da lavoura, mesmo atingindo níveis mais altos de compactação, mas reduzindo-se a extensão do solo compactado.

Na profundidade de 20 a 40 cm, o aumento do índice de cone promovido pela primeira passada diferiu estatisticamente das demais, que não diferiram entre si. Já na camada de 40 a 60 cm, não houve diferença significativa entre os diferentes números de passada. Com esses dados, fica evidente que os maiores danos causados ao solo pelo tráfego de tratores são ocasionados nas primeiras passadas, e que eles são mais intensos na superfície do solo. Nesse sentido, Silva et al. (2000) afirmam que o efeito descompactador das operações de preparo do solo pode ser desfeito com apenas uma passagem de máquina. Na Tabela 4, é apresentado o efeito do tráfego do trator na densidade do solo submetido a diferentes preparos.

Tabela 4. Efeito do tráfego de trator na densidade de um solo, na profundidade de 0 a 20 cm.

Preparo de solo	Densidade do solo (Mg m ⁻³)
Arado	1,57a
Arado+grade	1,61a
Subsolador	1,63a
Testemunha	1,72a
Número de passadas	
0 passada	1,51b
7 passadas	1,75a
CV parcela (%)	17,6
CV subparcela (%)	18,2

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Quando se compara a área submetida ao tráfego do trator com a área sem tráfego, nota-se diferença na densidade do solo. O tráfego gerou aumento na densidade do solo.

No entanto, não houve diferença significativa quanto ao tipo de preparo do solo. Apesar de ter sido observada diferença entre os tipos de preparo do solo quanto ao índice de cone, não foi notada diferença quanto à densidade.

O coeficiente de variação alto pode ter corroborado para isto. Esse resultado está em consonância com Abreu et al. (2004). Os autores, avaliando o processo de compactação em um Argissolo em plantio direto, concluíram que a resistência do solo à penetração mostrou-se mais sensível em detectar a compactação do que a densidade do solo.

Esse fato também pode ser explicado por a densidade nem sempre acompanhar a compactação do solo. Segundo Larson (1964), a ausência de correlação entre essas duas variáveis ocorre porque a densidade do solo não é uma medida direta da resistência à penetração, pois não mede o tamanho dos poros e a resistência à deformação do solo.

Conclusão

As operações de preparo de solo influenciaram sua susceptibilidade à compactação. Quanto maior a pulverização do solo, por ocasião do preparo, maior foi o potencial de compactação.

O efeito do tráfego do trator concentrou-se principalmente na camada superficial (0 a 20 cm). A primeira passada foi a que mais provocou compactação do solo, tendo em vista que o efeito das passadas subsequentes foi pequeno.

Referências

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004.
- ANSORGE, D.; GODWIN, R. J. The effect of tyres and a rubber track at high axle loads on soil compaction - Part 2: Multi-axle machine studies. **Biosystems Engineering**, v. 99, n. 3, p. 338-347, 2008.
- ASABE-American Society of Agricultural and Biological Engineers. **Soil cone penetrometer**: ASAE standard S313.3. St. Joseph: ASABE, 2006.
- BOTTA, G. F.; RIVERO, D.; TOURN, M.; MELCON, F. B.; POZZOLO, O.; NARDON, G.; BALBUENA, R.; BECERRA, A. T.; ROSATTO, H.; STADLER, S. Soil compaction produced by tractor with radial and cross-ply tyres in two tillage regimes. **Soil and Tillage Research**, v. 101, n. 1, p. 44-51, 2008.
- CUNHA, J. P. A. R. Compactação do solo causada pelo tráfego de trator. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 26, n. 1, p. 17-21, 2003.
- DIAS JÚNIOR, M. S.; LEITE, F. P.; LASMAR JÚNIOR, E.; ARAÚJO JÚNIOR, C. F. Traffic effects on the soil preconsolidation pressure due to eucalyptus harvest operations. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 3, p. 248-255, 2005.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.
- GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002.
- HEMMAT, A.; ADAMCHUK, V. I. Sensor systems for measuring soil compaction: Review and analysis. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 63, n. 2, p. 89-103, 2008.
- HERRICK, J. E.; JONES, T. L. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, n. 4, p. 1320-1324, 2002.
- LARSON, W. E. Soil parameters for evaluating tillage needs and operations. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 28, n. 1, p. 118-122, 1964.
- MAHL, D.; SILVA, R. B.; GAMERO, C. A.; SILVA, P. R. A. Resistência do solo à penetração, cobertura vegetal e produtividade do milho em plantio direto escarificado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 5, p. 741-747, 2008.
- MOTAVALLI, P. P.; ANDERSON, S. H.; PENGTHAMKEERATI, P.; GANTZER, C. J. Use of soil cone penetrometers to detect the effects of compaction and organic amendments in claypan soils. **Soil and Tillage Research**, v. 74, n. 2, p. 103-114, 2003.
- PYTKA, J. Effects of repeated rolling of agricultural tractors on soil stress and deformation state in sand and loess. **Soil and Tillage Research**, v. 82, n. 1, p. 77-88, 2005.
- RAPER, R. L. Agricultural traffic impacts on soil. **Journal of Terramechanics**, v. 42, n. 3, p. 259-280, 2005.
- REINERT, D. J.; COLLARES, G. L.; REICHERT, J. M. Penetrômetro de cone com taxa constante de penetração no solo: desenvolvimento e teste de funcionalidade. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 304-316, 2007.
- REIS, G. N.; BIZZI, A. C.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; LOPES, A.; GROTTA, D. C. C. G. Avaliação do desenvolvimento da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 1, p. 228-235, 2007.
- SEIXAS, F.; SOUZA, C. R. Avaliação e efeito da compactação do solo, devido à frequência de tráfego, na produção de madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 31, n. 6, p. 1047-1052, 2007.
- SILVA, A. R.; DIAS JÚNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ARAÚJO JÚNIOR, C. F. Modelagem da capacidade de suporte de carga e quantificação dos efeitos

das operações mecanizadas em um Latossolo Amarelo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 207-216, 2006.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, v. 30, n. 7, p. 795-801, 2000.

STRUDLEY, M. W.; GREEN, T. R.; ASCOUGH, J. C. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. **Soil and Tillage Research**, v. 99, n. 1, p. 4-48, 2008.

WATANABE, S. H.; TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; GONÇALVES, A. C. A.; SILVA, A. P.; PINTRO, J. C.;

COSTA, A. C. S.; VIDIGAL FILHO, P. S. Resistência do solo à penetração e porosidade de aeração de um latossolo vermelho distrófico sob plantio direto por dois anos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 22, n. 4, p. 1055-1060, 2000.

Received on February 12, 2008.

Accepted on April 15, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.