

CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA E DENSIDADE DO SOLO EM ÁREAS DE PLANTIO DIRETO COM E SEM ESCARIFICAÇÃO¹

INDIAMARA MARASCA², KLEBER PEREIRA LANÇAS³, REGINALDO BARBOZA DA SILVA⁴ & RENATO LARA DE ASSIS⁵

RESUMO: O sistema de plantio direto vem sendo empregado em diversas regiões do Brasil; porém, dependendo do local e da intensidade do tráfego de máquinas, tem provocado a compactação do solo e muitos produtores utilizam como solução a escarificação da área para romper a camada que diminui o crescimento das plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da escarificação (0,30 m) nas propriedades físicas de um Nitossolo Vermelho distroférico, comparando os resultados com uma área contígua não escarificada, ambas conduzidas, anteriormente, pelo sistema de plantio direto. Para a densidade e pressão de pré-consolidação do solo foram amostradas as duas áreas de plantio direto, com escarificação (PDCE) e sem escarificação (PDSE). Utilizando-se a UMAS – Unidade Móvel de Amostragem do Solo, construída pelo NEMPA - Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrofloretais da FCA/UNESP de Botucatu/SP, equipada com GPS, possibilitando o georeferenciamento dessas amostras. As amostras foram avaliadas em laboratório através da coleta de anéis padronizados. A amostragem foi realizada numa dimensão de 15 x 50 m, sendo coletados 160 anéis. As amostras com anéis, para a determinação da densidade e para o ensaio no consolidômetro, foram coletadas nas camadas de 0 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m, 0,20 a 0,30 m e 0,30 a 0,40 m. Para o ensaio com o consolidômetro foram utilizados os anéis com amostras indeformadas obtendo-se a capacidade de suporte de carga do solo. O manejo do solo adotado proporcionou diminuição na densidade do solo no plantio direto com escarificação nas profundidades de 0,0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m e nas outras profundidades não houve diminuição. A pressão de preconsolidação em associação com a resistência de agregados do solo possibilitou identificar que no manejo PDCE, todas as camadas quando submetidas ao teor de água referente à faixa de friabilidade ofereceram uma maior capacidade de suporte de carga do solo e no PDSE, isto só foi possível na camada de 0 a 0,10 m, evidenciando a maior consolidação desta camada.

Palavras-chave: Pressão de pré-consolidação, densidade do solo, compactação do solo.

¹ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor. Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Energia na Agricultura. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, São Paulo.

² Doutoranda do programa de pós-graduação Energia na Agricultura, FCA/UNESP – Botucatu/SP, Brasil, E-mail: marasca_7@hotmail.com

³ Prof. Titular do Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP – Botucatu/SP, Brasil, kplancas@fca.unesp.br

⁴ Prof. Assistente Doutor - Unidade Diferenciada de Registro/UNESP – Registro/SP, Brasil, E-mail: rbsilva@registro.unesp.br

⁵ Instituto Federal Goiano. Professor do Instituto Federal Goiano Campus Iporá, Iporá/GO. Bolsista de Produtividade em Pesquisa 2 do CNPq. E-mail: relassis@bol.com.br

LOAD BEARING CAPACITY AND SOIL DENSITY IN AREAS OF NO TILL WITH AND WITHOUT SCARIFICATION

SUMMARY: *No-till has been used in many different regions of Brazil. However, depending on the location and intensity of machinery traffic, this has caused the problem of soil compaction and many producers are scarification the land as a solution to break through the layer that is restricting plant growth. The objective of this study was to evaluate the influence of scarification (0.30 m) in the physical properties of a dystrophic Alfisol comparing the results with a non-scarified contiguous area; both were previously conducted using no-till. The density and pressure of pre-consolidation were sampled in two areas of non-tillage, one with chiseling (PDCE) and one without (PDSE) by using the UMAS -Mobile Soil Sampling Unit built by NEMPA – Agroforestry Machinery and Tire Testing Center/FCA / UNESP, Botucatu ,SP. The UMAS is equipped with GPS which allows the samples to be georeferenced. The samples were evaluated in the laboratory through the collection of standardized rings. Sampling was performed at a dimension of 15 x 50 m, with 160 rings being collected. The samples containing rings which were used in determining the density and also for testing the consolidometer, were collected from the layers of 0 to 0.10 m, 0.10 to 0.20 m, 0.20 to 0.30 0.30 to I 0.40 m. For the odometer test the undisturbed sample rings were used in obtaining the load bearing capacity of the soil. The soil management adopted provided a decrease in soil density using no-tillage with scarification depths from 0.0 to 0.10 0.10 to 0.20 m while the other depths did not show any decrease. The pre-consolidation pressure in combination with soil aggregate resistance identified that the management process PDCE within all layers was subjected to water content reliability regarding a greater load bearing capacity of the soil. For the PDSE that only was possible in the 0 to 0.10 m, showing greater consolidation of this layer.*

Keywords: *Pre-consolidation pressure, soil density, soil compaction.*

1 INTRODUÇÃO

Para Dias Junior (1994), a quantidade de água é um fator que determina a quantidade de deformação que poderá ocorrer no solo. Em condição de solo seco, sua capacidade de suporte de carga é elevada, podendo ser suficiente para suportar as pressões aplicadas e a compactação do solo pode não ser significativa; entretanto, em condições de elevada umidade, o solo fica susceptível à compactação por causa de sua baixa capacidade de suporte de carga.

Outra variável a ser considerada no processo de compactação é a textura do solo. Poros maiores geralmente são ocupados por ar, e poros menores por água. Os solos cuja constituição apresenta partículas do mesmo tamanho são menos susceptíveis ao processo de compactação, comparados aos solos onde há mistura uniforme de argila, silte e areia. Isto se deve ao fato de que as partículas de tamanho diferentes se arranjam e preenchem os poros, quando submetidos a uma pressão no solo (ENCIDE, 2005).

Para Cardoso (2007), baseando-se no comportamento dos solos finos (silte e argila) na presença de água, observou-se que, quando muito úmido, as partículas ficaram em suspensão na água e se comportam como um líquido.

Quando perde parte de sua água, as partículas passam a deslizar umas sobre as outras e a água funciona como um lubrificante e o solo tornam-se plástico; e, quando mais seco, os grãos se aglutinam entre si, formando torrões e tornam-se quebradiços, definindo, assim, limites de umidade que modificam o comportamento do solo (CARDOSO, 2007).

As umidades correspondentes à mudança de estado de consistência do solo são definidas como: limite de contração (LC), limite de plasticidade (LP) e limite de liquidez (LL) (ATTERBERG, 1911).

Portanto, a umidade do solo é a grande responsável pela deformação do solo quando os demais atributos permanecem constantes, pois quanto menor o teor de água do solo maior será sua capacidade de suporte de carga e menor a possibilidade de compactação, dentro de certos limites (CARDOSO, 2007).

Silva (2002), afirma que, a partir dos limites de liquidez, contração, plasticidade identificam-se os estados ou regiões de consistência importantes para o tráfego agrícola ou preparo do solo. Que são: região de friabilidade (RF), que representa a faixa de umidade entre o limite de contração e o limite de plasticidade, e a região de plasticidade (RP), que representa a faixa de umidade entre o limite plástico e o limite de liquidez.

A redução da porosidade dificulta a infiltração de água, aumentando o escoamento superficial e as perdas de água e de terra, levando ao empobrecimento da fertilidade da camada arável. Assim, o crescimento superficial das raízes em solo compactado, ou seja, a raiz confinada nos primeiros centímetros do perfil, dificulta o abastecimento hídrico e nutricional das plantas (MORAES et al., 1995; STEINHARDT, 1983), ocasionando perda de produtividade (ALVARENGA et al., 1997).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado na Fazenda Experimental Lageado da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu, no Estado de São Paulo.

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, clima temperado quente (mesotérmico) com uma estação seca, que vai de abril a agosto e a estação chuvosa que compreende os meses de setembro a março, sendo o mês de janeiro o mais chuvoso (CUNHA et al., 1999).

Antes de se adotar o manejo de plantio direto essa área vinha sendo cultivada há vários anos com a cultura do milho, utilizando-se ininterruptamente do sistema convencional de preparo do solo (aração com arado de disco e gradagem niveladora leve). As escarificações foram realizadas utilizando-se um escarificador de cinco hastes, espaçadas de 0,25 m, com profundidade de trabalho de 0,30 m. Essas áreas foram cultivadas na época de safra de verão ficando em pousio durante o restante do ano.

Desde 2007 esta área passou a ser manejada com sistema de plantio direto, foram selecionadas duas áreas sendo que a Área 1, com 2,2 ha, foi escarificada a 0,30 m de profundidade em 2008. A Área 2 com 2,7 ha, permaneceu sem mobilização.

As áreas experimentais estão localizadas entre as coordenadas geográficas de 22° 48' 10" a 22° 48' 30" Latitude Sul e 48° 25' 40" a 48° 25' 50" Longitude Oeste e altitude de 720 m. O solo dessas áreas corresponde à classificação Nitossolo Vermelho distroférrico, textura argilosa de acordo com Carvalho et al. (1983), atualizado pela sistema de classificação de solos da EMBRAPA (2006).

A densidade inicial (Dsi), na condição em que se encontrava o solo no momento da amostragem (histórico do manejo do solo), foi determinada através do método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).

$$D_s = \left(\frac{M_s}{V_s} \right)$$

Onde:

Ds = densidade do solo (Mg m⁻³);

Ms = massa do solo seco (g);

Vs = volume total do solo (cm³).

As densidades do solo foram avaliadas nas mesmas profundidades que a capacidade de suporte de carga do solo (CSCS), através de planilhas de cálculo da pressão de preconsolidação conforme recomendado por Silva et al. (2007). Para realização dos ensaios de compressibilidade, objetivando a estimativa da pressão de preconsolidação (σ_p), corpos-de-prova (monólitos) de diâmetro aproximado de 69,5 x 25 mm de altura foram amostrados para cada profundidade e camada avaliada. Os monólitos foram coletados com o auxílio de um Amostrador Hidráulico, montado na Unidade Móvel de Amostragem do Solo (UMAS), desenvolvido pelo NEMPA, Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas do Departamento de Engenharia Rural, da FCA/UNESP, Campus de Botucatu/SP, conforme Lanças e Santos Filho (1998). A UMAS pode ser transportada por rodovias, tracionada por carros e caminhonetes e no campo é tracionada

por um trator e, como fonte de potência, o equipamento utiliza o sistema hidráulico do trator agrícola. O trator utilizado foi de 130 cv e 2200 rpm de potência no motor.

Dos três anéis que são utilizados na amostragem de CSCS e densidade do solo: o primeiro (superior) e o último (inferior) foram utilizados para amostras deformadas, e o segundo anel (do meio) foi considerado uma amostra indeformada, sendo utilizado para a realização dos ensaios de compressibilidade no laboratório, para a densidade. As amostras foram devidamente preparadas, plastificadas e parafinadas para manter a forma e consistência no anel conforme veio do campo no decorrer dos ensaios, para serem saturados por capilaridade com água destilada no laboratório. Após 48 horas, as amostras foram equilibradas naturalmente à temperatura ambiente em cinco (5) teores de água.

As condições dos teores de água consideradas para realização do ensaio de compressibilidade foram obtidas das amostras das 4 profundidades avaliadas, sendo feita uma amostra homogênea e média, saturada, seca, tenaz e na região de friabilidade do solo. Estas faixas de teor de água foram definidas tendo como referência os limites de consistência do solo (limite de liquidez – LL - 46 %, limite de plasticidade – LP - 33 % e limite de contração – LC - 10 %).

Os ensaios de compressão uniaxial (compressibilidade) foram realizados nas amostras submetidas aos seguintes teores de água: 0,10; 0,19; 0,28; 0,37 e 0,46 kg kg⁻¹. As pressões aplicadas em cada amostra seguiram a metodologia proposta por Dias Junior (1994), que preconiza a aplicação dos seguintes níveis de pressão: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa, até que 90% da deformação máxima na amostra seja obtida (TAYLOR et al., 1979).

Dos ensaios de compressibilidade foram obtidas as curvas de compressão do solo, das quais se estimaram as pressões de preconsolidação (σ_p), de acordo com a sugestão de Dias Junior e Pierce (1995).

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Os valores de densidade do solo (Ds) são apresentados na Tabela 1. Verifica-se que, na camada superficial os valores de Ds foram menores, quando comparados com os valores das demais profundidades para o sistema PDCE, que foram aumentando em relação ao aumento da profundidade. No PDSE aconteceu o inverso, na camada superficial ocorreram valores de densidade maiores do que nas camadas inferiores, onde os valores de densidade diminuíram.

Para Reichert et al. (2009), valores de densidade do solo superiores a 1,74 Mg m⁻³ são considerados críticos.

Tabela 1 - Densidade do solo em (Mg m^{-3}) de um Nitossolo Vermelho em relação ao manejo em relação a profundidade.

Camadas (m)	Tratamentos	
	PDCE	PDSE
0-0,10	1,31 A a	1,40 A b
0,10-0,20	1,35 A a	1,43 A a
0,20-0,30	1,37 A a	1,36 A a
0,30-0,40	1,43 A a	1,37 A a

CV = 5,14; DP = 0,03

* As médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas no sentido das colunas e minúsculas no sentido das linhas, não diferiram significativamente entre si, pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5%.

Segundo Mentges et al. (2010), a intensidade de tráfego tem efeitos negativos sobre as propriedades físico-hídricas do solo, com elevação dos valores de densidade e resistência a penetração.

Lima et al. (2004) encontrou valores médios de densidade do solo de $1,60$ a $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ com σ_p de 250 a 290 kPa em cada ciclo sob os sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e de $1,57$ a $1,62 \text{ Mg m}^{-3}$ com σ_p 230 a 240 kPa para o sistema de manejo não irrigado.

Neste trabalho a camada que apresentou diferença estatística foi a de $0,0$ a $0,10 \text{ m}$ entre os manejos. Nesta profundidade, no sistema PDCE, pode ter ocorrido uma concentração de matéria orgânica maior que nas outras camadas, provavelmente devido à palha da cultura anterior (milho) que ficou em decomposição sobre a superfície do solo, onde a mobilização do solo distribui a MO entre as camadas pela ação dos órgãos ativos do equipamento.

Para Reinert et al. (2008), a ausência de valores elevados de densidade do solo, na camada superficial, ocorre em razão da maior densidade de raízes, maior teor de matéria orgânica, ciclos de umedecimento e secagem e do revolvimento parcial no momento da semeadura.

Os valores médios de pressão de preconsolidação (σ_p) obtidos dos ensaios de compressibilidade para cada camada avaliada dentro dos seus respectivos manejo (PDCE e PDSE) são apresentados na Tabela 2. Devido ao efeito da escarificação é observado que no PDCE os valores de σ_p entre camadas não diferiram estatisticamente, o que pode ser explicado pelo alívio das tensões, em todas as camadas, como consequência da mobilização do solo. Contudo a falta de mobilização no PDSE confere à camada de $0,30$ a $0,40 \text{ m}$ um valor médio de σ_p da ordem de 380 kPa , sendo superior estatisticamente aos valores médios das demais camadas avaliadas. Estes resultados ressaltam a consolidação desta camada, muito embora, o efeito da mobilização não implique em diferenças significativas entre as profundidades. O que indica que

ela apresenta a maior concentração das tensões geradas pelo tráfego (COLLARES et al., 2008; SECCO et al., 2009).

Conforme Silva & Cabeda (2006), a capacidade de suporte de carga na zona de friabilidade, variou de 204 a 210 kPa para a camada de 0–3 cm; de 179 a 222 kPa, para a camada de 10–13 cm, e de 165 a 234 kPa, para a camada de 25–28 cm. Por outro lado, quando o solo seca, a σ_p aumenta exponencialmente com a redução da umidade, aumentando sua capacidade de suporte de carga do solo, proporcionando um menor risco de ocorrência de compactação.

De acordo com Carpenedo (1994), as pressões médias normalmente aplicadas à superfície do solo pelas máquinas são próximas de 200 kPa.

Tabela 2 - Compressibilidade de um Nitossolo Vermelho em (kPa) com teste de médias para manejos e em relação a profundidades.

Camadas (m)	Tratamentos	
	PDCE	PDSE
0-0,10	280,00 A a	242,33 B a
0,10-0,20	249,83 A a	224,17 B a
0,20-0,30	253,83 A a	258,00 B a
0,30-0,40	316,83 A a	373,33 A a
CV = 30,36; DP = 34,06		

* As médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas no sentido da colunas e minúsculas no sentido das linhas, não diferiram significativamente entre si, pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5%.

Para Lima et al. (2006), valores de pressão superiores a 153 kPa podem implicar condições favoráveis ao tráfego e inadequadas para o crescimento das raízes. Por outro lado, Soane et al., (1981) indicaram pressões inferiores a 200 kPa e, preferencialmente, a 100 kPa para um efetivo controle e redução da compactação do solo.

A influência do teor de água sobre a pressão de preconsolidação e, por conseguinte na consolidação do solo estudado pode ser visto na Tabela 3, na qual se constata que quanto mais úmido (plástico) estiver o solo menor os valores de σ_p e a capacidade de suporte de carga.

Tabela 3 - Compressibilidade de um Nitossolo Vermelho para PDCE em (kPa) na consistência friável e plástica nas diferentes profundidades.

Camadas (m)	PDCE	
	Friável	Plástica
0-0,10	353,00 A a	207,00 A b
0,10-0,20	365,33 A a	134,33 A b
0,20-0,30	393,33 A a	114,33 A b
0,30-0,40	515,33 A a	118,33 A b
CV = 26,65; DP = 73,34		

*As médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas no sentido das colunas e minúsculas no sentido das linhas, não diferiram significativamente entre si, pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5%.

Por outro lado, os maiores valores de σ_p para o Nitossolo Vermelho na consistência friável revela não apenas o teor de água que este solo deve ser trabalhado, mas a maior capacidade de suporte de carga e certamente, a maior possibilidade de preservação e sustentabilidade da estrutura do solo, em toda a sua profundidade mobilizada.

Segundo Silva et al. (2006), avaliando uma operação com uma roçadora tracionada pelo trator Massey Ferguson na época seca apresentou tendência a compactar o solo menos do que em relação a estação chuvosa, este equipamento causou compactação em 60 % dos pontos amostrados na camada de 0–3 cm. Segundo este mesmo autor essa maior compactação deveu-se ao fato de ter sido o tráfego realizado em umidades acima do LP, o que conferiu ao solo, nesta umidade, baixa capacidade de suporte de carga.

Para Imhoff et al., (2001), o solo quando úmido, apresenta baixa capacidade de suporte de carga. Comportamento parecido também foi encontrado para a condição de PDSE (Tabela 4), todavia, diferente do observado no PDCE (Tabela 3), é verificado uma tendência de incremento na σ_p com o aumento da profundidade para a consistência plástica. Com diferença significativa, exclusivamente na camada 0 a 0,10 m. Isto, provavelmente, se deve aos maiores teores de argila e a consolidação do solo nas camadas mais profundas.

Tabela 4 - Compressibilidade de um Nitossolo Vermelho para PDSE em (kPa) na consistência friável e plástica nas diferentes profundidades.

Camadas (m)	PDSE	
	Friável	Plástica
0-0,10	368,67 A a	116,00 A b
0,10-0,20	285,67 A a	162,67 A a
0,20-0,30	303,00 A a	213,00 A a
0,30-0,40	451,67 A a	295,00 A a
CV = 33,67; DP = 92,41		

* As médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas no sentido da colunas e minúsculas no sentido das linhas, não diferiram significativamente entre si, pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5%.

4 CONCLUSÕES

O manejo do solo com plantio direto e escarificado proporcionou diminuição na densidade do solo no tratamento com escarificação nas profundidades de 0,0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m.

A pressão de preconsolidação em associação com a resistência de agregados do solo possibilitou identificar que no manejo PDCE, todas as camadas quando submetidas ao teor de água referente à faixa de fiabilidade ofereceram uma maior capacidade de suporte de carga do solo e no PDSE, isto só foi possível na camada de 0 a 0,10 m, evidenciando a maior consolidação desta camada.

5 REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R.C., et al. Produção e matéria seca e absorção de nutrientes por leguminosas, em resposta à compactação do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 44, n. 254, p. 421-431, 1997.

ATTERBERG, A.M. **Über die physikalische Bodenuntersuchung, und über die Plastizität de Tone**. International Mitteilungen für Bodenkunde, Verlag für Fachliteratur.G.m.b.H. Berlin, v.1, p.10-43. 1911.

CARDOSO, V. M. F. **Capacidade de suporte de carga como indicador da qualidade estrutural de solos agrícolas em áreas irrigadas**. 2007. 167 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2007.

CARVALHO, W. A. ESPÍNDOLA, C. R., PACCOLA, A. A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado - Estacao Experimental "Presidente Medici". **Bol. Cient. Fac. Ciên. Agron. UNESP (Botucatu)**, n. 1, p. 1-95, 1983

CARPENEDO, V. **Compressibilidade de solos em sistemas de manejo**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. 106p. (Tese de Doutorado).

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.32, p.933-942, 2008.

CUNHA, A.R., KLOSOWSKI, E.S., GALVANI, E., J.F., ESCOBEDO, MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1, 1999, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, 1999. p.487-91.

DIAS JUNIOR, M. S. **Compression of three soils under longterm tillage and wheel traffic**. 1994. 114p. Thesis (PhD) - East Lansing, Michigan State University.

DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 139-151, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - **EMBRAPA**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - **EMBRAPA**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 06p.

ENCIDE, A. P. **Métodos não convencionais para avaliação da porosidade da densidade do solo de um Latossolo Vermelho**. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2005. 78p.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DIAS JUNIOR, M.S. & TORMENA, C.A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 25, p.11-18, 2001.

LANÇAS, K. P.; SANTOS FILHO, C.A. **Penetrômetro hidráulico-eletrônico equipado com DGPS para avaliação da compactação do solo**. La Plata, Editorial de la U.N.L.P. p.570-576. 1998.

LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; LEÃO, T. P.; Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.28, p.945- 951, 2004.

LIMA, C.L.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S. Compressibilidade de um argissolo sob plantio direto escarificado e compactado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.6, 1765-1772, 2006.

- MENTGES, M.I.; REICHERT, J.M.; ROSA, D.P.; VEIRA, D.A.; ROSA, V.T.; REINERT, D.J. Propriedades físico-hídricas do solo e demanda energética de haste escarificadora em Argissolo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.3, p.315-321, 2010.
- MORAES, M.H.; BENEZ, S.H.; LIBARDI, P.L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. **Bragantia**, v.54, n. 2, p. 393-403, 1995.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; EINERT, D.J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Rreference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly eatherd soils. **Soil and Tillage Research**, v.102, p.242-254, 2009.
- REINERT, D.J.; ALBURQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C.; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.32, p.1805-1816, 2008.
- SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SILVA, V.R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, p.58-64, 2009.
- SILVA, A. J. N; CABEDA, M. S. V; Compactação e compressibilidade do solo sob sistema de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.30, p.921-930, 2006.
- SILVA, R. B. da **Compressibilidade e resistência ao cisalhamento de um latossolo sob diferentes intensidades de uso na região dos cerrados**. 2002. 142 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.
- SILVA, R. B.; LANÇAS, K. P.; MASQUETTO, B.J. Consolidômetro: equipamento pneumático-eletrônico para avaliação do estado de consolidação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.31, p.617-615. 2007.
- SOANE, B.D. et al. Compaction by agricultural vehicles: a review II. Compaction under tyres and other running gear. **Soil and Tillage Research**, v.1, p.373-400, 1981.
- STEINHARDT, G.C. **Compactação do solo: um problema oculto**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. 3p. (Informações Agrônômicas, v.21).
- TAYLOR, J. H.; BURT, E. C.; BAILEY, A. C. Radial tire performance in firm and soft soils. St Joseph: **ASAE**, 1979. 7p. (ASAE. Paper, 76-1036).