

Avaliação das propriedades físicas de um latossolo vermelho distroférico sob diferentes sistemas de manejo em Lavras, MG

Kaio Gonçalves de Lima Dias-Engenheiro Agrônomo, Bolsista do Consorcio Pesquisa Café - EMBRAPA Café email: kaiogld@hotmail.com; Davi Lopes do Carmo-Mestrando em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras-MG (DCS/UFLA). email: davigoldan@yahoo.com.br; Adriana Cristina Dias-Mestrando em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras-MG (DCS/UFLA). email: acd@dcs.ufla.br; Vanessa Martins-Doutoranda em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras-MG (DCS/UFLA). email: nessaufila@yahoo.com.br

RESUMO

As propriedades físicas do solo são grandemente afetadas pelo manejo agrícola, resultando muitas vezes em degradação do solo. Este trabalho objetivou avaliar a estabilidade de agregados em água e a compressibilidade de um Latossolo Vermelho distroférico sob cafeeiro, pastagem e mata nativa em Lavras, MG. A coleta das amostras indeformadas para avaliações das propriedades físicas do solo foi realizada na profundidade de 0-3 cm, com o auxílio de um amostrador de Uhland e anéis volumétricos de alumínio com 6,35 cm de diâmetro por 2,54 cm de altura. As amostras deformadas foram coletadas nos mesmos pontos e profundidades, secas ao ar e passadas em peneiras de 8, 4,75 e 2 mm. Para amostras sem pré-umedecimento, o diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados estáveis em água decresceram na ordem pastagem>mata>café, porém não houve diferença em DMP entre os três sistemas quando se pré-umedeceu as amostras. O ensaio de Proctor demonstrou que o solo sob pastagem apresentou a maior densidade do solo máxima e a menor umidade ótima de compactação dentre os três sistemas. A pressão de pré-consolidação a baixas umidades, não diferiu entre a mata e a pastagem, mas foi significativamente maior para solos sob a linha de tráfego de máquinas no cafeeiro.

Palavras - chave: ensaio de Proctor, agregados estáveis, pressão de pré-consolidação.

An evaluation of the physical properties of dystrophic red latosol in different management systems in Lavras, Minas Gerais

ABSTRACT

The soil physical properties are greatly affected by agricultural management, often resulting in soil degradation. This study aimed to evaluate the stability of aggregates in water and compressibility of an Oxisol under coffee, pasture and native forest in SE Brazil. The collection of soil samples for evaluation of soil physical properties was carried out at a depth of 0-3 cm, with the aid of an Uhland sampler volumetric rings and aluminum 6.35 cm diameter by 2.54 inches tall. Deformed samples were collected in the same sites and depths, air dried and passed on sieves of 8, 4.75 and 2 mm. For samples without pre-wetting, the mean weight diameter (MWD) and geometric mean diameter (MGD) of water stable aggregates decreased in the order grassland> forest> coffee, but no difference in MWD between the three systems when pre-moistened samples. The Proctor test showed that the pasture had the highest bulk density and lower optimum moisture for compaction among the three systems. The pre-consolidation pressure to low

humidity did not differ between the forest and pasture, but was significantly higher in soils under the line of traffic in coffee machines.

Key-words: Proctor tests, stable aggregates, pre-consolidation pressure

INTRODUÇÃO

A incorporação de espaços naturais para cultivos agrícolas, como lavouras cafeeiras e pastagens, frequentemente altera as propriedades dos solos, muitas vezes resultando em degradação. As propriedades físicas de um solo têm influência direta no desenvolvimento do sistema radicular das plantas e conseqüentemente, na sua produtividade. De modo geral, com o aumento da intensidade de cultivo tem sido observada diminuição no tamanho dos agregados e da porosidade total, e aumento da densidade do solo e resistência do solo à penetração (Anjos et al., 1994; Albuquerque et al., 1995; Silva & Mielniczuk, 1997; Alvarenga & Davide, 1999; D'Andréa, 2001).

A produção de café é uma das atividades agrícolas mais importantes para a economia brasileira, sendo o Brasil o maior produtor mundial, tendo registrado uma produção de 39.470 milhões de sacas em 2009. Minas Gerais é o maior produtor brasileiro, respondendo por cerca de 19.880 milhões de sacas ou 50 % da produção nacional (CONAB, 2009). O manejo da cultura do café pode afetar as propriedades do solo devido o uso indiscriminado de máquinas e implementos agrícolas, além de eventuais perdas por erosão.

Outra importante atividade é a pecuária extensiva, que afeta as propriedades do solo por meio de dois aspectos do manejo das pastagens: pressão de pastejo e movimentação dos animais. Uma das primeiras constatações do efeito do pisoteio sobre as propriedades físicas do solo foram feitas por Keen & Cashen (1932), que reportaram decréscimos

na penetrabilidade do solo após trânsito de animais, até a profundidade de 3,5 cm. Tanner & Mamaril (1959) afirmaram que o pisoteio do gado durante o pastejo, da mesma forma que o tráfego de máquinas, pode ocasionar compactação, em condições de solo excessivamente úmido, ou acima do limite de plasticidade. No estudo da compactação, os ensaios mais utilizados em laboratório têm sido o ensaio de compressão uniaxial e o ensaio de Proctor normal (Dias Junior, 1996), com objetivo de verificar a influência da umidade na susceptibilidade a compactação dos solos.

O objetivo deste estudo foi avaliar a estabilidade de agregados em água e a compressibilidade de um Latossolo Vermelho distroférico sob cafeeiro, pastagem e mata nativa em Lavras, MG.

MATERIAL E MÉTODOS

A área em estudo está localizada no município de Lavras (MG), nas coordenadas 21°13'40" S e 44°57'50" W, a uma altitude de 925 m. O clima do município é do tipo Cwa segundo Köppen (mesotérmico com verões quentes e inverno seco). A precipitação e a temperatura média anual são de 1.529 mm e 19,4°C, respectivamente (MARA/SPI/Embrapa, 1992). O solo estudado foi um Latossolo Vermelho distroférico típico, textura argilosa, sob cafeeiro, pastagem e mata nativa.

A lavoura de café (cultivar Rubi) foi implantada em 1997, no espaçamento 4,00 x 0,70, incluindo operações mecanizadas, subsolagem, aração, gradagem e sulcamento na linha de plantio, calagem e fosfatagem corretiva. Foi realizado anualmente o controle de plantas invasoras com roçadoras mecânicas com uma média de três a quatro vezes ao ano nas entrelinhas e na projeção da copa do cafeeiro foram realizadas duas aplicações de herbicida pós-emergente de forma mecanizada duas vezes ao ano. Pulverizações com micronutrientes e defensivos agrícolas

também foram mecanizados com média de quatro vezes ao ano. Todos os implementos utilizados foram acoplados no trator Valmete 685. Como adubação orgânica, aplica-se palha de café duas vezes ao ano. A pastagem de *Brachiaria decumbens* era ocupada por bovinos até 1994, sendo atualmente utilizada com ovinos, com uma média de 120 animais ha⁻¹. Foi amostrada uma mata nativa na área adjacente aos tratamentos como controle. A mata era fechada, constituída de diversas espécies de árvores, arbustos, sub-bosque, além da vegetação rasteira que protege o solo.

A coleta foi realizada em março de 2010 sob linha de tráfego de máquinas no cafezal, sendo aleatória na pastagem e na mata. As amostras indeformadas para avaliações das propriedades físicas do solo foram coletadas na profundidade de 0-3 cm, por ser uma camada sensível as mudanças provocadas pelo manejo, com o auxílio de um amostrador de Uhland e anéis volumétricos de alumínio com 6,35 cm de diâmetro por 2,54 cm de altura. As amostras deformadas foram coletadas nos mesmos pontos e profundidades, secas ao ar e passadas em peneiras de 8, 4,75 e 2 mm.

Para o ensaio de pré-consolidação, foram coletadas, em cada sistema de manejo, na profundidade 0-3 cm, 6 amostras indeformadas, totalizando 18 amostras com umidade natural (6 amostras x 1 profundidade x 3 tratamentos).

A estabilidade dos agregados em água foi determinada em aparato de Yoder (1936) adaptado segundo Kemper & Rose-nau (1986), Ferreira et al. (2000) e Nimmo & Perkins (2002). Utilizou-se as amostras secas ao ar que passou por uma peneira de 8,00 mm e ficou retida em uma peneira de 4,75 mm. Pesou-se 25 g de agregados secos ao ar, com seis repetições para cada sistema de manejo. O peneiramento em água foi realizado com aparelho oscilador mecânico, com um jogo de peneiras de 2, 1, 0,5, 0,25, 0,105 mm, por

15 minutos. Foram realizadas as análises com amostras secas e pré-umedecidas por ascensão capilar sobre papel de filtro umedecido. Após o peneiramento, as frações de agregados retidas em cada peneira foram secas em estufa por 24 horas a 105-110°C e pesadas. Foram calculados o diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 3 tratamentos x 6 repetições x 1 profundidade, totalizando n=18. A análise estatística foi realizada com o pacote estatístico SISVAR (Ferreira, 2003), sendo os dados submetidos à análise de variância e a comparação das médias feitas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

O ensaio de Proctor foi realizado segundo Stancati et al. (1981) e Bowles (1986) adaptado por Ferreira et al. (2000). Utilizou-se amostras de solo previamente seco ao ar e peneirado em malha de 4,75 mm. Aproximadamente 5 kg de solo foram umedecidos com borrifador e homogeneizados em uma bandeja. Em seguida, o material foi colocado no cilindro de Proctor de modo que, após compactado, atingisse 1/3 da altura do cilindro. A compactação foi aplicada como 25 golpes de um soquete de 2,5 kg, por toda a área do solo dentro do cilindro, após o que foi retirado cuidadosamente o excesso de solo, de tal maneira que o volume do solo fosse igual ao do cilindro. Após determinar a massa de solo+cilindro, retirou-se o solo de seu interior e a umidade gravimétrica foi determinada retirando-se subamostras do terço inferior, médio e superior. O corpo de prova foi colocado com o restante do solo da bandeja e destorroado, sendo determinada a densidade do solo para esta condição de umidade. Em seguida o solo foi novamente borrifado com certa quantidade de água e homogeneizado. O processo foi repetido 7 vezes, visando obter a densidade máxima e a umidade ótima de compactação, por meio da curva de compac-

tação do solo. Para a obtenção das curvas de compactação os valores da densidade do solo (Ds) e da umidade (U), foram plotados em gráfico e ajustada uma equação de segundo grau do tipo $D_s = aU^2 + bU + c$, em que *a*, *b* e *c* são parâmetros de ajuste da equação.

As amostras indeformadas foram preparadas e submetidas ao ensaio de compressão uniaxial (Bowles, 1986), usando um consolidômetro de marca Boart-Longyear. As pressões aplicadas a cada amostra obedeceram à seguinte ordem: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa, em umidades variáveis. Após o ensaio de compressão uniaxial, as pressões de preconsolidação (s_p) foram obtidas na curva de compressão do solo de acordo com Dias Junior & Pierce (1995), a partir da curva de compressão do solo. As pressões de preconsolidação foram marcadas de acordo com a umidade, utilizando o software Sigma Plot 11.0. Para avaliar os níveis de pressões nos diferentes manejos do solo, foram desenvolvidos modelos de capacidade de suporte de carga. Estes modelos foram comparados estatisticamente utilizando-se o teste descrito por Snedecor & Cochran (1989).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, para amostras sem pré-umedecimento, o DMP e DMG decresceram na ordem pastagem>mata>café, os resultados de estabilidade de agregados se encontram na tabela 1. Segundo Rando (1981), a rápida absorção de água, em tratamentos sem pré-umedecimento pela compressão do ar no interior dos agregados, devido à rápida absorção de água, faz com que a pressão exceda a coesão das partículas, ocorrendo a quebra (*slaking*). Possivelmente, os maiores valores de DMG da pastagem se devem à maior presença de raízes finas, que contribuem para a estabilização dos agregados e elevam os teores de matéria orgânica por meio de exsudatos e rápida formação, morte e decomposição de raízes finas. Os menores valores de DMP e DMG apresentados para o café podem ser atribuídos aos danos na estrutura do solo, provocados por ocasião do preparo convencional para o plantio. No tratamento com pré-umedecimento, não houve diferenças entre tratamentos para o DMP. Contudo, o DMG do cafeeiro foi menor (Tabela 1).

Tabela 1. Estabilidade em água de agregados sob três sistemas de manejo.

Manejo	Agregados secos (mm)		Agregados pré-umedecidos (mm)	
	DMP	DMG	DMP	DMG
Café	3,31 C	2,25 C	4,69 A	4,25 B
Mata	4,36 B	3,63 B	4,86 A	4,63 A
Pastagem	4,66 A	4,17 A	5,05 A	4,60 A

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferiram estatisticamente no teste de Scott-Knott (0,05).

Em trabalhos conduzidos por Alvarenga & Davide (1999) e D'Andréa (2001) foram observadas reduções na estabilidade de agregados em sistemas com revolvimento do solo e em função das técnicas de manejo. De acordo com Oliveira (2008), o café sob sistema convencional apresentou os efeitos mais nocivos para a estrutura do solo, pela

menor estabilidade de agregados, refletidos pelo menor DMP e pela maior quantidade de agregados de menor tamanho.

Os resultados do ensaio de Proctor encontram-se na Tabela 2. Analisando as curvas de compactação, observou-se que, independente do sistema de manejo de solo, a densidade do solo aumenta com umidade

gravimétrica, até atingir um valor máximo e, a seguir, diminui devido à baixa compressibilidade da água. No ponto de máximo, ou seja, no vértice da parábola (Figura 1), foi obtido o valor da densidade do solo máxima e da umidade ótima de compactação (Stancati et al., 1981; Silva et al., 1986; Pacheco & Dias Junior, 1990; Ekwue & Stone, 1995).

	Ds máxima (g cm ⁻³)	U ótima (%)	Argila (%)	GC (%)
Café	1,41	27,87	52,33	96
Mata	1,41	27,52	61,50	96
Pastagem	1,48	24,56	46,10	97

Segundo Soane (1970) o grau de compactação depende principalmente do teor de argila do solo. Estes dados mostram a compactação máxima a diferentes umidades e que, nestas condições praticamente desaparece a macroporosidade dos solos. A susceptibilidade do solo à compactação, avaliada pelo ensaio Proctor, torna-se menor à medida que cresce a quantidade de material orgânico existente no solo. Em geral, para um mesmo nível de energia, quanto maior o teor de matéria orgânica do solo, menor é o valor de densidade máxima obtido e maior é o teor de água necessário para atingi-lo. Além disso, deve-se considerar que o ensaio Proctor é realizado com o solo desestruturado, o que aumenta sua susceptibilidade à compactação. Apesar disso, esse ensaio tem demonstrado ser um bom método para determinação da umidade crítica para a compactação (Figueiredo et al., 2000).

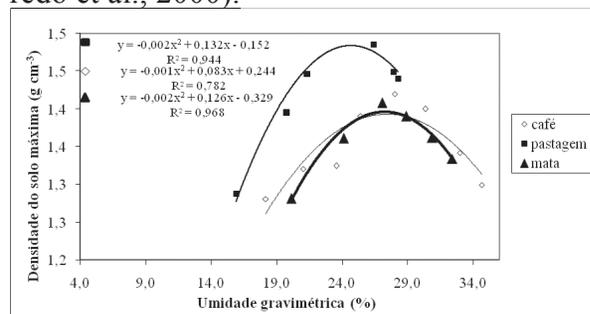


Figura 1. Densidade do solo máxima e umidade ótima de compactação em diferentes sistemas de manejo.

Observou-se que a pastagem apresentou a maior densidade do solo máxima, enquanto valores similares foram observados para café e a mata nativa (Tabela 2).

Tabela 2. Densidade do solo máxima, umidade gravimétrica, teor de argila e grau de compactação (GC) de três sistemas de manejo.

Os resultados aqui apresentados para café e mata nativa confirmam as observações feitas por Acharya & Sharma (1994), cujos resultados mostraram que a densidade máxima do solo foi menor quando sobre o mesmo havia resíduos vegetais. Confirmam, ainda, as suposições de Silva et al. (2000), que creditaram aos resíduos vegetais presentes sobre o solo durante o pastoreio o pouco efeito do pisoteio animal sobre os atributos físicos do solo. O aumento da umidade ótima de compactação com o teor de argila está relacionado com sua capacidade de adsorção de água (Silva et al., 1986; Ekwue & Stone, 1997). Em geral, a umidade crítica de compactação é menor do que o limite de plasticidade, fato também observado por Gamero (1982), Stone & Ekwue (1993) e Ekwue & Stone (1997). Sendo o limite de plasticidade o limite superior da zona de friabilidade do solo, verifica-se que a umidade crítica de compactação está contida na faixa de umidade onde o tráfego de máquinas é realizado, ou seja, somente na posição de rodado das máquinas e implementos. Assim, pode-se sugerir que o tráfego de máquinas não seja realizado quando a umidade do solo for aproximadamente igual ao limite de plasticidade, o que evitaria maiores riscos de compactação do solo.

O ensaio de Proctor é pouco usual em laboratórios de análises de solo para fins

agronômicos, por não preservar a estrutura do solo, aumentando sua susceptibilidade à compactação, de modo que vários autores têm sugerido índices alternativos para determinar a umidade crítica de compactação. Nesse sentido, Ojeniyi & Dexter (1979) sugerem que seja utilizada a umidade correspondente a 90 % do limite de plasticidade, o que foi corroborado pelas observações de Figueiredo et al. (2000).

O trânsito de máquinas ou de animais sobre o solo, quando em condições ina-

dequadas de umidade, é uma das principais causas da compactação observada em muitas lavouras e que resulta em danos à produção agrícola, visto que a umidade do solo é um dos principais fatores determinantes da susceptibilidade à compactação (Dias Junior & Pierce, 1996; Silva et al., 2002).

O teste de homogeneidade e os resultados do ensaio de compressibilidade para os diferentes manejos encontram-se na Tabela 3 e Figura 2, respectivamente.

Tabela 3. Teste de homogeneidade de acordo com Snedecor & Cochran (1989) entre os modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10(a + bU)$] de um Latossolo Vermelho distroférico, para as diferentes condições de manejo.

Manejo	F	Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
Café x pastagem	H	ns	**
Café x mata	H	ns	*
Pastagem x mata	H	ns	ns
Pastagem e mata x café	H	ns	**

H: homogêneo; **ns:** não significativo; ******significativo, a 1% de probabilidade; *****significativo, a 5% de probabilidade.

Os modelos de capacidade de suporte de carga (CSC) foram iguais para os tratamentos pastagem e mata nativa. Assim, uma nova equação foi ajustada utilizando todos os valores de pressão de pré-consolidação e umidade, obtendo-se um único modelo para os dois tratamentos. Comparando-se estatisticamente os modelos para os tratamentos combinados pastagem e mata nativa com o modelo do manejo café, observa-se que foram homogêneos, diferindo no coeficiente linear. Assim, os modelos de CSC podem ser expressos pelas equações (Figura 2).

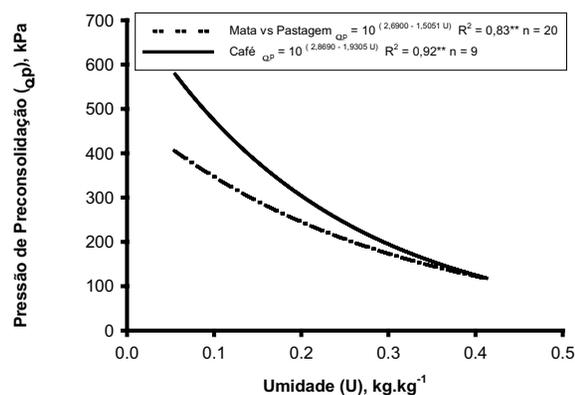


Figura 2 - Pressão de preconsolidação em função da umidade para diferentes manejos café x mata e pastagem.

A curva de compressão do solo tem sido utilizada para mostrar alterações na estrutura do solo (Larson et al., 1980; Larson et al., 1989; Dias Junior & Pierce, 1996). Esta curva representa graficamente a relação entre o logaritmo da pressão aplicada e alguma propriedade relacionada com o arranjo das partículas do solo, sendo a densidade do solo o parâmetro mais freqüente utilizado (Casa-grande, 1936; Holtz & Kovacs, 1981; Dias Junior & Pierce, 1996; Kondo, 1998). Solos distroférricos da região de Lavras apresentam baixa pressão de preconsolidação em função do potencial mátrico, devido a sua mineralogia rica em óxidos de ferro e estrutura granular (Ajayi et al., 2009). Os resultados mostraram que o sistema de manejo cultivado com café apresentou maior capacidade de suporte de carga, indicando ocorrência de degradação da estrutura do solo, quando comparado aos manejos de pastagem e mata nativa. Este resultado se deve possivelmente ao tráfego de máquinas nas operações realizadas durante o ano. Segundo Silva et al. (2006), em lavouras cafeeiras, o aumento da intensidade das operações mecanizadas ocorre na estação chuvosa, o que aumenta o potencial de provocar dano à estrutura do solo (Alakukku et al., 2003; Dias Junior et al., 2005). A maior capacidade de suporte de carga do solo no manejo com cafeeiro na linha de tráfego faz com que o solo, se torna menos susceptível à compactação adicional, no entanto, resultará em maior resistência mecânica imposta ao sistema radicular da cultura (Kondo, 2003), afetando a expansão do sistema radicular e o transporte de água e de assimilados das raízes para a parte aérea.

CONCLUSÕES

Para amostras sem pré-umedecimento, o DMP e DMG de agregados es-

táveis em água decresceram na ordem pastagem>mata>café;

De acordo com o ensaio de Proctor Normal, a densidade máxima de compactação variou com o manejo estudado. Decresceu na seguinte ordem: mata>pastagem>café, enquanto que a umidade ótima de compactação foi maior em mata>café>pastagem;

A densidade de todos os solos aumentou com a elevação da umidade, até atingir um máximo enquanto que a umidade ótima de compactação foi maior nos solos mais argilosos.

A pastagem e a mata nativa apresentaram capacidade de suporte de carga semelhantes e menores que o café, indicando a manutenção de uma estrutura favorável para o desenvolvimento das plantas e apresentando portanto maior susceptibilidade a compactação adicional;

A área sob manejo de café apresentou maior capacidade de suporte de carga, sendo, portanto mais resistente a compactação, por ter já sofrido deformações plásticas, ou seja, não recuperáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJAYI, A.E.; DIAS JUNIOR, M.S.; CURI, N.; GONTIJO, I; ARAUJO-JUNIOR, C.F.; VASCONCELOS JUNIOR, A.I. Relation of strength and mineralogical attributes in Brazilian Latosols. **Soil and Tillage Research**, v. 102, p. 14-18, 2009.

ALAKUKKU, L.; EEISSKOPF, W; CHAMEN, W.C.T.; TIJINK, F.G.J.; VANDER LINDEN, J.P.; PIRES, S.; SOMMER, C.; SPOOR, G. Prevention strategies for Field traffic-induced subsoil compaction: a review. Part I-Machine/soil interactions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, p. 145-160, 2003.

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 115- 119, 1995.

ALVARENGA, M.I. N.; DAVIDE, A.C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 933-942, 1999.

ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTO, V. J.; LEITE, G.B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 139-145, 1994.

ACHARYA, C.L.; SHARMA, P.D. Tillage and mulch effects on soil physical environment, root growth, nutrient uptake and yield of maize and wheat on an Alfisol in north-west India. **Soil and Tillage Research**, v. 32, p. 291-302, 1994.

BOWLES, J.E. **Engineering properties of soils and their measurements**. 3rd. ed. Auckland, McGraw-Hill, 1986. 218 p.

CASAGRANDE, A. The determination of the preconsolidation load its practical significance. In: CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 1936, Cambridge. **Proceedings**. Cambridge: MA Harvard University, 1936. v. 3, p. 60-64.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=73&NSN=1217>>. Acesso em: 18 de dez. 2009.

D'ANDRÉA, A.F. **Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no Sul de Goiás**. 2001. 104 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

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

DIAS JUNIOR M.S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 175-182, 1996.

DIAS JUNIOR, M.S.; LEITE, F.P.; LASMAR JUNIOR, E.; ARAUJO JUNIOR, C.F. Traffic effects on the soil preconsolidation pressure due to Eucalyptus harvest operations. **Scientia Agrícola**. Piracicaba-SP, v. 62, n. 3. p.248-25, 2005.

EKWUE, E.J.; STONE, R.J. Organic matter effects on strength properties of compacted agricultural soils. **Transactions of the ASAE**, v. 38, p.357-365, 1995.

EKWUE, E.J.; STONE, R.J. Density-moisture relations of some Trinidadian soils incorporated with sewage sludge. **Transactions of the ASAE**, v. 40, p. 317-323, 1997.

FERREIRA, M.M.; DIAS JUNIOR, M.S.; BERTONI, J.C.; BASTOS, A.R.R. **Física do Solo Prática** (Apostila). 2000. 37 p.

FERREIRA, D.F. *SISVAR software*: versão 4.6. Lavras: DEX/UFLA, 2003.

FIGUEIREDO, L.H.A.; DIAS JUNIOR, M.S.; FERREIRA, M.M. Umidade crítica de compactação máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Roxo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 24, 487-493, 2000.

GAMERO, C.A. **Efeito da mobilização do solo com enxada rotativa, sobre algumas de suas características físicas.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1982. 69p. (Tese de Mestrado)

HOLTZ, R.D.; KOVACS, W.D. **An introduction to geotechnical engineering.** New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1981. 733 p.

KEEN, B.A.; CASHEN, G.H. Studies in soil cultivation: VI. The physical effect of sheep folding on the soil. **Journal of Agricultural Science**, v.22, n.3, p. 126-134, 1932.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. p. 425-442. In. KLUTE, A (ed.). **Methods of soil analysis.** Part. 1. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison.

KONDO, M.K. Compressibilidade de três Latossolos sob diferentes usos. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1998. 95p. **Tese de Mestrado.**

KONDO, M.K. Variabilidade espacial do comportamento compressivo do solo e mapas de trafegabilidade na cultura do cafeeiro irrigado. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2003. 166p. **Tese de Doutorado.**

LARSON, W.E.; GUPTA, S.C.; USECHE, R.A. Compression of agricultural soil from eight soil orders. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 450-457, 1980.

LARSON, W.E.; BLAKE, G.R.; ALLMARAS, R.R.; VOORHEES, W.B.; GUPTA, S.C. **Mechanics and related processes in structured agricultural soils.** The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1989. 273 p. (NATO Applied Science, 172)

MARA/SPI/Embrapa – Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais Climatológicas** (1961 – 1990). Serviço de Produção de Informação. Brasília. 84 p. 1992.

NIMMO, J.R.; PERKINS, K.S. Aggregate stability and size distribution. In. ALAMOODI, L (Ed.). **Method of Soil Analysis.** Part 4 – Physical Methods. SSSA, **Madison.** p. 317-328, 2002.

OJENIYI, S.O.; DEXTER, A.R. Soil factor affecting the macrostructure produced by tillage. **Transactions of the ASAE** (American Society of Agricultural Engineers), 22, p. 339-343, 1979.

OLIVEIRA, J.T.; MOREAU, A.M.S.S.; PAIVA, A.Q.; MENEZES, A.A.; COSTA, O.V. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 2821-2829, 2008, Número Especial.

PACHECO, A.A.R.; DIAS JUNIOR, M. S. Estudo comparativo de métodos de campo e laboratório aplicados à confecção de blocos em adobe. **Ciência e Prática**, v. 14, p. 176-190, 1990.

RANDO, E.M. Alterações nas características e propriedades físicas de um Latossolo Roxo distrófico, ocasionadas pelo cultivo convencional. Lavras: Escola Superior de Agricultura de Lavras. 1981. 161p. **Tese de Mestrado.**

SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. **Statistical methods.** 8th ed. Ames: Iowa State University Press, 1989. 503 p.

SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 91-95, 1986.

SILVA, A.R.; DIAS JUNIOR, M.S.; GUIMARÃES, P.T.G.; ARAUJO JUNIOR, C.F. Modelagem de capacidade de suporte de carga e quantificação dos efeitos das operações mecanizadas em um Latossolo Amarelo Cultivado com Cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 30, p. 207-216, 2006.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 313-319, 1997.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 191-199, 2000.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. II – Grau de saturação em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 9-15, 2002.

SOANE, B.D. The effects of traffic and implements on soil compaction. **The Agricultural Engineer**, v. 25, 115-128, 1970.

STANCATI, G.; NOGUEIRA, J.B. ; VILLAR, O.M. Compactação do solo. In: **Ensaio de laboratório em mecânica do solos**. São Paulo, USP, 1981. p. 81-93.

STONE, R.J.; EKWUE, E.I. Maximum bulk density achieved during soil compaction as affected by the incorporation of three organic materials. **Transactions of the ASAE** (American Society of Agricultural Engineers), v. 36, p. 1713-1719, 1993.

TANNER, C.B. & MARMARIL, C.P. Pasture soil compaction by animal traffic. **Agronomy Journal**, v. 51, p. 329-331, 1959.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of American Society of Agronomy**, v. 28, 337-351. 1936.