



**PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE UM LATOSSOLO  
ROXO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

**LUIZ HENRIQUE ARIMURA FIGUEIREDO**

1998

NO E EMPRÉ  
DEVO

---

AM 7 430  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....



**LUIZ HENRIQUE ARIMURA FIGUEIREDO**

**PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE UM LATOSSOLO  
ROXO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal  
de Lavras, como parte das exigências do Curso  
de Mestrado em Agronomia, área de  
concentração em Solos e Nutrição de Plantas,  
para obtenção do título de "Mestre".

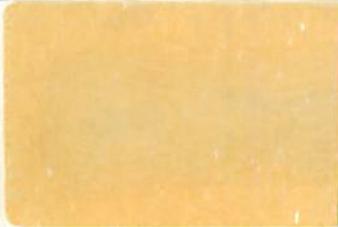
Orientador

Prof. Dr. Moacir de Souza Dias Junior

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
1998



N.º CLAS. ....



Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Classificação e Catalogação da  
Biblioteca Central da UFLA

Figueiredo, Luiz Henrique Arimura

Propriedades físicas e macânicas de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo / Luiz Henrique Arimura Figueiredo. – Lavras: UFLA, 1998. 68p.il.

Orientador: Moacir de Souza Dias junior.  
Dissertação (Mestrado) - UFLA.  
Bibliografia.

1. Solo. 2. Compactação. 3. Propriedade físicas. 4. Propriedade mecânica. 5. Ensaio proctor normal. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.43

**LUIZ HENRIQUE ARIMURA FIGUEIREDO**

**PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE UM LATOSSOLO  
ROXO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

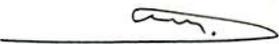
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 10 de março de 1998

Prof. Dr. Mozart Martins Fereira UFLA

Prof. Dr. José Maria de Lima UFLA

Prof. Dr. Nilson Salvador UFLA

  
Prof. Dr. Moacir de Souza Dias Junior  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

À minha mãe Leontina  
ao meu pai Luiz (*in memoriam*)  
ao meu irmão Luciano  
a dona Lourdes  
pelo apoio, compreensão e  
exemplo de vida e dedicação.

OFEREÇO

À, minha noiva, Maria Auxiliadora  
pela amizade, companheirismo  
e por acreditar

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela concessão e guia da minha vida.

A Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência do solo, pelo acolhimento, e pela oportunidade oferecidas para a realização deste trabalho.

Ao Conselho de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa, a qual possibilitou a realização deste trabalho.

Ao Professor Moacir de Souza Dias Junior, pela orientação, amizade e empenho na realização deste trabalho.

Aos Professores Mozart Martins Ferreira, José Maria de Lima, Nilson Salvador, Nilton Curi, Júlio Silvio de Souza Bueno Filho, Daniel Furtado Ferreira, Victor Bahia, Maria da Glória Bastos de Freitas Mesquita e Geraldo César de Oliveira, pelo auxílio e atenção prestados.

A Gislene Aparecida dos Santos, pela amizade, companheirismo e imprescindível colaboração nesta caminhada.

Ao pessoal da república Jorge Eduardo da Silva Santos, Álvaro Vilela de Resende, Marcos Koiti Kondo, Fábio Pereira Dias, Elieser Santurbano Gervásio, Leandro Alves Martins e Haroldo Silva Valone, pela convivência, apoio e amizade.

Ao Jairo Lima Júnior e a Dulce Claret Monteiro Moraes, funcionários do laboratório de física do solo, pela compreensão, colaboração e amizade.

A todos que ajudaram na fase experimental: Elen Bassan Henrique, Leandro Pinto Miranda, Everaldo Batista e Marco Antônio de Oliveira.

Aos amigos Marcos Aurélio Carolino de Sá, Cristiane Regina Bueno A. Ramos, Tânia das Graças Silva, Reginaldo de Camargo, Rita de Cássia Gonçalves Gervásio, Marcos Aurélio Carbone Carneiro e Andréia, Júlio César Bertoni, Luis Adolfo Oliveira Grandeza.

Aos amigos de graduação, mestrado e doutorado Luciane da S. C. Rostágnio, Marilusa Pinto Coelho Lacerda, Paulo Emílio Ferreira Mota, Reginaldo Barbosa , Rui Carvalho, Carlos, Alceu Pedrotti, Francisca Alcivânia de Melo Silva, Wagner Thompson Estanislau, Matheus Rosas Ribeiro Filho, Wladimir Antônio Silva.

Aos servidores do Departamento de ciência do Solo: José Roberto Fernades (Pézão), Maria José da Silva (Dona Zeze), Daniel dos Santos, Humberto Dimas Fernandes, Anamaria Alvarenga Pereira, Vera Lucia Alonso, Maria da Glória Brito Ferreira, Nilson Bernado dos Santos, Cláudia Ribas de Freitas e Maria Aparecida F. Barbosa (in memorian).

## SUMÁRIO

	página
RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
CAPÍTULO 1 .....	01
1 Introdução geral .....	01
2 Referencial Teórico .....	02
3 Metodologia Geral .....	04
4 Referências Bibliográficas .....	06
CAPÍTULO 2: Efeito de sistemas de manejo nas propriedades físicas de um latossolo roxo .....	13
1 Resumo .....	13
2 Abstract .....	14
3 Introdução .....	15
4 Material e Métodos .....	19
5 Resultados e Discussão .....	23
6 Conclusões .....	34
7 Referências Bibliográficas .....	35
CAPÍTULO 3: Efeito de sistemas de manejo na densidade do solo máxima e umidade ótima de compactação, em um latossolo roxo .....	42
1 Resumo .....	42
2 Abstract .....	43
3 Introdução .....	44

<b>4 Material e Métodos .....</b>	<b>47</b>
<b>5 Resultados e Discussão .....</b>	<b>51</b>
<b>6 Conclusões .....</b>	<b>62</b>
<b>7 Referências Bibliográficas .....</b>	<b>63</b>

## RESUMO

FIGUEIREDO, Luiz Henrique Arimura. Propriedades físicas e mecânicas de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo. Lavras: UFLA, 1998, 68p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição Mineral de Plantas).

Vários sistemas de manejo do solo têm sido estudados visando a manutenção das propriedades físicas, químicas e biológicas, em busca de uma agricultura sustentável. Foram avaliados os seguintes sistemas de manejo de solo: preparo com arado de disco, preparo com arado de aiveca, preparo com grade, preparo com escarificador e plantio direto, afetando as propriedades físicas e mecânicas de um Latossolo Roxo da Região de Lavras (MG) em três amostragem 1996: em janeiro antes da semeadura do feijão, em abril antes da colheita do feijão e em novembro antes da semeadura do milho. A textura, densidade de partículas, densidade do solo, volume total de poros, macroporosidade, microporosidade e condutividade hidráulica saturada, não foram observadas diferenças estatísticas entre os manejos. Curvas de retenção e monitoramento da umidade do solo, não foi observado uma diferença nítida entre os manejos. A umidade atual foi maior na superfície, do que na profundidade de trabalho do implemento e entre as coletas. O plantio direto e o cultivo mínimo, apresentou maior teor de matéria orgânica na camada superficial do que na profundidade de trabalho do implemento. O diâmetro médio geométrico dos agregados do solo, teve um aumento significativo no decorrer das coletas em ambas as profundidade e em todos os manejos. A densidade do solo máxima e a umidade ótima de compactação, também não apresentaram diferenças significativas entre os manejos estudados. A umidade ótima de compactação do solo se encontra próximo a capacidade de campo, se esta for considerada como o teor de umidade retida a sucção de 0,033 MPa, se a capacidade de campo for considerada como o teor de umidade retida a sucção de 0,01 MPa, a umidade ótima de compactação se encontra a 90% da sucção de 0,01 MPa.

---

Comitê Orientador: Moacir de Souza Dias Junior - UFLA (Orientador), Mozart Martins Ferreira - UFLA, José Maria Lima - UFLA e Nilson Salvador - UFLA

## ABSTRACT

FIGUEIREDO, Luiz Henrique Arimura. Physical and mechanical properties of Dusky Red Latossol submitted to different soil management systems. Lavras: UFLA, 1998. 68p. (Dissertation - Master in Agronomy: Soils and Nutrition of Plants).

Several soil management systems have been studied seeking for the maintenance of the physical, chemical and biological properties, in search of a sustainable agriculture. The following soil management systems: conventional tillage with disk plow, moldboard plowing, intensive tillage with disk harrows, minimum tillage com chisel and no-tillage, wich affected physical and mechanical properties of a Dusky Red Latossol at the Lavras (MG) region, in three periods: In january, prior bean sowing; in april, prior bean harwest and in november, prior corn sowing were analysed. In all soil management, no statistical differences were observed for texture, particle and bulk density, porosity, macropores, micropores and satured hydraulic conductivity. Water retention curves and soil moisture content showed no significant differences among soil management. The current moisture content was larger in the surface than in tools the work depth and among sampling periods. No-tillage and minimum tillage presented larger organic matter content in the surface layer than in the tools work depth. Geometric medium diameter of the soil had significant increase during soil sampling in both depth and in all soil managements. Maximum bulk density and optimim moisture content showed no significant differences among the management studied. The optimum soil moisture content was close to field capacity considering as a moisture content retained at a suction of 0,033 MPa, however, if the field capacity is considered as a moisture content retained at a suction of 0,01 MPa, the optimum moisture content reaches at 90% suction of 0,01 MPa.

---

Guidance Committee: Moacir de Souza Dias Junior (Major Professor), Mozart Martins Ferreira - UFLA, José Maria de Lima - UFLA and Nilson Salvador - UFLA

# CAPÍTULO 1

## 1 Introdução Geral

O preparo periódico do solo tem como finalidade, dar condições ótimas para a germinação, desenvolvimento e produtividade das culturas (Veiga e Amado, 1994). Quando o solo é preparado em condições inadequadas de umidade, há o aparecimento de compactação de camadas superficiais e até das subsuperficiais, sendo prejudicial para a cultura e para o solo (Dalla Rosa, 1981; Silva, 1980; Camargo, 1983; Corsini, 1991; Veiga e Amado, 1994; Dias Junior, 1996).

No capítulo a seguir, com o intuito de estudar os efeitos causados por vários tipos de manejos do solo sobre as propriedades físicas, foram estudados vários atributos do solo, sendo que a matéria orgânica foi afetada pelos tipos de manejos, a umidade atual e o diâmetro médio geométrico, pelas épocas de amostragens. No terceiro capítulo, apresenta-se um estudo dos vários sistemas de manejos sobre as propriedades mecânicas do solo. Apesar dos atributos do solo não terem sido afetados pelos manejos, estima-se umidade ótima de compactação, através do limite de plasticidade e capacidade de campo.

O trabalho teve como objetivos: 1) avaliar o efeitos dos manejos do solo, usando: preparo convencional com arado de discos e com arado de aivecas; preparo intensivo com grades de discos ; plantio direto e preparo conservacionista com escarificador, nas propriedades físicas de um Latossolo Roxo da Região de Lavras (MG). 2) estudar o efeito de diferentes sistemas de manejo do solo na densidade máxima e a umidade ótima de compactação de um Latossolo Roxo e buscar definir a aplicabilidade do ensaio de proctor normal para fins agrícolas.

## **2 Referencial Teórico**

Quando o solo é preparado em condições inadequadas de umidade, há o aparecimento de compactação nas camadas superficiais e até nas subsuperficiais, prejudicando a emergência de plântulas e o desenvolvimento das plantas, além de facilitar o processo erosivo (Dalla Rosa, 1981; Silva, 1980; Camargo, 1983; Corsini, 1991; Veiga e Amado, 1994; Dias Junior, 1996).

O sistema convencional de preparo do solo, consiste de uma aração (arado de discos), seguida de duas gradagens (Derpsch et al., 1991). No plantio direto a semente é depositada no solo não preparado, com os resíduos da cultura anterior e as plantas daninhas são controladas por herbicidas (Derpsch et al., 1991; Moraes, 1984), conseqüentemente ocorre um acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo (Veiga e Amado, 1994; Derpsch et al., 1991), devido a isto o solo sob plantio direto apresenta uma maior estabilidade dos agregados (Eltz, Peixoto e Jaster, 1989).

O solo sob plantio direto, a princípio, sofre uma compactação devido ao tráfego de máquinas e implementos (Abrão et al., 1979; Derpsch et al., 1991) que pode vir a diminuir com o tempo devido ao aumento teor de matéria orgânica do solo (Fernandes, 1983). O espaço poroso do solo pode ser alterado com o manejo do solo (Eltz, Peixoto e Jaster, 1989), isto altera o movimento da água e do ar. Comumente ocorre uma maior infiltração de água no plantio direto, na camada superficial do que no sistema convencional (Eltz, Peixoto e Jaster, 1989). O solo sob plantio direto também apresenta uma maior capacidade de retenção de água, do que o solo sob sistema convencional, devido ao acúmulo de matéria orgânica (Sidiras, Viera e Roth., 1984; Lal, 1976).

Nas últimas décadas, observou-se um aumento no trânsito de máquinas sobre o solo, além do aumento do peso e potência dos tratores (Mantovani, 1987), contribuindo para aumentar as áreas com problemas de compactação.

No estudo da compactação do solo, um dos ensaios utilizados é o de proctor normal (Dias Junior, 1996), no qual para uma mesma energia de compactação a densidade do solo depende de sua umidade no momento da compactação (Vargas, 1977). Da curva de compactação se obtém a densidade do solo máxima e a umidade ótima de compactação. Esta curva é afetada pela energia de compactação, textura e matéria orgânica (Ekwue e Stone, 1995; Ekwue e Stone, 1997; Stone e Ekwue, 1993; Silva et al., 1986; Ohu et al., 1986).

A energia de compactação, representa para a agricultura o peso do trator e o número de vezes que ele passa pelo solo (Raghavan et al., 1976). Solos argilosos apresentam uma maior densidade do solo máxima e maior umidade ótima de compactação do que um solo arenoso (Vargas, 1977; Pacheco e Dias Junior, 1990; Hillel, 1982). Com o aumento do teor de matéria orgânica do solo, ocorre uma diminuição na densidade do solo máxima e um aumento da umidade ótima de compactação (Ekwue e Stone, 1995; Ekwue e Stone, 1997; Stone e Ekwue, 1993; Silva, Libardi e Camargo, 1986; Ohu et al., 1986, Soane et al., 1980).

Devido ao ensaio de proctor normal ser trabalhoso, pesquisadores têm utilizados outros atributos do solo na determinação da umidade ótima de compactação, como o limite de plasticidade (Ojeniyi e Dexter, 1979) e a capacidade de campo (Campbel et al., 1980 e Howard, Singer e Frantz, 1981).

### **3 Metodologia Geral**

Este estudo foi conduzido em um Latossolo Roxo muito argiloso, originário de gabro (Rocha, 1982), localizada no Campus da Universidade Federal de Lavras, MG, com uma altitude média em torno de 918 metros, apresentando clima Cwb, segundo classificação de Köppen (Castro Neto, 1982).

A área onde foi instalado o experimento, era usada pelo setor de produção da universidade, há mais de quinze anos, sendo a principal cultura instalada, o milho. Antes da instalação do experimento, a área foi subsolada, em novembro de 1994, e realizou-se uma calagem. A seguir, a área foi trabalhada de acordo com as peculiaridades dos tratamentos, semeando milho tardio em janeiro de 1995. Em novembro de 1995, novamente o solo foi trabalhado e no final de janeiro de 1996, semeou-se feijão. Em novembro de 1996, trabalhou-se novamente o solo para a instalação da cultura de milho em dezembro.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com cinco tratamentos e três repetições, os tratamentos foram os seguintes:

1. Plantio Direto (PD) - o solo foi revolvido apenas ao longo das linhas, por ocasião da semeadura. Utilizou-se uma semeadora-adubadora marca Jumil, modelo 2040, equipadas com acessórios para semeadura direta.

2. Preparo Conservacionista com Escarificador (CM) - utilizou-se neste sistema o escarificador de hastes rígidas, marca Maschietto, modelo SDM-7-A, de arrasto, com 5 hastes, a uma profundidade de 20 cm.

3. Preparo Convencional com Arado de Aivecas (AA) - utilizou-se no preparo primário do solo, um arado de 3 aivecas, fixo, marca Maschietto, modelo A-3, a uma profundidade de 20 cm.

4. Preparo Convencional com Arado de Disco (AD) - utilizou-se no preparo primário do solo, o arado com 3 discos de 70 cm de diâmetro, reversível, marca Santa Isabel, modelo 328, a uma profundidade de 20 cm.

5. Preparo Intensivo com Grades Intermediárias (GD) - utilizou-se no preparo primário do solo, uma grade intermediária, marca Marchesan, modelo GAP, de arrasto, a uma profundidade de 15 cm.

Foram realizadas três amostragens, uma em janeiro de 1996, antes do plantio de feijão, a segunda em abril, antes da colheita de feijão, e a última em novembro, antes do plantio de milho, quando foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, na camada superficial do solo e logo abaixo da profundidade operacional dos equipamentos e no caso do plantio direto logo abaixo da profundidade efetiva do sistema radicular.

Determinou-se a textura (Day, 1965), densidade de partículas (Blake e Hartge, 1986a), matéria orgânica (Rajj e Quaggio, 1983), densidade do solo (Blake e Hartge, 1986b), estabilidade do agregados (Kemper e Rosenal, 1986), curva de retenção de umidade (Klute, 1986), condutividade hidráulica saturada (Klute e Diersen, 1986), volume total de poros, microporosidade e macroporosidade (Danielson e Sutherland, 1986). A umidade do solo foi monitorada mensalmente no período de 05/96 a 04/97. A densidade do solo máxima e a umidade ótima de compactação foram determinadas pelo ensaio de proctor normal (Stancati, nagueira e Vilar, 1981) e o limite de plasticidade (Sowers, 1965).

A análise estatística, seguiu o método da máxima verossimilhança restrita (REML), adequada para o delineamento em faixas (Latour, Latour e Wolfinger, 1994).

#### **4 Referências Bibliográficas**

- ABRÃO, P. U. R.; GOEPFERT, C. F.; GUERRA, M.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, n.3, p.169-172, set./dez. 1979.
- BLAKE, G. R.; HANTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison:American Society of Agronomy, 1986a. v.1, p.377-382.
- BLAKE, G. R.; HANTGE, K. H. Bulky density. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison:American Society of Agronomy, 1986b. v.1, p.363-375.
- CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas: Fundação Cargil, 1983. 44p.
- CAMPBELL, D. J.; STAFFORD, J. V.; BLACKWELL, P. S. The plastic limit, as determined by the drop-cone teste, in relation to the mechanical behaviour of soil. **Journal Soil Science**, Oxford, v.31, n.1, p.11-24, Mar. 1980
- CASTRO NETO, P. **Notas de aula práticas do curso de agrometeorologia**. Lavras: ESAL, 1982. 49p.
- CORSINI, P. C. Impact of soil degradation on crop production in Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.20, p.353-363, 1991

- DALLA ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo - solo Santo Ângelo (Latosolo Roxo distrófico)**. Porto Alegre: UFRGS, 1981. 136 p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia)
- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.443-461.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C.A. (ed.). **Methods of soil analysis: part 1, physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Cap. 43, p.545-567. (Agronomy,9)
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: GTZ-IAPAR, 1991. 272 p.
- DIAS JUNIOR, M. de S. **Notas de aula de física do solo**. Lavras: UFLA, 1996, 51-79p.
- ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.2, p.259-267, maio/ago. 1989.

EKWUE, E. J.; STONE, R. J. Density-moisture relations of some Trinidadian soils incorporated with sewage sludge. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.40, n.2, p. 317-323, Mar./Apr. 1997.

EKWUE, E. J.; STONE, R. J. Organic matter effects on the strength properties of compacted agricultural soils. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.38, n.2, p.357-3365, Mar./Apr. 1995.

FERNANDES, B. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros, em dois solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.3, p.329-333, set./dez. 1983.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. San Diego: Academic Press, 1982. 365p.

HOWARD, R. F.; SINGER, M. J.; FRANTZ, G. A. Effects of soil properties, water content, and compactive effort on the compaction of selected california forest and range soils. **Soil Science Society of America Journal**, Atlanta, v.45, n.2, p. 231-236, Mar./Apr. 1981

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.425-442.

- KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.635-662.
- KLUTE, A.; DIRSEN, C. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.687-734.
- LAL, R. A. No-tillage effects on soil properties under different crops in western Nigéria. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.40, n.5, p.762-768, set./out. 1976.
- LATOUR, D.; LATOUR, K.; WOLFINGER, R. D. **Getting started with proc mixed, software sales and marketing**. Cary: SAS institute Inc., 1994. 121p.
- MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.147, p.52-55, mar. 1987
- MORAES, W. V. **Comportamento de características e propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Escuro, submetido a diferentes sistemas de cultivos**. Lavras: ESAL, 1984. 107p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de plantas).
- OHU, J. O.; RAGHAVAN, G. S. V.; MCHYES, E.; MEHUYS, G. Shear strength prediction of compacted soils with varying organic matter contents. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.29, n.2, p.351-355, Mar./Apr. 1986.

- OJENIYI, S. O.; DEXTER, A. R. Soil factors affecting the macro-structures produced by tillage. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.22, n.2, p.339-343, Mar./Apr. 1979.
- PACHECO, A. A. R. C.; DIAS JUNIOR, M. de S. Estudo comparativo de métodos de campo e laboratório aplicados à confecção de blocos em adobe. *Ciência e Prática*, Lavras, v.14, n.2, p.176-190, maio/ago. 1990.
- RAGHAVAN, G. S. V.; MCKYES, E.; AMIR, I.; CHASSE, M.; BROUGHTON, R.S. Prediction of compaction due to off-road vehicle traffic. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.19, n.4, p.610-613, Jul./Aug. 1976.
- RAIJ, B. Van; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1983. (Boletim Técnico,81).
- ROCHA, G. C. **Geologia, geomorfologia e pedologia de uma catena de solos situada no Campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras, MG**. Lavras: ESAL, 1982. 109p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de plantas)
- SIDIRAS, N.; VIERA, S. R.; ROTH, C. H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, Campinas, v.8, n.3, p.265-268, set./dez. 1984.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.91-95, maio/ago. 1986.

SILVA, I. F. Efeito de sistemas de manejos e tempo de cultivo sobre as propriedades físicas de um Latossolo. Porto Alegre: UFRGS, 1980, 105p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia)

SOANE, B. D.; BLACKWELL, P. S.; DICKSON, J. W.; PAINTER, D. J. Compaction by agricultural vehicles: a review. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.1, p.207-237, 1981.

SOWERS, G. F. Consistency. In: BLACK, C.A. (ed.). **Methods of soil analysis: part 1, physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Cap. 31, p.391-399. (Agronomy,9)

STANCATI, G.; NOGUEIRA, J. B.; VILAR, O. M. **Ensaios de laboratórios em mecânica dos solo**. São Carlos: USP Escola de Engenharia de São Carlos, 1981. 208p.

STONE, R.J.; EKWUE, E.I. Maximum bulk density achieved during soil compaction as effected by the incorporation of three organic materials. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.36, n.6, p.1713-1719, Nov./Dez. 1993.

**VARGAS, M. Introdução à mecânica dos solos. São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil da USP, 1977, 509p.**

**VEIGA, M.; AMADO, T.J. Preparo do solo. In: SANTA CATARINA. Secretaria do Estado da Agricultura e Abastecimento. Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água; Projeto de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas. 2.ed. rev. atual. e amp. Florianópolis: EPAGRI, 1994. p.165-187.**

## **CAPÍTULO 2**

### **Efeito de sistemas de manejo nas propriedades físicas de um Latossolo Roxo**

#### **1 Resumo**

Vários sistemas de manejo do solo, têm sido estudados visando a manutenção das propriedades físicas, químicas e biológicas, em busca de uma agricultura sustentável. Neste estudo, foram avaliados as alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Roxo da Região de Lavras (MG), submetidos aos seguintes sistemas de manejo de solo: preparo convencional com arado de disco, preparo convencional com arado de aiveca, preparo intensivo com grade, preparo conservacionista com escarificador e plantio direto. Foram realizadas três amostragens em 1996: em janeiro, antes da semeadura do feijão, em abril, antes da colheita do feijão e em novembro, antes da semeadura do milho. As profundidades de amostragens, foram na camada de 0-7cm e na camada logo abaixo da profundidade operacional dos equipamentos de preparo do solo e no caso do plantio direto, na camada de 25-32cm. Os manejos estudados, não apresentaram diferenças significativas na textura, densidade de partículas e densidade do solo, porém o plantio direto apresentou na camada superficial, na terceira amostragem, a maior densidade do solo e a grade apresentou, na terceira amostragem, na profundidade operacional dos equipamentos o maior valor desta camada. A umidade atual foi diferente entre as épocas, de coletas e a profundidade operacional dos equipamentos, apresentou uma maior umidade. A camada superficial no plantio direto e preparo com escarificador, apresentou um maior teor de matéria orgânica, do que na profundidade operacional dos equipamentos. O volume total de poros, macroporosidade e microporosidade, não apresentaram diferenças significativas entre os manejos estudados. O diâmetro médio geométrico, apresentou um aumento significativo no decorrer das coletas, em ambas, profundidade para todos os manejos. O comportamento das curvas de retenção de água, foram similares entre os manejos. A umidade do solo durante o período de um ano, não apresentou diferenças entre os manejos. A condutividade hidráulica saturada, não apresentou diferenças significativas entre os manejos estudados. Devido ao curto período de tempo (2 anos) provavelmente não tenham observado diferenças entre os manejos.

## **Effect of soil management systems on physical properties of a Dusky Red Latosol**

### **2 Abstract**

Several soil management systems have been studied seeking for the maintenance of the physical, chemical and biological properties, in search of a sustainable agriculture. The following soil management systems: conventional tillage with disk plow, moldboard plowing, intensive tillage with disk harrows, minimum tillage com chisel and no-tillage, wich affected physical and mechanical properties of a Dusky Red Latossol at the Lavras (MG) region, in three periods: In january, prior bean sowing; in april, prior bean harwest and in november, prior corn sowing were analysed. The soil samples were taken from the layer of 0-7cm and in the layer just below the operational depth of the cutting tools and in the case of no-tillage in the layer of 25-32cm. The studied soil managements did not present significant differences in texture, particles and bulk density. No-tillage, presented in the surface layer in the third sampling time the largest bulk density ( $1,24 \text{ Mg m}^{-3}$ ) and disk harrow presented in the work depth of the tool the largest value of this layer ( $1,26 \text{ Mg m}^{-3}$ ). The current moisture content was different among sampling periods and the work dept presented higher moisture content. The organic matter was larger in the surface layer in the no-tillage and minimum tillage than in the work depth of the tool. Porosity, macroporosity and microporosity did not present significant differences among the studied soil managements. Geometric medium diameter presented a significant increase during sampling in both depth in all studied managements. The behavior of the water retention curves were sifhilar among the soil managements. There were no differences among soil moisture content for the managements. The saturated hydraulic conductivity did not present significant differences among the managements. No significant differences among managements were observed probably due to the short period of the experimnet (2 years).

### 3 Introdução

As primeiras ferramentas de preparo do solo, foram feitas de pedra, madeira e, possivelmente, de ossos e conchas. Mais tarde, animais foram usados para tracionar hastes de madeira em forma apropriadas. Posteriormente, o ferro foi utilizado na confecção de implementos, até chegar ao arado de aiveca a tração animal, que revolucionou a agricultura (Castro, 1990).

O preparo do solo consiste em mudá-lo física, química ou biologicamente, com a finalidade de dar condições ótimas para a germinação, emergência das plântulas, desenvolvimento e produtividade das culturas (Veiga e Amado, 1994). Além disso, o preparo controla as plantas daninhas, fato esse considerado por muitos como a principal razão de sua utilização (Moraes, 1984).

Pesquisadores vêm demonstrando que o preparo do solo intensivo, atua desagregando as partículas da camada superficial, favorecendo, quando da incidência de chuva, a formação de selamento e encrostamento culminando em erosão e/ou dificuldade de emergência de plântulas, entre outros problemas (Silva, 1980; Dalla Rosa, 1981; Bertoni e Lombardi neto, 1990). Além disso, quando o solo é preparado em condições inadequadas de umidade, há o aparecimento de compactação de camadas mais superficiais e até das subsuperficiais. A compactação do solo prejudica a emergência de plântulas e o desenvolvimento das plantas, além de reduzir a infiltração de água e facilitar a processo erosivo (Dalla Rosa, 1981; Silva, 1980; Camargo, 1983; Corsini, 1991; Veiga e Amado, 1994; Dias Junior, 1996).

Um dos sistemas de preparo intensivo do solo é o preparo convencional, onde a aração é feita até a profundidade de 20 ou 25cm com o arado de disco.

Após o preparo primário com o arado, o preparo secundário é, geralmente, feito com a grade destorroadora-niveladora em duas passadas, mesmo que na prática um maior número de operações seja mais frequente (Derpsch, et al.,1991).

No plantio direto, a semente é depositada diretamente no solo não preparado, onde os resíduos da cultura anterior permanecem na superfície e as plantas daninhas são controladas por herbicidas. O emprego do plantio direto no Brasil, tornou-se possível somente após a introdução de herbicidas apropriados e o início da fabricação de semeadoras-adubadoras, capazes de operar em terra não preparada e com restos vegetais remanescentes na superfície (Derpsch et al., 1991; Moraes, 1984). No preparo convencional, os restos culturais, são incorporado ao solo, o que acelera sua decomposição, ao contrário do plantio direto e no preparo conservacionista, os restos culturais são mantidos sobre a superfície do solo, contribuindo assim para a decomposição mais lenta (Veiga e Amado, 1994). Devido a isso, Derpsch et al. (1991), somente verificou um nítido aumento no teor de matéria orgânica do solo, após quatro anos de plantio direto.

Nas regiões de clima subtropical, onde as temperaturas durante o ano são mais baixas e o inverno é chuvoso, favorecendo a formação de cobertura morta, no plantio direto, pela lenta decomposição dos resíduos culturais (Almeida e Rodrigues,1985; Alves, 1992). Porém, isto não ocorre em regiões tropicais onde o inverno é seco e as temperaturas médias anuais são mais elevadas. Como na maior parte do ano, há disponibilidade de água e altas temperaturas, a taxa de decomposição da matéria orgânica é alta, dificultando a formação de uma cobertura morta espessa na superfície (Alves, 1992; Castro et al., 1986).

A matéria orgânica tem grande influência na agregação do solo, pois, a medida que seu teor se eleva, a atividade microbiana é intensificada, resultando em produtos que desempenham função na formação e estabilização dos agregados, (Baver, Gardner e Gardner., 1972). O mesmo autor, cita que o efeito

da matéria orgânica em si, sem transformações biológicas, é muito pequeno na estrutura do solo. O estudo da agregação do solo é avaliado através do ensaio de estabilidade dos agregados. No plantio, direto observa-se maior tamanho de agregados estáveis em água, do que no preparo convencional do solo, devido a não destruição mecânica dos agregados pelos equipamentos de preparo do solo. É observado também, maior densidade do solo próximo à superfície e maior proteção da superfície contra o impacto das gotas de chuva oferecida pela cobertura morta (Eltz, Peixoto e Jaster, 1989).

Além da estabilidade dos agregados, a densidade do solo também constitui uma forma de avaliação da estrutura do solo. A densidade do solo varia com o manejo, compactação e com a incorporação de matéria orgânica (Ferreira, 1993), podendo variar no decorrer do período vegetativo da cultura (Derpsch et al., 1991).

Em geral, solos cultivados no sistema de plantio direto, a princípio, sofrem compactação devido ao tráfego de máquinas e implementos, além de uma consolidação natural, apresentando maior densidade na camada superior, a qual diminui com a profundidade, principalmente em solos argilosos (Abrão, 1979; Derpsch et al., 1991). Com o passar dos anos, a densidade do solo no plantio direto pode vir a diminuir, em parte, pelo aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial, favorecendo um melhor desenvolvimento da estrutura do solo (Fernandes, 1983).

A densidade do solo e o volume total de poros, têm sido usados como parâmetros de avaliação da estrutura do solo. O espaço poroso, pode ser alterado com o preparo do solo (Eltz, Peixoto e Jaster, 1989), alterando o movimento de água e o crescimento do sistema radicular das plantas. Assim, o movimento da água e do ar, estão intimamente associados com o volume de poros, e que podem ser grandemente afetados pelo sistema de preparo do solo. Apesar do plantio

direto apresentar, em muitos casos, maior densidade do solo e menor porosidade na camada superficial, a infiltração de água é comumente maior do que no preparo convencional (Eltz, Peixoto e Jaster, 1989). Isto acontece em função dos poros do solo serem mais contínuos no plantio direto, principalmente os canais feitos por minhocas e raízes decompostas (Douglas, Goss e Hill, 1980).

Em relação a capacidade de retenção de água do solo, observou-se que o plantio direto, apresentou uma maior retenção de umidade em relação ao sistema convencional, devido provavelmente ao seu maior teor de matéria orgânica (Sidiras, Viera e Roth, 1984; Lal, 1976).

O objetivo deste trabalho, foi avaliar o efeito dos seguintes manejos do solo: preparo convencional com arado de discos, preparo convencional com arado de aivecas, preparo intensivo com grade intermediária, preparo conservacionista com escarificador e plantio direto, sobre as propriedades físicas de um Latossolo Roxo da região de Lavras (MG).

#### 4 Material e Métodos

Este estudo, foi conduzido em um Latossolo Roxo muito argiloso, originário de gabro (Rocha, 1982), localizada no Campus da Universidade Federal de Lavras, MG, com uma altitude média em torno de 918 metros, apresentando clima Cwb, segundo classificação de Köppen (Castro Neto, 1982).

A área onde foi instalado o experimento, era usada pelo setor de produção da universidade, há mais de quinze anos, sendo a principal cultura instalada, o milho. O preparo do solo era feito com uma gradagem, seguida de uma aração, passava-se grade de discos tantas vezes quanto fosse necessário, para um destorroamento e nivelamento do terreno, sendo esta condição, considerada adequada para receber as sementes. Antes da instalação do experimento, a área foi subsolada, em novembro de 1994, à uma profundidade de aproximadamente 40cm e realizou-se uma calagem conforme recomendação, ficando em repouso por 2 meses. A seguir, a área foi trabalhada de acordo com as peculiaridades dos tratamentos, semeando milho tardio em janeiro de 1995. Em novembro de 1995, novamente o solo foi trabalhado e no final de janeiro de 1996, semeou-se feijão. Em novembro de 1996, trabalhou-se novamente o solo para instalação da cultura de milho, em dezembro.

Foi usado o delineamento experimental de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e três repetições, perfazendo um total de 15 unidades experimentais. A área experimental foi de 10800 m<sup>2</sup>. Cada parcela teve uma área de 720 m<sup>2</sup>. As parcelas foram separadas entre si por um carreador de 20 m de largura e os blocos separados por terraços existentes. Os tratamentos constituíram-se dos seguintes sistemas de manejos:

1. **Plantio Direto (PD)** - neste sistema, o solo foi revolvido apenas ao longo das linhas, por ocasião da semeadura. A semeadura foi realizada com uma semeadora-adubadora para sementes graúdas, marca Jumil, modelo 2040, equipadas com acessórios para semeadura direta, com três linhas individuais, dotadas de mecanismo de abertura de sulcos, do tipo discos duplos e de roda compactadora de ferro, do tipo cônica revestidas de borracha. O pulverizador de barras utilizado para a aplicação do herbicida, foi da marca Jacto, modelo PJ 600, com faixa de aplicação de 9m e reservatório de 600 litros.

2. **Preparo Conservacionista com Escarificador (CM)** - utilizou-se neste sistema o escarificador de hastes rígidas, com rolo destorroador, marca Maschietto, modelo SDM-7-A, de arrasto, com 5 hastes parabólicas, espaçadas de 50 cm, dispostas de forma triangular nas barras porta-hastes, peso aproximado de 920 kgf e largura máxima de mobilização de 200 cm, à uma profundidade de 20 cm.

3. **Preparo Convencional com Arado de Aivecas (AA)** - utilizou-se no preparo primário do solo, um arado de 3 aivecas, fixo, marca Maschietto, modelo A-3, acoplado aos 3 pontos do sistema hidráulico do trator, com largura de corte máxima de 120 cm e peso aproximado de 330 kgf., a uma profundidade de 20 cm e no preparo secundário, a grade niveladora-destorroadora da marca Baldan, modelo SPR e peso aproximado de 870 kgf., dotada de 42 discos de 50 cm (20") de diâmetro, espaçados de 17,5 cm; sendo os 21 dianteiros com borda recortada e os 21 traseiros com borda lisa.

4. **Arado de Disco (AD)** - utilizou-se no preparo primário do solo, o arado com 3 discos de 70 cm de diâmetro, reversível, marca Santa Isabel, modelo 328, acoplado aos 3 pontos do sistema hidráulico do trator, com largura máxima de corte de 100 cm e peso aproximado de 480 kgf., à uma profundidade de 20 cm, e no preparo secundário, a grade niveladora-destorroadora citada anteriormente.

5. Preparo Intensivo com Grades Intermediárias (GD) - utilizou-se no preparo primário do solo, uma grade intermediária, marca Marchesan, modelo GAP, de arrasto, com largura máxima, de corte de 220 cm, equipada com 18 discos de 60 cm de diâmetro e de bordas recortadas, com peso aproximado de 1900 kgf., e uma profundidade aproximada de 15 cm, e no preparo secundário a grande niveladora-destorroadora citada nos tratamentos anteriores.

Foram realizadas três amostragens em 1996, uma em janeiro, antes da semeadura de feijão, a segunda em abril, antes da colheita de feijão, e a última em novembro, antes da semeadura de milho, quando foram coletadas amostras deformadas e indefomadas, na camada superficial do solo e na profundidade de trabalho de cada equipamento e no caso do plantio direto na camada de 25-32cm.

A textura pelo método da pipeta (Day, 1965), densidade de partícula pelo método do picnômetro (Blake e Hartge, 1986a), matéria orgânica (Raij e Quaggio, 1983), densidade do solo pelo método do anel volumétrico (Blake e Hartge, 1986b), volume total de poros, microporosidade e macroporosidade (Danielson e Sutherland, 1986), estabilidade dos agregados (Kemper e Rosenal, 1986), curva de retenção de umidade (Klute, 1986), condutividade hidráulica saturada (Klute e Diersen, 1986). Além disso, a umidade do solo foi monitorada mensalmente durante o período 05/96 a 04/97.

A análise estatística seguiu o modelo:

$$y_{ijkl} = m + b_i + a_j + Ea_{ij} + p_k + Eb_{ik} + c_l + Ec_{il} + (ap)_{jk} + Ed_{ijk} + (ac)_{jl} + Ee_{jil} + (pc)_{kl} + Ef_{ikl} + (apc)_{jkl} + Eg_{ijkl}$$

em que:

$y_{ijkl}$  é a observação referente ao bloco i, preparo j, profundidade k, coleta l;

m é a média geral do experimento; (efeito fixo)

$b_i$  é o efeito de bloco i.

a é o preparo (efeito fixos); com 5 níveis de preparo.



p é a profundidade (efeito fixos); com 2 níveis de profundidade.

c é a época de coleta (efeito fixos); com 2 níveis de coleta.

Ea é o erro referente ao fator preparo;  $nid \sim n(0, \sigma^2_a)$ .

Eb é o erro referente ao fator profundidade;  $nid \sim n(0, \sigma^2_b)$ .

Ec é o erro referente ao fator coleta;  $nid \sim n(0, \sigma^2_c)$ .

Ed é o erro referente a interação preparo e profundidade;  $nid \sim n(0, \sigma^2_d)$ .

Ee é o erro referente a interação preparo e coleta,  $nid \sim n(0, \sigma^2_e)$ .

Ef é o erro referente a interação profundidade e coleta ;  $nid \sim n(0, \sigma^2_f)$ .

Eg é o erro referente a interação preparo, profundidade e coleta;  $nid \sim n(0, \sigma^2_g)$ .

O modelo representa um delineamento em blocos, com três faixas preparo, profundidade e coleta.

A análise, seguiu o método da máxima verossimilhança restrita (REML), adequada para o delineamento em faixas, por ser este, um modelo que apresenta componentes de variância (Latour, Latour e Wolfinger, 1994). Cada combinação de níveis de fatores, foi estimada por um intervalo de confiança (IC), seguindo a distribuição t de student, ao nível de probabilidade de 95%. As comparações baseiam-se na sobreposição dos ICs. Os procedimentos de cálculos foram realizados pela Proc. Mixed do SAS (SAS, 1990).

## 5 Resultados e Discussão

A Tabela 1, apresenta os resultados de análise textural, do Latossolo Roxo. Os resultados da argila, silte e areia, não foram estatisticamente diferentes, entre os diversos sistemas de preparo e profundidade, devido ao experimento ser conduzido em um Latossolo Roxo, sendo este bem intemperizado, apresentando bastante homogeneidade textural no perfil. Um outro aspecto que pode ter influenciado nestes resultados, se prende ao fato de que, a textura é uma característica do solo bem estável e de difícil mudança em curtos intervalos de tempo. Entretanto, vale ressaltar, que a camada de 0-7cm, apresentou maior quantidade de argila, do que na profundidade de trabalho dos equipamentos, exceto para o arado de aiveca, onde os valores foram aproximadamente iguais, provavelmente devido a sua melhor inversão da leiva.

Os valores das densidades de partículas também não foram estatisticamente diferentes, entre os diferentes sistemas de preparo e profundidades (Tabela 1). Seus valores variaram de  $2,78 \text{ Mg m}^{-3}$  a  $3,13 \text{ Mg m}^{-3}$ , devido a presença de óxidos de ferro, divergindo da variação comum dos solos minerais, que se situa em torno de  $2,60$  a  $2,70 \text{ Mg m}^{-3}$  (Ferreira, 1993).

A matéria orgânica, apresentou um comportamento muito variável, sendo, portanto, muito afetada pelo manejo do solo. Analisando a Tabela 1, nota-se que, o solo apresentou um de matéria orgânica maior na camada superficial (0-7cm), do que na profundidade de operação dos equipamentos, devido a camada superficial do solo, apresentar um acúmulo de matéria orgânica e uma

TABELA 1. Teores de argila, silte, areia, densidade de partícula (Dp) e matéria orgânica do Latossolo Roxo para os diferentes tipos de manejos do solo. Médias de três repetições.

Manejos	Argila	Silte	Areia	Dp	Matéria orgânica			
					Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Média
	g kg <sup>-1</sup>			Mg m <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>			
AD 0-7 cm	590	220	190	3,13	28	29	29	29a
20-27 cm	660	150	190	3,04	26	23	23	24a
CM 0-7 cm	620	180	120	3,17	29	32	31	31a
20-27 cm	710	130	160	2,95	24	22	23	23b
PD 0-7 cm	650	160	190	2,78	30	31	33	31a
25-32 cm	770	50	180	2,88	22	20	28	23b
AA 0-7 cm	690	130	180	3,07	25	25	25	25a
20-27 cm	700	120	180	2,84	23	23	26	24a
GD 0-7 cm	630	180	190	2,96	26	30	30	29a
20-27 cm	700	130	170	3,03	23	25	27	25a

Letras minúsculas, comparam diferenças entre as duas profundidades de cada manejo ao nível de 5% de probabilidade do teste t de student.

maior atividade biológica, apresentando portanto, uma maior quantidade de matéria orgânica, do que em profundidade. As épocas de coletas não apresentaram diferenças estatísticas, nos tipos de manejos e nas profundidades. Os sistemas de preparo convencional com arado de discos, arado de aivecas e grade intermediária, não apresentaram diferenças significativas entre a camada superficial e a profundidade de operacional dos equipamentos, devido ao revolvimento do solo causado por estes equipamentos, o que aumenta o teor de matéria orgânica nas camada de 10-20 cm (Lal, 1985). No plantio direto e no preparo conservacionista com escarificador, o teor de matéria orgânica na camada superficial do solo, foi estatisticamente diferente, do que em profundidade, devido ao não revolvimento e ao acúmulo na superfície do solo (Derpsch et al., 1991).

A densidade do solo, é uma propriedade dinâmica, entretanto, analisando a Tabela 2, verificamos que a densidade do solo, não apresentou diferenças significativas, devido, provavelmente, ao curto período de implantação do experimento. Derpsch et al, (1991), cita que valores de densidade do solo inferiores a  $1,20 \text{ Mg m}^{-3}$ , não causam problemas de enraizamento ou aceração, já densidade superiores a  $1,25 \text{ Mg m}^{-3}$ , pode haver dificuldades de crescimento das raízes. Mesmo com o pouco tempo de condução de experimento, o sistema de preparo intensivo com grades de discos intermediárias, na terceira época de coleta e na profundidade de operacional dos equipamentos, apresentou a densidade de  $1,26 \text{ Mg m}^{-3}$ , podendo portanto, causar problemas de enraizamento nas próximas culturas. O plantio direto, teve a sua maior densidade ( $1,24 \text{ Mg m}^{-3}$ ), na terceira época de coleta, na camada superficial, não sendo problema para as próximas culturas, devido a semeadora-adubadora possuir sega e uma haste, que rompem o solo à frente dos mecanismos de abertura de sulco, numa profundidade superior a da liberação das sementes.

TABELA 2. Valores de densidade do solo e da umidade atual do Latossolo Roxo, para os diferentes tipos de manejos do solo e épocas de coletas e profundidades. Médias de três repetições.

Manejos	Densidade do solo			Umidade Atual		
	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3
	Mg m <sup>-3</sup>			kg kg <sup>-1</sup>		
AD 0-7cm	1,04	1,15	1,19	0,30	0,30	0,27
20-27cm	1,16	1,19	1,18	0,34	0,29	0,30
CM 0-7cm	1,20	1,12	1,16	0,29	0,30	0,25
20-27cm	1,18	1,18	1,18	0,35	0,29	0,29
PD 0-7cm	1,18	1,16	1,24	0,30	0,29	0,26
25-32cm	1,19	1,12	1,19	0,35	0,30	0,29
AA 0-7cm	1,10	1,11	1,15	0,30	0,30	0,25
20-27cm	1,17	1,19	1,20	0,34	0,30	0,29
GD 0-7cm	1,04	1,11	1,17	0,30	0,30	0,26
15-22cm	1,21	1,17	1,26	0,34	0,31	0,29
Média	1,15	1,15	1,19	0,32A	0,30B	0,28C

Letras maiúsculas, comparam diferenças entre médias das épocas de coletas em todos os manejos, ao nível de 5% de probabilidade do teste t de student.

A umidade atual do solo, diminuiu significativamente, entre as épocas de coletas (Tabela 2). A umidade do solo na primeira época de coleta, foi maior do que, na segunda e na terceira. Em relação a profundidade, a umidade atual da camada superficial, foi menor do que na profundidade operacional dos equipamentos, mostrando um secamento do solo de cima para baixo. Os tipos de manejo, não influenciaram na umidade atual do solo.

Não houve diferença significativa, em relação ao VTP (Tabela 3), e seus valores, foram semelhantes aos obtidos por Sales (1992). Analisando a Tabela 3, notamos que a quantidade de macroporos foi menor do que a de microporos, concordando Sales (1992). Os macroporos, não apresentaram diferenças significativas, porém na terceira época de coleta, o plantio direto tendeu-se a ter uma diminuição da macroporosidade, na camada superficial do solo, causado pela compactação e um aumento da macroporosidade em profundidade, devido a melhor estruturação do solo. Já no caso, do preparo intensivo com grade intermediária, o comportamento foi o inverso, ou seja, apresentou uma maior macroporosidade na superfície e menor em profundidade. Não houve diferenças significativas, entre os valores de microporosidade.

Os valores do diâmetro médio geométrico (DMG), não diferiram estatisticamente, entre os sistemas de manejo e também entre as camadas do solo amostradas (Tabela 4), mas, teve em relação as épocas de amostragens, onde a terceira foi maior que a segunda e esta, maior que a primeira, indicando uma melhoria na estruturação do solo com o passar do tempo, tendendo a ser maior no plantio direto, preparo conservacionista com escarificador, preparo convencional com arado de aivecas, os quais são conhecidamente sistemas de manejo, que melhoram a estrutura do solo (Bezerra, 1978). O preparo convencional com

TABELA 3. Valores do volume total de poros (VTP) , macroporosidade (Macro) e microporosidade (Micro) do solo do Latossolo Roxo, para os diferentes tipos de manejos do solo. Médias de três repetições.

Manejos	Coleta 1			Coleta 2			Coleta 3		
	VTP	Macro	Micro	VTP	Macro	Micro	VTP	Macro	Micro
$m^3 m^{-3}$									
AD 0-7cm	0,64	0,26	0,38	0,60	0,21	0,39	0,59	0,22	0,37
20-27cm	0,63	0,25	0,38	0,62	0,23	0,39	0,62	0,26	0,36
CM 0-7cm	0,61	0,19	0,44	0,64	0,29	0,35	0,62	0,21	0,41
20-27cm	0,61	0,21	0,39	0,60	0,22	0,38	0,60	0,24	0,36
PD 0-7cm	0,60	0,21	0,39	0,61	0,23	0,37	0,58	0,19	0,39
25-32cm	0,60	0,22	0,38	0,63	0,26	0,37	0,60	0,29	0,32
AA 0-7cm	0,65	0,25	0,41	0,65	0,26	0,39	0,64	0,24	0,40
20-27cm	0,60	0,22	0,38	0,60	0,20	0,40	0,59	0,22	0,38
GD 0-7cm	0,67	0,27	0,40	0,65	0,28	0,37	0,63	0,24	0,39
15-22cm	0,58	0,19	0,40	0,60	0,21	0,39	0,56	0,17	0,39

TABELA 4. Valores do diâmetro médio geométrico dos agregado (DMG) e condutividade hidráulica saturada (Ks) do Latossolo Roxo, para os diferentes tipos de manejos do solo. Médias de três repetições.

Manejos	DMG			Ks		
	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3
	mm			mm/h		
AD 0-7cm	1,41	2,78	3,11	33	25	16
20-27cm	1,39	3,08	2,69	83	30	26
CM 0-7cm	1,33	2,17	3,34	61	147	44
20-27	1,42	1,66	3,43	17	63	44
PD 0-7cm	1,31	2,68	3,73	48	77	14
25-32	1,37	1,94	4,07	43	38	45
AA 0-7cm	1,17	1,88	3,77	21	4	10
20-27cm	1,37	2,15	3,17	32	25	19
GD 0-7cm	1,81	2,13	3,26	28	38	18
15-22cm	1,58	3,09	2,65	9	23	23
Média	1,42A	2,36B	3,32C	38	47	23

Letras maiúsculas, comparam diferenças entre médias das épocas de coletas, ao nível de 5% de probabilidade do teste t de student.

Coefficientes de variação da condutividade hidráulica saturada: manejos = 132%; profundidades = 166%; épocas de amostragens = 103%; interação manejos e profundidades = 162%; interação manejos e épocas de amostragens = 99%; interação profundidades e épocas de amostragens = 98%; interação manejos, profundidades e épocas de amostragens = 147%.

arados de discos e o preparo intensivo com grades intermediárias, pulverizam mais o solo, diminuindo o tamanho dos seus agregados. Os valores de DMG, não apresentaram diferenças, devido, provavelmente, a uniformidade do tamanho dos agregados, na camada superficial do Latossolo Roxo e também devido ao curto período de tempo (2 anos), de condução do experimento.

As curvas de retenção de umidade, Figura 1, mostram que a água retida na capacidade de campo (sucção a 0,033 MPa), situa-se entre 0,27 e 0,33 kg kg<sup>-1</sup> e o ponto de murcha permanente (sucção a 1,5 MPa), encontra-se com a umidade do solo entre 0,23 e 0,28 kg kg<sup>-1</sup>. O comportamento das curvas de retenção, foram similares em ambas as profundidades, para os diferentes sistemas de manejo, porém, o plantio direto e o preparo conservacionista, tenderam, numa mesma amostragem, a reter mais água na camada superficial, tanto na capacidade de campo quanto no ponto de murcha permanente. Estes resultados, concordando com os obtidos por de Lal (1976), Sidiras, Derpsch e Mondardo (1983), Sidiras, Viera e Roth (1984); Carvalho, 1984; Centurion e Dematté, 1985; Derpsch et al., 1991; Veiga e Amado, 1994; Siqueira, 1995).

O monitoramento da umidade do solo, durante o período de um ano (Figura 2), mostrou que a camada superficial de 0-7cm, foi mais seca que a camada abaixo da profundidade operacional dos equipamentos. Também, não foi observado, tendência de maior acúmulo de água na superfície do solo, nos sistemas de plantio direto e preparo conservacionista, tendo em vista, a pouca concentração de resíduos culturais na superfície. Este fato, provavelmente ocorreu, devido ao pouco tempo de condução do experimento (2anos).

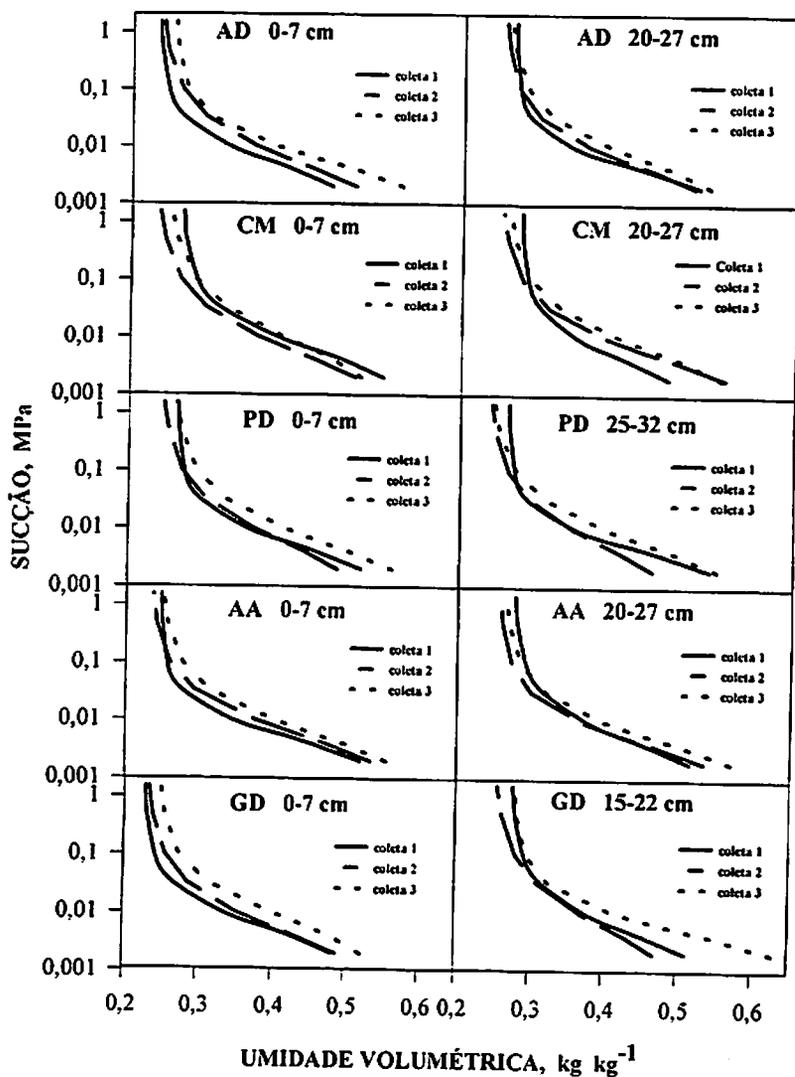
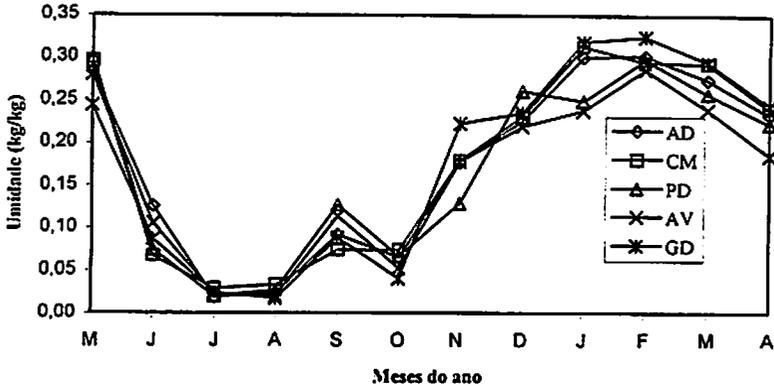


FIGURA 1. Curvas de retenção de umidade do Latossolo Roxo, para os diferentes tipos de manejos. Médias de três repetições.

### Camada Superficial (0-7cm)



### Profundidade operacional dos equipamentos

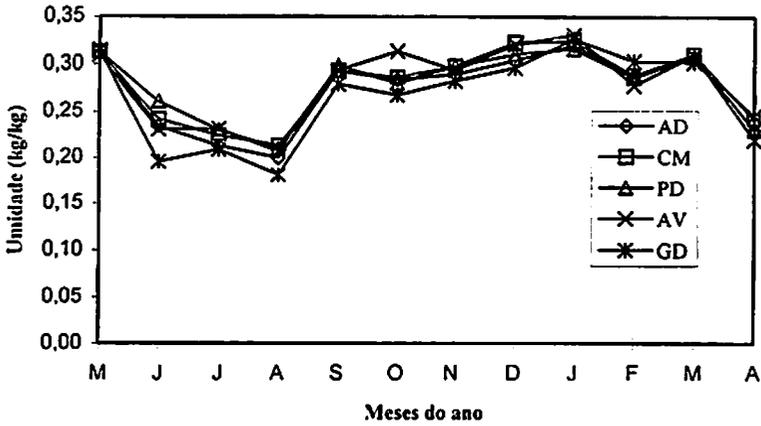


FIGURA 2. Monitoramento da umidade do solo ao longo de um ano (1996/1997)

O movimento de água do solo, está muito relacionado com a sua estrutura, sendo a condutividade hidráulica saturada, um dos parâmetros utilizados para medir este efeito. O seus valores, não apresentaram diferenças significativas (Tabela 4), todavia, apresentaram altos valores de coeficientes de variação, concordando com Sales (1992), o qual atribuiu esta alta variação à heterogeneidade das amostras, no que diz respeito ao arranjo das partículas, presença de rachaduras e bioporos promovido pela biota do solo. O plantio direto em profundidade, apresentou, em geral, os maiores valores para a condutividade hidráulica saturada, devido, provavelmente, a melhor continuidade de seus poros.

## 6 Conclusões

Os manejos estudados, não apresentaram diferenças significativas na densidade do solo, volume total de poros, macroporosidade, microporosidade e condutividade hidráulica saturada, curva de retenção de umidade e o monitoramento da umidade do solo.

O plantio direto e o preparo conservacionista, apresentaram um maior teor de matéria orgânica, na camada superficial, em relação à profundidade operacional dos equipamentos.

O plantio direto, apresentou a maior densidade do solo, da camada superficial do solo, na terceira coleta ( $1,24 \text{ Mg m}^{-3}$ ) e o preparo intensivo, com grades intermediárias, na profundidade operacional dos equipamentos, na terceira coleta ( $1,26 \text{ Mg m}^{-3}$ ).

A umidade atual, foi maior na camada superficial, do que na profundidade operacional dos equipamentos, e apresentou diferenças significativas entre as coletas.

O diâmetro médio geométrico, apresentou um aumento significativo no decorrer das coletas e em ambas as profundidades, em todos os manejos.

Os sistemas do manejo do solo, afetaram as propriedades físicas do solo.

## **7 Referência Bibliográfica**

- ABRÃO, P. U. R.; GOEPFERT, C. F.; GUERRA, M.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.** Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, n.3, p.169-172, set./dez. 1979.
- ALMEIDA, F. S.; RODRIGUES, B. N.** Guia de herbicidas, recomendações para uso adequado em plantio direto e convencional. Londrina: IAPAR, 1985. 482p.
- ALVES, M. C.** Sistemas de rotação de culturas com plantio direto em Latossolo Roxo: efeitos nas propriedades físicas e químicas. Piracicaba: ESALQ, 1992, 173 p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R.** Soil physics. 4.ed. New York: John wiley, 1972. 490p.
- BERTONI, L. D.; LOMBARDI NETO, F.** Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

- BEZERRA, J. E. S. Influência de sistemas de manejo do solo sobre algumas propriedades físicas e químicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico distrófico, fase terraço, e sobre a produção de milho (*Zea mays*, L.). Viçosa: UFV, 1978, 61p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)**
- BLAKE, G. R.; HANTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. (ed.). *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986a. v.1, p.377-382.**
- BLAKE, G. R.; HANTGE, K. H. Bulky density. In: KLUTE, A. (ed.). *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986b. v.1, p.363-375.**
- CAMARGO, O. A. Compactação do solo e desenvolvimento de plantas. Campinas: Fundação Cargil, 1983. 44p.**
- CARVALHO, E. J. M. Efeito de sistemas de manejo sobre algumas propriedades físicas e químicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico distrófico fase terraço e sobre a produção de soja. Viçosa: UFV, 1984, 73p. (Dissertação - Mestrado em Fototecnia)**
- CASTRO, O. M. Efeitos de diferentes sistemas de mobilização de terra no controle da erosão. In: *Curso de atualização em manejo do solo e da água em sistemas agrícolas*, 1, Piracicaba: ESALQ, 1990. 15-20p.**

- CASTRO, O. M.; LOMBARDI NETO, S. R.; VIERA, S. R.; DECHEN, S. C.  
F. Sistemas convencionais e reduzidos de preparo do solo e as perdas por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v.10, n.2, 167-171p. maio/ago. 1986.
- CASTRO NETO, P. **Notas de aula práticas do curso de agrometeorologia**. Lavras: ESAL, 1982. 49p.
- CENTURION, J. F.; DEMATTÉ, J. L. I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, n.2. 263-266p. maio/ago. 1985
- CORSINI, P. C. Impact of soil degradation on crop production in Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.20, p.353-363, 1991
- DALLA ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo - solo Santo Ângelo (Latosolo Roxo distrófico)**. Porto Alegre: UFRGS, 1981, 136p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia)
- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.443-461.

- DAY, P.R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C.A. (ed.). **Methods of soil analysis: part 1, physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling.** Madison: American Society of Agronomy, 1965. Cap. 43, p.545-567. (Agronomy,9)
- DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo.** Eschborn: GTZ-IAPAR, 1991. 272 p.
- DIAS JUNIOR, M. de S. **Notas de aula de física do solo.** Lavras: UFLA, 1996. 168p.
- DOUGLAS, J. T.; GOSS, M. J.; HILL, D. Measurements of pore characteristics in a clay soil under ploughing and direct drilling, including use of a radiative tracer ( $^{144}\text{Ce}$ ) technique. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.1, n.1, 1980. 11-18p.
- ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.2, p.259-267, maio/ago. 1989.
- FERNANDES, B. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros, em dois solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.3, p.329-333, set./dez. 1983.

- FERREIRA, M. M. Física do solo.** Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 63p.
- KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C.** Aggregate stability and size distribution.  
In: **KLUTE, A. (ed.). Methods of soil analysis.** 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.425-442.
- KLUTE, A.** Water retention: laboratory methods. In: **KLUTE, A. (ed.). Methods of soil analysis.** 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.635-662.
- KLUTE, A.; DIRSEN, C.** Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: **KLUTE, A. (ed.). Methods of soil analysis.** 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.687-734.
- LAL, R. A.** Mechanized tillage systems effects on properties of a tropical alfisol in watersheds cropped to maize. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.6, p. 149-161, 1985.
- LAL, R. A.** No-tillage effects on soil properties under different crops in western Nigéria. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.40, n.5, p.762-768, Set./Out. 1976
- LATOUR, D.; LATOUR, K.; WOLFINGER, R. D.** **Getting started with proc mixed, software sales and marketing.** Cary: SAS institute Inc., 1994. 121p.

- MORAES, W. V. Comportamento de características e propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Escuro, submetido a diferentes sistemas de cultivos.** Lavras: ESAL, 1984. 107p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de plantas).
- RAIJ, B. Van; QUAGGIO, J. A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade .** Campinas, Instituto Agrônomo, 1983. (Boletim Técnico,81).
- ROCHA, G. C. Geologia, geomorfologia e pedologia de uma catena de solos situada no Campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras, MG.** Lavras: ESAL, 1982. 109p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de plantas)
- SALES, L. E. O. Variabilidade espacial da velocidade de infiltração básica associada a propriedades físicas das camadas superficial e subsuperficial de dois solos da região de Lavras (MG).** Lavras: ESAL, 1992. 104p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)
- SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em Latossolo Roxo distrófico (Oxisol).** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.7, n.1, p.103-106, jan./abr. 1983.
- SIDIRAS, N.; VIERA, S. R.; ROTH, C. H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional.** *Revista Brasileira de Ciência do solo*, Campinas, v.8, n.3, p.265-268, set./dez. 1984.

**SILVA, I. F. de. Efeito de sistemas de manejo e tempo de cultivo sobre as propriedades físicas de um Latossolo. Porto Alegre: UFRGS, 1980. 105p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia)**

**SIQUEIRA, N. S. Influência de sistemas de preparo sobre algumas propriedades químicas e físicas do solo e sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.). Viçosa: UFV, 1995. 78p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).**

**STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. SAS/STAT User's Guide: version 6. 4 ed. Cary, N. C., 1990. v.2, 1686p.**

**VEIGA, M.; AMADO, T.J. Preparo do solo. In: SANTA CATARINA. Secretaria do Estado da Agricultura e Abastecimento. Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água; Projeto de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas. 2. ed. rev. atual. e amp. Florianópolis: EPAGRI, 1994. p.165-187.**

## CAPÍTULO 3

### **Efeito de sistemas de manejos na densidade do solo máxima e umidade ótima de compactação de um Latossolo Roxo**

#### **1 Resumo**

O termo compactação do solo, refere-se à compressão do solo não saturado, durante o qual, existe um aumento da densidade do solo, em consequência da redução de seu volume, pela expulsão do ar, causado pelo manejo inadequado. O experimento, foi conduzido em um Latossolo Roxo da Região de Lavras (MG), submetidos aos seguintes manejos: preparo convencional com arado de discos (AD), preparo conservacionista com escarificador (CM), plantio direto (PD), preparo convencional com arado de aivecas (AA) e preparo intensivo com grade (GD). O experimento foi instalado, em novembro de 1994, em blocos casualizados. Foram realizadas três amostragens em 1996: janeiro, antes da semeadura do feijão, abril, antes da colheita do feijão, e novembro, antes da semeadura do milho. As profundidades de amostragens foram na camada de 0-7cm e na camada logo abaixo da profundidade operacional dos equipamentos de preparo do solo e no caso de plantio direto na camada de 25-32cm. Através do ensaio de proctor normal, onde se obteve a densidade do solo máxima ( $D_{sm\acute{a}x}$ ) e a umidade ótima de compactação ( $U_{\acute{o}tm}$ ). Determinou-se ainda, o teor de argila e matéria orgânica (MO), o limite de plasticidade (LP) e a capacidade de campo (CC). Os sistemas de manejos, não apresentaram diferenças estatísticas significativas na  $D_{sm\acute{a}x}$ ,  $U_{\acute{o}tm}$ , devido, provavelmente, a curto período de instalação do experimento. O teor de argila, não apresentou diferenças significativas. A MO, não apresentou diferenças significativas entre as épocas de coletas, porém apresentou uma interação entre manejo e profundidade, onde a MO foi maior na camada superficial do PD e no CM. Houve uma tendência, de uma redução nos valores da  $D_{sm\acute{a}x}$  e um aumento nos valores de  $U_{\acute{o}tm}$ , na terceira época de coleta no PD, em ambas as profundidades e no CM, na camada superficial. Verificou que a  $U_{\acute{o}tm}$ , está a 90% do LP e 90% da CC, se esta, for considerada como o teor de umidade retida a sucção de 0,01MPa, e aproximadamente igual a CC, se esta, for considerada como sendo o teor de umidade retida a sucção de 0,033MPa.

## **Effect of soil management systems on maximum soil bulk density and optimum moisture content in a Dusky Red Latosol**

### **2 Abstract**

The term soil compaction refers to the compression of unsaturated soil which induces an increase of soil bulk density in response to reduction of its volume, due to the release of air caused by inadequate soil management. The experiment was conducted in a Dusky Red Latosol at the Lavras (MG) region under the following soil managements: conventional tillage with disk plow (AD), minimum tillage with chisel (CM), no-tillage (PD), plowing moldboard (AA) and intensive tillage with disk harrows (GD). The experiment was installed in november 1994 using a randomized block experimental design. Three sampling were performed in 1996: in january, pior bean sowing; in april, pior bean harwest and in november, pior corn sowing. Proctor normal test was used to obtain maximum soil bulk density and optimum moisture content. Clay content, organic matter (MO), plasticity limit and field capacity were also determined. The management systems showed no significant differences for maximum soil bulk density and optimum moisture content, probably due to the short period of the experiment. The results showed no significant differences for maximum soil bulk density, optimum moisture content and clay content. The organic matter presented no significant differences among sampling periods but showed interaction between management and depht with higher organic matter on surface layer for PD e CM. There was a tendency to reduce the values of maximum soil bulk density and to increase the values of optimum moisture content at the third sampling for PD, in both dephts, and at the surface layer for CM. It was observed that the optimum moisture content is at 90% of the plasticity limit and at 90% of the field capacity, considering as a moisture content retained at a suction of 0,01 MPa, and approximately equal to the field capacity considering as a moisture content retained at a suction of 0, 033 MPa.



### 3 Introdução

Nas últimas décadas, com a expansão da fronteira agrícola, e com a exploração de duas ou três safras anuais, observou-se uma crescente utilização de máquinas agrícolas, desde o preparo do solo até a colheita, além de um aumento nos pesos e potências dos tratores (Mantovani, 1987). Isso contribui para aumentar as áreas com problemas de compactação, provavelmente devido a falta de um cronograma de trabalho bem definido.

Devido a isto, muitas vezes, o preparo do solo, é realizado sem levar em conta as condições de umidade do solo, a qual é um fator controlador da compactação. Para evitá-la, o preparo deve ser efetuado na zona de friabilidade do solo (Resende, 1997), onde este apresenta baixa resistência ao preparo, capacidade de suporte de carga e resistência a compressão de alta à moderada (Larson et al., 1994).

No estudo da compactação do solo, tem sido usados vários ensaios de laboratório, sendo um dos mais utilizados, o ensaio de proctor normal (Dias Junior, 1996), que foi proposto por Ralph R. Proctor, em 1933, para o controle da compactação na construção de barragens de terra. Entretanto, o uso dos resultados desse ensaio, para fins agrícolas, ainda não estão bem definidos.

Neste ensaio, para uma mesma energia de compactação a densidade do solo depende de sua umidade no momento da compactação (Vargas, 1977). Assim, a curva obtida, umidade versus densidade do solo, recebe o nome de curva de compactação. Desta curva, pode ser obtida a densidade máxima e a umidade ótima de compactação correspondente. A curva de compactação do solo, é

afetada por vários fatores, sendo os mais importantes, a energia de compactação, textura e matéria orgânica ( Ekwue e Stone, 1995; Ekwue e Stone, 1997; Stone e Ekwue, 1993; Silva, Libardi e Camargo, 1986; Ohu et al, 1986).

A energia de compactação, utilizada na realização do ensaio de Proctor normal, é equivalente a um rolo pé de carneiro leve (5 a 7 t), passando cerca de 12 vezes sobre uma camada de solo, com 30cm de espessura (Vargas,1977). Já na Agricultura, a energia de compactação do ensaio de proctor normal, representa aproximadamente, 15 passadas de um trator com 727 kg na roda (pressão de 1,43 kg cm<sup>-2</sup>), em um solo franco arenoso (Raghavan et al, 1976).

As curvas de compactação do solo, se assemelham quanto a forma, independente, da classe de solo (Caputo, 1973). Pacheco e Dias Junior (1990), encontraram que, a medida que o teor de areia aumenta, os valores da densidade do solo máxima de compactação, aumenta e de umidade ótima de compactação, diminui, quando adicionou-se areia em um Latossolo Vermelho-Amarelo.

O teor de matéria orgânica do solo, afeta a curva de compactação. Quando ocorre um aumento no teor de matéria orgânica do solo, conseqüentemente diminui a densidade do solo máxima e aumenta a umidade ótima de compactação. Isto acontece, porque a matéria orgânica afeta o poder de absorção de água, o que dificulta a compactação do solo (Silva, Libardi e Camargo, 1986; Stone e Ekwue, 1993; Soane et al.,1980; Pinto, 1983); por apresentar uma densidade menor que a o solo, (Ekwue e Stone, 1995; Stone e Ekwue, 1993); e também por melhorar a sua estrutura (Ekwue e Stone, 1995; Stone e Ekwue, 1993).

Na manutenção dos sistemas de produção agrícola, é extremamente crítico, a sustentabilidade estrutural dos solos. Assim, a determinação da umidade, no qual o solo está mais susceptível a compactação, passa a assumir um papel importante dentro deste contexto. Um dos problemas para se obter esta

umidade, está relacionado, com o tempo gasto na realização do ensaio de proctor normal. Portanto, na tentativa de contornar este problema, alguns atributos do solo tem sido utilizado. Ojeniyi e Dexter (1979), sugeriram que a umidade ótima de compactação, seja igual a 90% do limite de plasticidade, entretanto, Campbel et al. (1980) e Howard, Singer e Frantz (1981), sugeriram que esta, esteja próxima da capacidade de campo, sem entretanto definir essa proximidade.

Na revisão de literatura, observou-se poucos estudos no Brasil, utilizando o ensaio de proctor normal, tanto que, apenas um trabalho publicado por Silva, Libardi e Camargo (1986), foi encontrado a este respeito. Além disso, não se tem muito claro a aplicabilidade deste ensaio, para fins agrícolas. Assim, este trabalho teve como objetivos: estudar o efeito de diferentes sistemas de manejo do solo, na densidade do solo máxima e umidade ótima de compactação de um Latossolo Roxo, buscar definir a aplicabilidade do ensaio de proctor normal, para fins agrícolas.

## 4 Material e Métodos

Este estudo, foi conduzido em um Latossolo Roxo muito argiloso, originário de gabro (Rocha, 1982), localizada no Campus da Universidade Federal de Lavras, MG, com uma altitude média em torno de 918 metros, apresentando clima Cwb, segundo classificação de Köppen (Castro Neto, 1982).

A área, onde foi instalado o experimento, era usada pelo setor de produção da universidade, há mais de quinze anos, sendo a principal cultura instalada, o milho. O preparo do solo, era feito com uma gradagem, seguida de uma aração e a seguir, passava-se uma grade de discos tantas vezes quanto fosse necessário, para um destorroamento e nivelamento do terreno, sendo esta condição considerada adequada para receber as sementes. Antes da instalação do experimento, a área foi subsolada, em novembro de 1994, a uma profundidade de aproximadamente 40 cm e realizou-se uma calagem conforme recomendação, ficando em repouso por 2 meses. A seguir, a área, foi preparada de acordo com as peculiaridades dos tratamentos, semeando milho tardio, em janeiro de 1995. Em novembro de 1995, novamente o solo foi preparado e no final de janeiro de 1996, semeou-se feijão. Em novembro de 1996, preparou-se novamente o solo, para instalação da cultura de milho, em dezembro.

Na instalação do experimento, foi usado o delineamento experimental de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e três repetições, perfazendo um total de 15 unidades experimentais. A área experimental foi de 10800 m<sup>2</sup>. Cada parcela, teve uma área de 720 m<sup>2</sup>. As parcelas foram separadas entre si, por um carreador

de 20 m de largura e os blocos separados, por terraços existentes. Os tratamentos, constituíram-se dos seguintes sistemas de manejo:

1. Plantio Direto (PD) - neste sistema, o solo foi revolvido apenas ao longo das linhas, por ocasião da sementeira. A sementeira, foi realizada, com uma sementeira-adubadora para sementes graúdas, marca Jumil, modelo 2040, equipadas com acessórios para sementeira direta, com três linhas individuais, dotadas de mecanismo de abertura de sulcos, do tipo discos duplos e de roda compactadora de ferro, do tipo cônica revestidas de borracha. O pulverizador de barras, utilizado para a aplicação do herbicida, foi da marca Jacto, modelo PJ 600, com faixa de aplicação de 9 m e reservatório de 600 litros.

2. Preparo Conservacionista com Escarificador (CM) - utilizou-se neste sistema, o escarificador de hastes rígidas, com rolo destorroador, marca Maschietto, modelo SDM-7-A, de arrasto, com 5 hastes parabólicas, espaçadas de 50 cm, dispostas de forma triangular, nas barras porta-hastes, peso aproximado de 920 kgf e largura máxima de mobilização de 200 cm, a uma profundidade de 20 cm.

3. Preparo Convencional com Arado de Aivecas (AA) - utilizou-se no preparo primário do solo, um arado de 3 aivecas, fixo, marca Maschietto, modelo A-3, acoplado aos 3 pontos do sistema hidráulico do trator, com largura de corte máxima de 120 cm e peso aproximado de 330 kgf., a uma profundidade de 20 cm e no preparo secundário, a grande niveladora-destorroadora da marca Baldan, modelo SPR e peso aproximado de 870 kgf., dotada de 42 discos de 50 cm (20") de diâmetro, espaçados de 17,5 cm; sendo os 21 discos dianteiros, com borda recortada e os 21 discos traseiros, com borda lisa.

4. Preparo Convencional com Arado de Disco (AD) - utilizou-se no preparo primário do solo, o arado com 3 discos, de 70 cm de diâmetro, reversível, marca Santa Isabel, modelo 328, acoplado aos 3 pontos do sistema hidráulico do

trator, com largura máxima de corte de 100 cm e peso aproximado de 480 kgf., a uma profundidade de 20 cm, e no preparo secundário a grande niveladora-destorroadora, citada anteriormente.

5. Preparo Intensivo com Grades Intermediárias (GP) - utilizou-se no preparo primário do solo, uma grade intermediária, marca Marchesan, modelo GAP, de arrasto, com largura máxima de corte de 220 cm, equipada com 18 discos de 60 cm de diâmetro e de bordas recortadas, com peso aproximado de 1900 kgf., e uma profundidade aproximada de 15 cm, e no preparo secundário, a grade niveladora-destorroadora, citada nos tratamentos anteriores.

Foram realizadas três amostragens em 1996, em janeiro, antes do plantio de feijão, a segunda, em abril, antes da colheita de feijão, e a última em novembro, antes do plantio de milho, quando foram coletadas amostras deformadas, na camada superficial do solo e logo abaixo da profundidade operacional dos equipamentos e no caso do plantio direto, logo abaixo da profundidade efetiva do sistema radicular.

A densidade do solo máxima e a umidade ótima de compactação, foram determinadas pelo ensaio de proctor normal (Stancati, nagueira e Vilar, 1981). O ensaio, consiste em compactar uma amostra de solo dentro de um cilindro, com aproximadamente  $1000 \text{ cm}^3$ , em três camadas sucessivas, cada camada recebe 25 golpes de um soquete, pesando 2,5 kg, o qual cai de uma altura de 30 cm. Neste caso, a energia de compactação, é de  $6 \text{ kg.cm cm}^{-3}$ . O ensaio, foi repetido para diferentes umidades, determinando para cada umidade, a densidade do solo. Com os valores obtidos, traçou-se a curva de compactação (densidade do solo versus umidade gravimétrica), onde obteve a umidade ótima e a densidade do solo máxima de compactação correspondente. Foram determinadas ainda, a textura pelo método da pipeta (Day, 1965), matéria orgânica (Raij e Quaggio, 1983), capacidade de campo (Klute, 1986) e limite de plasticidade (Sowers, 1965).

A análise estatística seguiu o modelo:

$$y_{ijkl} = m + b_i + a_j + Ea_{ij} + p_k + Eb_{ik} + c_l + Ec_{il} + (ap)_{jk} + Ed_{ijk} + (ac)_{jl} + Ee_{ijl} + (pc)_{kl} + Ef_{ikl} + (apc)_{jkl} + Eg_{ijkl}$$

em que:

$y_{ijkl}$  é a observação referente ao bloco  $i$ , preparo  $j$ , profundidade  $k$ , coleta  $l$ ;

$m$  é a média geral do experimento; (efeito fixo)

$b_i$  é o efeito de bloco  $i$ .

$a$  é o preparo (efeito fixos); com 5 níveis de preparo.

$p$  é a profundidade (efeito fixos); com 2 níveis de profundidade.

$c$  é a época de coleta (efeito fixos); com 2 níveis de coleta.

$Ea$  é o erro referente ao fator preparo;  $nid \sim n(0, \sigma_a^2)$ .

$Eb$  é o erro referente ao fator profundidade;  $nid \sim n(0, \sigma_b^2)$ .

$Ec$  é o erro referente ao fator coleta;  $nid \sim n(0, \sigma_c^2)$ .

$Ed$  é o erro referente a interação preparo e profundidade;  $nid \sim n(0, \sigma_d^2)$ .

$Ee$  é o erro referente a interação preparo e coleta,  $nid \sim n(0, \sigma_e^2)$ .

$Ef$  é o erro referente a interação profundidade e coleta ;  $nid \sim n(0, \sigma_f^2)$ .

$Eg$  é o erro referente a interação preparo, profundidade e coleta;  $nid \sim n(0, \sigma_g^2)$ .

O modelo, representa um delineamento em blocos, com três faixas preparo, profundidade e coleta.

A análise estatística, seguiu o método da máxima verossimilhança restrita (REML), adequada para o delineamento em faixas, por ser este um modelo que, apresenta componentes de variância (Latour, Latour e Wolfinger, 1994). Cada combinação de níveis de fatores, foi estimada por um intervalo de confiança (IC), seguindo a distribuição  $t$  de student, ao nível de probabilidade de 95%. As comparações, basearam-se na sobreposição dos ICs. Os procedimentos de cálculos, foram realizados pela Proc Mixed do SAS (SAS, 1990).

## 5 Resultados e Discussão

Para uma mesma energia de compactação, a densidade do solo aumenta, até atingir um ponto de máximo e a seguir, diminui com o aumento da umidade (Figura 3). No ponto de máximo da curva de compactação, a densidade do solo e a umidade, recebem o nome de densidade do solo máxima e de umidade ótima de compactação. A curva de compactação, apresenta este comportamento, porque quando a umidade é baixa, o solo fica duro e de difícil compactação, a medida que aumenta-se a umidade, a água atua como lubrificante entre as partículas, tornando o solo mais trabalhável, e com isto, facilitando a reorientação das suas partículas, até atingir uma configuração mais densa, e a partir daí, a água começa a ocupar os espaços porosos e por esta ter uma densidade menor que as das partículas, ocorre uma redução gradativa, na densidade do solo (Baver, Gardner e Gardner, 1972; Vargas, 1977; Hillel, 1982; Pinto, 1983).

As diferenças entre os valores de densidade do solo máxima e umidade ótima de compactação, para os diferentes sistemas de manejos, época de coleta e profundidades, não foram significativamente diferentes (Tabela 5), evidenciando que o tempo de condução do experimento (2 anos), não foi suficiente, para causar uma variação significativa nos valores da densidade de solo máxima e na umidade ótima de compactação.

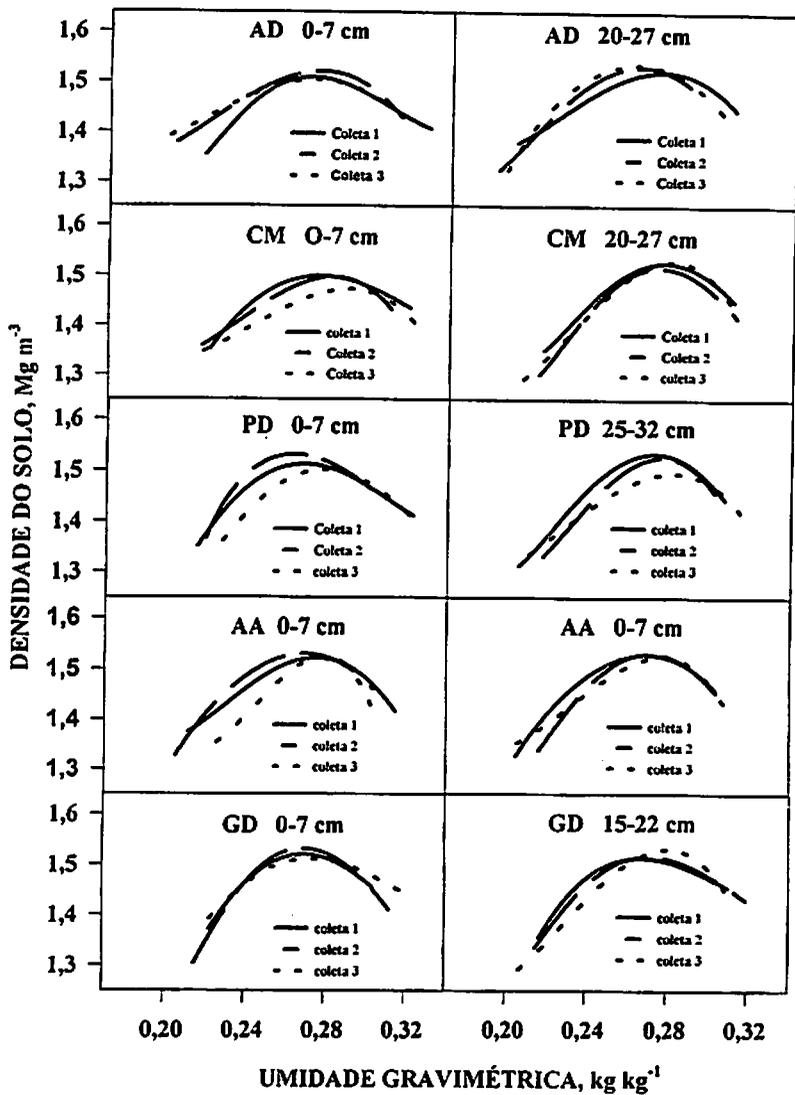


FIGURA 3. Curvas de compactação do Latossolo Roxo, para os diferentes tipos de manejos. Médias de três repetições.

TABELA 5. Valores de Densidade do solo máxima (Dsmáx) e umidade ótima de compactação (Uótm) do Latossolo Roxo, para os diferentes tipos de manejos do solo e coletas. Médias de três repetições.

Manejos	Coleta 1		Coleta 2		Coleta 3	
	Dsmáx	Uótm	Dsmáx	Uótm	Dsmáx	Uótm
	Mg m <sup>-3</sup>	kg kg <sup>-1</sup>	Mg m <sup>-3</sup>	kg kg <sup>-1</sup>	Mg m <sup>-3</sup>	kg kg <sup>-1</sup>
AD 0-7cm	1,51	0,27	1,52	0,28	1,50	0,28
20-27cm	1,52	0,28	1,53	0,27	1,54	0,27
CM 0-7cm	1,50	0,28	1,50	0,28	1,47	0,29
20-27cm	1,53	0,28	1,52	0,27	1,53	0,28
PD 0-7cm	1,51	0,27	1,53	0,26	1,50	0,28
25-32cm	1,53	0,27	1,53	0,28	1,50	0,28
AV 0-7cm	1,52	0,28	1,53	0,27	1,53	0,28
20-27cm	1,53	0,27	1,53	0,27	1,53	0,28
GD 0-7cm	1,52	0,27	1,53	0,27	1,51	0,27
15-22cm	1,51	0,27	1,51	0,27	1,53	0,28

De acordo com Silva, Libardi e Camargo (1986); Howard, Singer e Frantz (1981); Ekwue e Stone (1997); Ohu et al., (1986), maiores teores de argila e matéria orgânica no solo, provocam redução na amplitude das curvas de compactação, diminuindo conseqüentemente, a densidade do solo máxima e aumentando a umidade ótima de compactação. Apesar da análise textural, apresentar valores diferentes para o teor de argila (Tabela 6), estas não influenciaram os valores da densidade do solo máxima (Tabela 5). A amplitude da curva de compactação, também não foi afetada pelo teor de matéria orgânica (Tabela 6). Assim, apesar dos teores de matéria orgânica não serem estatisticamente diferentes, entre as épocas de coletas, houve uma interação entre manejos e profundidade. Os teores de matéria orgânica, foram estatisticamente maiores, na camada superficial do preparo conservacionista com escarificador e plantio direto, do que em profundidade (Tabela 6), mas não houve influência, na amplitude da curva de compactação. Isso, provavelmente, possa ser devido à pequena diferença entre os teores de matéria orgânica.

Devido ao fato dos teores de matéria orgânica, serem estatisticamente maiores na superfície, do que na profundidade operacional dos equipamentos, os valores das densidades do solo máxima, na camada superficial, tenderam a serem menores ou iguais aos da profundidade operacional dos equipamentos, confirmando as observações de que, a um aumento no teor matéria orgânica corresponde, a uma diminuição da densidade do solo máxima (Silva, Libardi e Camargo, 1986, Ekwue e Stone, 1997, Stone e Ekwue, 1993, Thomas, Hasler e Blevins, 1996, Howard, Singer e Frantz, 1981, Zhang, Hartge e Rince, 1997). Não foi observado entretanto, uma tendência de aumento na umidade ótima de compactação, com o aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial. Isso, provavelmente, ocorreu devido ao fato da profundidade operacional dos

TABELA 6. Teores de argila, silte, areia e matéria orgânica do Latossolo Roxo, para os diferentes tipos de manejos do solo. Médias de três repetições.

Manejos	Argila	Silte	Areia	Matéria orgânica			
				Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Média
	$\text{g kg}^{-1}$						
AD 0-7 cm	590	220	190	28	29	29	29a
20-27 cm	660	150	190	26	23	23	24a
CM 0-7 cm	620	180	120	29	32	31	31a
20-27 cm	710	130	160	24	22	23	23b
PD 0-7 cm	650	160	190	30	31	33	31a
25-32 cm	770	50	180	22	20	28	23b
AA 0-7 cm	690	130	180	25	25	25	25a
20-27 cm	700	120	180	23	23	26	24a
GD 0-7 cm	630	180	190	26	30	30	29a
20-27 cm	700	130	170	23	25	27	25a

Letras minúsculas comparam diferenças entre as duas profundidades de cada manejo, ao nível de 5% de probabilidade do teste t de student.

equipamentos, possuir maiores teores de argila, o que estaria compensando, o seu menor teor de matéria orgânica.

Apesar do curto período de tempo de instalação do experimento, existe uma tendência de diminuição da densidade do solo máxima, para a terceira coleta do cultivo mínimo, na camada superficial e do plantio direto, em ambas as camadas, enquanto que, a umidade ótima de compactação apresentou uma tendência de aumento, no cultivo mínimo e no plantio direto, em ambas camadas (Tabela 5). Estas tendências, podem ser explicadas, devido ao fato de que, após as colheitas, parte da palha, possa ter sido incorporada naturalmente ao solo, afetando os valores da densidade do solo máxima e umidade ótima, conforme mencionado acima.

Thomas, Hasler e Blevins (1996), trabalhando com várias classes de solos, submetidos a diferentes sistemas de preparos, por longos períodos de tempo (até 50 anos), obteve uma relação entre a densidade do solo máxima e o teor de carbono orgânico (CO), do tipo  $D_{sm\acute{a}x} = 1,878 - 0,150 CO$  ( $R^2 = 0,922$ ). Neste estudo, a relação entre a densidade do solo máxima e o teor de matéria orgânica (Figura 4a), é dada pela equação  $D_{sm\acute{a}x} = 1,592 - 0,026 MO$ , cujo tipo, é o mesmo das equações encontradas por Thomas, Hasler e Blevins (1996) e Zhang, Hartge e Rince (1997), apresentando, entretanto um baixo valor para o coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,23$ ), devido, provavelmente, a não diferenças entre os teores de matéria orgânica (Tabela 6).

Para um conjunto de 48 valores de densidade do solo máxima e umidade ótima de compactação, obtidas de quatro classes de solos, tratados com diferentes concentrações de esterco, Ekwue e Stone (1997), obtiveram uma relação  $D_{sm\acute{a}x} = 1,989 - 0,022 U\acute{o}tm$  ( $R^2 = 0,969$ ). Neste estudo, a relação entre a  $D_{sm\acute{a}x}$  e a  $U\acute{o}tm$  (Figura 4b), é dada pela equação  $D_{sm\acute{a}x} = 2,104 - 0,021 U\acute{o}tm$ , cujo tipo, é o mesmo da equação acima apresentada, entretanto, um baixo valor do coeficiente

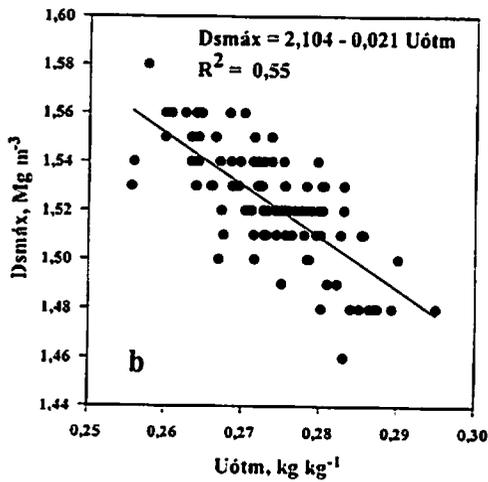
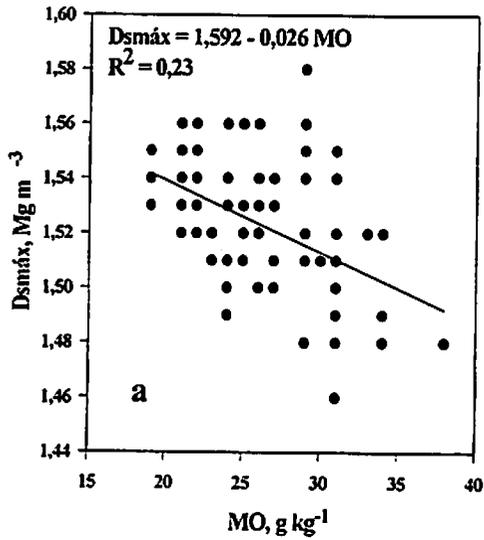


FIGURA 4. Relações entre densidade do solo máxima ( $D_{smáx}$ ) com matéria orgânica (MO) (a) e umidade ótima de compactação ( $Uótm$ ) (b).

de determinação ( $R^2 = 0,55$ ). Este baixo valor do coeficiente de determinação, pode ter sido, devido, provavelmente, a este estudo, ter sido conduzido em uma única classe de solo e submetida por um curto período de tempo, a diferentes sistemas de manejos.

Analisando as umidades ótimas de compactação (Tabela 5), e o limite de plasticidade (Tabela 7), observa-se que, a umidade ótima de compactação, é menor do que o limite de plasticidade, fato também observado por Gamero (1982), Ekwue e Stone (1997) e Stone e Ekwue (1993). Sendo, o limite de plasticidade, o limite superior da zona de friabilidade do solo, verifica-se, portanto, que a umidade ótima de compactação, está contida na faixa de umidade, onde o tráfego de máquinas é realizado. Assim, de acordo com estes dados, pode-se sugerir que, o tráfego de máquinas, não seja realizado quando a umidade do solo for aproximadamente igual ao limite de plasticidade, evitando assim, maiores riscos de compactação.

Devido a complexidade na realização do ensaio de proctor normal, pesquisadores têm buscado, maneiras alternativas e mais rápidas, para a determinação da umidade ótima de compactação. Assim, pesquisadores têm utilizado, alguns atributos do solo, tais como, limite de plasticidade e capacidade de campo, na tentativa de otimizar o tempo de obtenção dos parâmetros, acima citado. Ojeniyi e Dexter (1979), sugeriram que, a umidade do solo que prejudica os trabalhos com máquinas, está próximo a 90% do limite de plasticidade. Analisando as Tabelas 5 e 7, observamos que os valores da umidade ótima de compactação, está próxima dos valores de umidade igual a 90%, do limite de plasticidade. Assim, as operações motomecanizadas, devem ser executadas, para umidade em média, menor do que  $0,29 \text{ kg kg}^{-1}$ , para que a compactação do solo, seja evitada.

TABELA 7. Valores do Limite de plasticidade (LP) e seu correspondente a 90% do Latossolo Roxo, para os diferentes tipos de manejos do solo e coletas. Médias de três repetições.

Manejos	Coleta 1		Coleta 2		Coleta 3	
	LP	90%	LP	90%	LP	90%
	$\text{kg kg}^{-1}$					
AD 0-7cm	0,32	0,29	0,34	0,31	0,33	0,30
20-27cm	0,32	0,29	0,29	0,26	0,32	0,29
CM 0-7cm	0,34	0,31	0,34	0,31	0,33	0,30
20-27cm	0,31	0,28	0,30	0,27	0,33	0,30
PD 0-7cm	0,32	0,29	0,33	0,30	0,34	0,31
25-32cm	0,32	0,29	0,34	0,31	0,33	0,30
AV 0-7cm	0,33	0,30	0,32	0,29	0,31	0,28
20-27cm	0,31	0,28	0,34	0,31	0,32	0,29
GD 0-7cm	0,34	0,31	0,30	0,27	0,32	0,29
15-22cm	0,31	0,28	0,34	0,31	0,31	0,28

TABELA 8. Valores da capacidade de campo para as sucções de 0,01 MPa e seu correspondente a 90% e a sucção de 0,033 MPa e seu correspondente a 90% do Latossolo Roxo, para os diferentes tipos de manejos do solo e coletas. Médias de três repetições.

Manejos	Coleta 1				Coleta 2				Coleta 3			
	0,01	90%	0,033	90%	0,01	90%	0,033	90%	0,01	90%	0,033	90%
	kg gk <sup>-1</sup>											
AD 0-7cm	0,33	0,30	0,28	0,25	0,31	0,28	0,28	0,25	0,33	0,30	0,29	0,26
20-27cm	0,31	0,28	0,28	0,25	0,31	0,28	0,28	0,25	0,33	0,30	0,29	0,26
CM 0-7cm	0,33	0,30	0,29	0,26	0,33	0,30	0,28	0,25	0,34	0,31	0,29	0,26
20-27cm	0,31	0,28	0,28	0,25	0,33	0,30	0,29	0,26	0,34	0,31	0,29	0,26
PD 0-7cm	0,31	0,28	0,28	0,25	0,31	0,28	0,27	0,24	0,33	0,30	0,29	0,26
25-32cm	0,30	0,27	0,27	0,24	0,31	0,28	0,28	0,25	0,32	0,29	0,28	0,25
AA 0-7cm	0,31	0,28	0,28	0,25	0,33	0,30	0,28	0,25	0,33	0,30	0,29	0,26
20-27cm	0,32	0,29	0,29	0,26	0,31	0,28	0,28	0,25	0,33	0,30	0,29	0,26
GD 0-7cm	0,32	0,29	0,27	0,24	0,31	0,28	0,28	0,25	0,33	0,30	0,29	0,26
15-22cm	0,31	0,28	0,28	0,25	0,30	0,27	0,27	0,24	0,32	0,29	0,29	0,26

Outro parâmetro físico, que pode ser utilizado para estimar a umidade ótima de compactação, é a capacidade de campo. Considerando que a capacidade de campo, seja o valor da umidade retida a sucção de 0,033 MPa, observa-se, nas Tabelas 5 e 8, que a umidade ótima está próxima à capacidade de campo, estes resultados, concordando com os resultados observados por Howard, Singer e Frantz (1981) e Pereira (1994). De acordo com Sedyiama et al. (1979), os dias favoráveis para o tráfego de máquinas no solo, são aqueles em que a umidade deste, seja menor ou igual a 90% da capacidade de campo. Consideramos a capacidade de campo, como a umidade retida a sucção de 0,01 MPa, analisando comparativamente as tabelas 5 e 8, notamos que a umidade ótima de compactação está próxima de 90% da umidade correspondente, a sucção de 0,01 MPa. Assim, as operações motomecanizadas, devem ser executadas para umidades médias inferiores, do que 0,28 kg kg<sup>-1</sup> (sucção de 0,033MPa) e 0,29 kg kg<sup>-1</sup> (90% da sucção 0,01MPa), para que a compactação do solo seja evitada. Em todos os casos, nota-se uma coerência entre os valores das umidades ótimas de compactação, obtidas pelo ensaio de proctor normal, com as obtidas pelo critério da capacidade de campo (0,28 e 0,29 kg kg<sup>-1</sup>) e as obtidas pelo critério do limite de plasticidade (0,29 kg gk<sup>-1</sup>)

## **6 Conclusões**

Os manejos estudados, não apresentaram diferenças significativas na densidade do solo máxima e umidade ótima de compactação.

A relação entre a densidade do solo máxima, com a matéria orgânica e umidade ótima de compactação foi baixa.

Os valores da densidade do solo máxima, na camada superficial, tenderam a serem menores ou iguais, aos da profundidade operacional dos equipamentos.

Não foi observado, uma tendência do aumento da umidade ótima de compactação, com o aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial.

Existe uma coêrencia entre os valores da umidade ótima de compactação, obtidas pelo ensaio de proctor e as obtidas, usando os critérios relativos ao limite de plasticidade e capacidade de campo.

## **7 Referência Bibliográfica**

- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. Soil physics. 4.ed. New York: John wiley, 1972. 490p.**
- CAMPBELL, D. J.; STAFFORD, J. V.; BLACKWELL, P. S. The plastic limit, as determined by the drop-cone teste, in relation to the mechanical behaviour of soil. Journal Soil Science, Oxford, v.31, n.1, p.11-24, mar. 1980.**
- CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações. 3.ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos editora. 1973. v.1, 242p.**
- CASTRO NETO, P. Notas de aula práticas do curso de agrometeorologia. Lavras: ESAL, 1982. 49p.**
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C.A. (ed.). Methods of soil analysis: part 1, physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling. Madison: Americam Society of Agronomy, 1965. Cap. 43, p.545-567. (Agronomy,9)**
- DIAS JUNIOR, M. de S. Notas de aula de física do solo. Lavras: UFLA, 1996. 168p.**

EKWUE, E. J.; STONE, R. J. Density-moisture relations of some Trinidadian soils incorporated with sewage sludge. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.40, n.2, p. 317-323, Mar./Apr. 1997.

EKWUE, E. J.; STONE, R. J. Organic matter effects on the strength properties of compacted agricultural soils. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.38, n.2, p. 357-3365, Mar./Apr. 1995.

GAMERO, C. A. **Efeito da mobilização do solo com enxada rotativa, sobre algumas de suas características físicas**. Piracicaba: ESALQ, 1982. 69p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia)

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. San Diego: Academic Press, 1982. 365p.

HOWARD, R. F.; SINGER, M. J.; FRANTZ, G. A. Effects of soil properties, water content, and compactive effort on the compaction of selected california forest and range soils. **Soil Science Society of America Journal**, Atlanta, v.45, n.2, p. 231-236, Mar./Apr. 1981.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.635-662.

LATOUR, D.; LATOUR, K.; WOLFINGER, R. D. **Getting started with proc mixed, software sales and marketing**. Cary: SAS institute Inc., 1994. 121p.

- LARSON, W. E.; EYNARD, A.; HADAS, A.; LIPIEC, J. Control and avoidance of soil compaction. In: SOANE, B. D.; VAN OUWERKERK, C. van. (ed.). **Soil compaction in crop production: developments in agricultura engineering**, Amsterdam: Elsevier, n.11. Cap.25, 1994. 597-625p.
- MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.147, p. 52-55, mar. 1987
- OHU, J. O.; RAGHAVAN, G. S. V.; MCHYES, E; MEHUYS, G. Shear strength prediction of compacted soils with varying organic matter contents. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.29, n.2, p.351-355, Mar./Apr. 1986.
- OJENIYI, S. O.; DEXTER, A. R. Soil factors affecting the macro-structures produced by tillage. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.22, n.2, p.339-343, Mar./Apr. 1979.
- PACHECO, A. A. R. C.; DIAS JUNIOR, M. de S. Estudo comparativo de métodos de campo e laboratório aplicados à confecção de blocos em adobe, **Ciência e Prática**, Lavras, v.14, n.2, p.176-190, maio/ago. 1990.
- PEREIRA, A. R. **Efeitos da irrigação e mecanização sobre a compactação de um Latossolo cultivado com soja (*Glycine max.* L.)**. Lavras: ESAL, 1994. 59p. (Dissertação - Mestrado em Irrigação).
- PINTO, C. S. **Resistência ao cisalhamento dos solos**. 3.ed. São Paulo: Editora do Grêmio Politécnico, 1983. 137p.

- RAGHAVAN, G. S. V.; ALVO, P.; MCKYES, E. Soil compaction in agriculture: A review toward managing the problem. **Advances in Soil Science**, London, v.11, p.1-36, 1990.
- RAGHAVAN, G. S. V.; MCKYES, E.; AMIR, I.; CHASSE, M.; BROUGHTON, R. S. Prediction of compaction due to off-road vehicle traffic. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.19, n.4, p.610-613, Jul./Aug. 1976.
- RAGHAVAN, G. S. V.; MCKYES, E. Laboratory study to determine the effect of slip-generated shear on soil compaction. **Canadian Agricultural Engineering**, v.19, n.1, p. 40-42, 1977.
- RAIJ, B. Van; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. (Boletim Técnico,81).
- RESENDE, J. O. Compactação e adensamento do solo: metodologias para avaliação e práticas agrícolas recomendadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DE SOLO, 26, Rio de Janeiro. **Palestras....**, Rio de Janeiro: SBCS/EMBRAPA, 1997. (CD-ROOM)
- ROCHA, G. C. **Geologia, geomorfologia e pedologia de uma catena de solos situada no Campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras, MG**. Lavras: ESAL, 1982, 109p. (Dissertação - Mestrado em solos e nutrição de plantas)

SEDIYAMA, G. C.; PTUITT, W. O.; COSTA, J. M. N.; BERNADO, S.  
Modelo para computação de irrigação suplementar e do número de dias  
trabalháveis com máquinas agrícolas na produção da soja (*Glycine max* L.).  
**Revista Ceres**, Viçosa, v.26, n.145, p.238-250, maio/jun. 1979.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação  
nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do  
Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.91-95, maio/ago. 1986.

SOANE, B. D.; BLACKWELL, P. S.; DICKSON, J. W.; PAINTER, D. J.  
Compaction by agricultural vehicles: a review. **Soil & Tillage Research**,  
Amsterdam, v.1, p. 207-237, 1981.

SOWERS, G. F. Consistency. In: BLACK, C.A. (ed.). **Methods of soil analysis:**  
part 1, physical and mineralogical properties, including statistics of  
measurements and sampling. Madison: American Society of Agronomy,  
1965. Cap. 31, p.391-399. (Agronomy,9)

STANCATI, G.; NOGUEIRA, J. B.; VILAR, O. M. **Ensaios de laboratórios  
em mecânica dos solo**. São Carlos: USP. Escola de Engenharia de São  
Carlos, 1981. 208p.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS/STAT User's  
Guide: version 6. 4 ed.** Cary, N. C., 1990. v.2, 1686p.

STONE, R. J.; EKWUE, E. I. Maximum bulk density achieved during soil compaction as effected by the incorporation of three organic materials. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.36, n. 6, p. 1713-1719, Nov./Dez. 1993.

THOMAS, G. W.; HASLER, G. R.; BLEVINS, R. L. The effects of organic matter and tillage on maximum compactability of soils using the proctor test. **Soil Science**, New Jersey, v.161, n.8, p.502-508, Aug. 1996

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil da USP, 1977. 509p.

ZHANG, H.; HARTGE, K. H.; RINGE, H. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactibility. **Soil Science Society of America Journal**, Anaheim, v.61, n.1, p 239-245, Oct. 1997.