

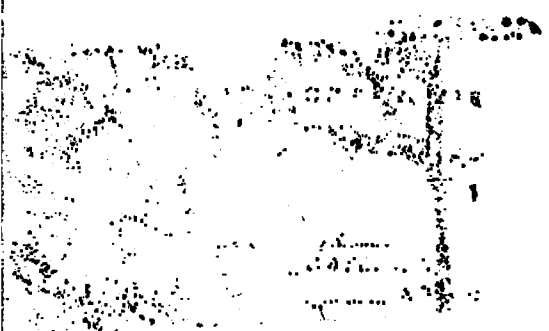


**COMPRESSIBILIDADE DE TRÊS LATOSSOLOS
SOB DIFERENTES USOS**

MARCOS KOITI KONDO

1998

ÇÃO E EMPRE
DE VOLTU
18



43093

MFN: 30084

MARCOS KOITI KONDO

COMPRESSIBILIDADE DE TRÊS LATOSSOLOS
SOB DIFERENTES USOS

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

Latossolo. I. Universidade Federal de Lavras. II.
Latossolo. 3. Compactação. 4. Modelagem. 5.

CDD-631.433

CON 12136

MINAS GERAIS - DI

1998

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

Kondo, Marcos Koiti

Compressibilidade de três latossolos sob diferentes usos / Marcos
Koiti Kondo. Lavras: UFLA, 1998.

105p.: il.

Orientador: Moacir de Souza Dias Junior.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Solo. 2. Física do solo. 3. Compactação. 4. Modelagem. 5.
Compressibilidade. 6. Latossolo. I. Universidade Federal de Lavras. II.
Título.

CDD-631.433

-624.15136

MARCOS KOITI KONDO

COMPRESSIBILIDADE DE TRÊS LATOSSOLOS
SOB DIFERENTES USOS

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 19 de fevereiro de 1998

Prof. Dr. Mozart Martins Ferreira UFLA

Prof. Dr. José Maria de Lima UFLA



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

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

Para todos aqueles que nunca desistiram da luta...

*Aos meus pais, Shoji e Setsuko,
sempre presentes na minha vida,
e a toda minha família e amigos,
de tantas alegrias e tristezas,*

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa via Programa Especial de Treinamento (PET).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro na execução deste trabalho.

Ao Professor Moacir de Souza Dias Junior pelo inestimável apoio e orientação na execução deste trabalho.

A todos os professores do Departamento de Ciência do Solo, pelos conhecimentos transmitidos ao longo do curso.

A todos os funcionários do Departamento de Ciência do Solo, pela acolhida, em especial a Jairo Lima Junior e Dulce Claret Monteiro Moraes, pelo companheirismo e ajuda.

A todos os colegas da Pós-Graduação, principalmente Reginaldo Barboza da Silva, Flávia Aparecida Alcântara, José Romilson Paes de Miranda, Marcos Aurélio Carolino de Sá e Eduardo Dal'Ava Mariano.

Ao estudante de Engenharia Agrônômica, Wagner Tompsom, pelos momentos valiosos de trabalho em conjunto.

Ao Jorge Eduardo da Silva Santos, Álvaro Vilela de Resende, Luiz Henrique Arimura Figueiredo, Fábio Pereira Dias, Tania das Graças Silva e Eliezer Santurbano Gervásio, pelo companheirismo.

E, por último mas não menos importante, a Pollyana Gisele Peres Peres, Maria Angela Staffusa e Paula Giovanna Peres Peres, sempre presentes nos valiosos momentos de alegria e de dificuldade.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE SÍMBOLOS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
3 METODOLOGIA GERAL	6
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	7
5 CAPÍTULO I: Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três latossolos	11
RESUMO	11
ABSTRACT	12
5.1 Introdução	13
5.2 Material e métodos	15
5.2.1 Solos	15
5.2.2 Amostragem	16
5.2.3 Análises de laboratório	17
5.2.4 Análises estatísticas	19
5.3 Resultados e discussão	19
5.3.1 Caracterização dos solos	19
5.3.2 Compressibilidade do solo	22
5.4 Conclusões	44
5.5 Referências bibliográficas	45
6 CAPÍTULO II: Influência da história de tensão e da umidade na compressibilidade de três latossolos sob diferentes usos	50
RESUMO	50

ABSTRACT	51
6.1 Introdução.....	52
6.2. Material e métodos	54
6.2.1 Solos	54
6.2.2 Amostragem	56
6.2.3 Análises de laboratório.....	56
6.2.4 Análises estatísticas.....	57
6.3 Resultados e discussão	58
6.4 Conclusões	91
6.5 Referências bibliográficas	92

LISTA DE SÍMBOLOS

a, b, c	parâmetros ajustados;
C	carbono orgânico (g kg^{-1});
Ds	densidade do solo (Mg m^{-3});
Ds _i	densidade do solo inicial (Mg m^{-3});
Ds _{final}	densidade do solo final (Mg m^{-3});
Ds _{σ_p}	densidade do solo na pressão de preconsolidação (Mg m^{-3});
LC	limite de contração (kg kg^{-1});
LE	Latossolo Vermelho-Escuro;
LL	limite de liquidez (kg kg^{-1});
LP	limite de plasticidade (kg kg^{-1});
LR	Latossolo Roxo;
LV	Latossolo Vermelho-Amarelo;
m	índice de compressão (Mg m^{-3});
m _{máx}	índice de compressão máximo (Mg m^{-3});
U	umidade gravimétrica (kg kg^{-1});
U _{máx}	umidade gravimétrica máxima (kg kg^{-1});
σ_{final}	pressão aplicada final (kPa);
σ_p	pressão de preconsolidação (kPa);
σ_{pcal}	pressão de preconsolidação calculada (kPa).

RESUMO

KONDO, Marcos Koiti. Compressibilidade de três latossolos sob diferentes usos. Lavras: UFLA, 1998. 105p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)*

Para analisar a compressibilidade de solos sob diferentes usos, estudou-se o efeito do manejo e da umidade nas curvas de compressão e na pressão de preconsolidação (σ_p) de três solos: Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho-Escuro sob cultura anual, mata natural e pastagem, na região de Lavras (MG), onde foram coletadas amostras indeformadas e deformadas em duas profundidades (0-3 e 27-30 cm) com três repetições. As amostras indeformadas foram utilizadas no ensaio de compressão uniaxial sob diferentes umidades, obtendo-se assim as curvas de compressão. A partir das amostras deformadas, determinaram-se os limites de consistência, análise granulométrica e carbono orgânico. As variações de tais propriedades, induzidas pelo manejo, alteraram o comportamento compressivo dos solos, tendo a umidade alterado a forma das curvas de compressão de todos os solos e a densidade inicial controlado a posição em relação ao eixo das tensões aplicadas. Os modelos testados de compactação baseados na história de tensão do solo são uma função da pressão de preconsolidação e do teor de umidade do solo, sendo que o aumento da umidade do solo levou ao decréscimo logarítmico da pressão de preconsolidação, indicando uma redução na capacidade de suporte de carga do mesmo, com o aumento da umidade em todas os casos estudados. O teor de umidade do solo correspondente ao limite de plasticidade pode ser usado em campo como uma inferência do teor de umidade máximo, no qual as operações motomecanizadas possam ser realizadas. Solos sob a condição de cultura anual são mais suscetíveis à compactação do que aqueles sob mata natural e pastagem devido à sua menor capacidade de suporte de carga para uma mesma faixa de umidade. O modelo baseado na história de tensão do solo evidenciou o efeito da compactação causada pelas máquinas de preparo do solo na camada de 27-30 cm, enquanto que para a pastagem ficou demonstrado o efeito do pisoteio do gado na camada superficial de 0-3 cm.

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

ABSTRACT

In order to analyze the compressibility of soils under different uses, the effect of the soil management and moisture on the compression curves and preconsolidation pressure (σ_p) of the three latosols (Oxisols), namely, Red-Yellow Latosol (LV), Dusky Red Latosol (LR) and Dark-Red Latosol (LE) under annual crop, natural forest and pasture in Lavras region (MG) was studied. Undisturbed soil samples were collected in two depths (0-3 and 27-30 cm) with three replications. Uniaxial compression test was done on the samples under different moisture contents. The results were plotted on the soil compression curves. Starting the disturbed samples, the consistency limits, particle size distribution and organic carbon were determined. It was observed that the variations in the physical and mechanical properties of the soils, induced by the soil management, altered the compressive behavior of the same ones, and that the moisture altered the form of the soil compression curves of all the soils, while the initial density controlled its position in relation to the axis of the applied pressure. The tested models of soil compaction based on the stress history of the soil were found to be a function of its preconsolidation pressure and moisture content, and the increase of moisture took the logarithmic decrease in the preconsolidation pressure, indicating a reduction in the load support capacity of the same, with the increase of the moisture content in whole of the cases studied. The moisture content of the soil corresponding to the plastic limit could be used in the field level as an inference of the maximum moisture content in which the field operations could be accomplished. Soils under the condition of annual crop were more susceptible to compaction than those under natural forest and pasture, due to their smallest load support capacity for the same range of moisture content. The model based on the stress history of the soil evidenced the effect of the compaction caused by the soil preparing machines in the layer of 27-30 cm, while for the pasture the effect of trampling of the cattle was demonstrated in the superficial layer of 0-3 cm.

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

1 INTRODUÇÃO GERAL

O desenvolvimento de uma agricultura moderna baseada em princípios conservacionistas passa necessariamente por um processo intensivo de adoção de novas tecnologias, as quais voltam-se principalmente para as médias e grandes propriedades agrícolas, cuja exploração sustenta-se no cultivo com grande uso de mecanização.

Com a intensa utilização dessas novas tecnologias voltadas à motomecanização das operações agrícolas, houve, concomitantemente, um aumento do tráfego de máquinas sobre o solo, originando uma série de alterações físicas, entre as quais destaca-se o processo de compactação do solo como um dos mais importantes fatores limitantes à obtenção de maiores índices de produtividade das culturas exploradas.

⇒ A suscetibilidade do solo à compactação torna-se crítica em condições de umidade excessiva, sendo necessário determinar o nível de umidade do solo antes que seja cultivado ou trafegado, bem como uma previsão quantitativa do prejuízo causado à sua estrutura, caso as pressões aplicadas excedam a capacidade de suporte de carga do mesmo.

⇒ Um dos parâmetros na estimativa da capacidade de suporte de carga tem sido a pressão de preconsolidação¹, que é obtida a partir das curvas de compressão do solo².

⇒ Quando o solo não possui história de tensão, ou seja, não foi submetido a pressões prévias, a curva de compressão do solo é uma linha reta, não existindo pressão de preconsolidação³. Caso o solo tenha sido submetido a pressões prévias, a relação

¹ A pressão de preconsolidação tem sido utilizada como medida da capacidade de suporte de carga de solos parcialmente saturados (Dias Junior, 1994; Dias Junior e Pierce, 1996; Dias Junior, 1997).

² Representa graficamente a relação entre a densidade do solo ou índice de vazios e o logaritmo da pressão aplicada (Casagrande, 1936; Leonards, 1962; Holtz e Kovacs, 1981).

³ Dias Junior e Pierce, 1996.

deixa de ser linear, e ele passa a apresentar uma pressão de preconsolidação e, conseqüentemente, uma história de tensão⁴.

=> Assim, o entendimento do comportamento compressivo do solo através das curvas de compressão reveste-se de grande importância, visto serem elas a base, do ponto de vista físico, para a escolha do manejo mais adequado a ser utilizado. Além disso, para as condições brasileiras, existem poucos estudos sobre os efeitos da variação de umidade na compressão do solo⁵.

Baseado nestas considerações, este estudo teve como objetivo a análise do comportamento compressivo de três latossolos sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem, da região de Lavras (MG).

No capítulo 2, apresenta-se a análise do efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três latossolos sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem.

No capítulo 3, tem-se a validação de dois modelos⁶ para as condições dos solos da região de Lavras (MG) sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem, sendo o primeiro baseado na reta de compressão virgem e o segundo na história de tensão do solo, obtendo-se a máxima pressão a ser aplicada ao mesmo, evitando uma compactação adicional.

Este trabalho representa uma contribuição ao objetivo de elucidar o processo de compactação do solo, cujo entendimento global é buscado, e sua continuidade faz-se necessária para a caracterização dos solos sob os pontos de vista físico/mecânico, mineralógico, pedogenético e químico.

⁴ A história de tensão reflete o manejo utilizado no solo (Dias Junior e Pierce, 1996).

⁵ Dias Junior, 1994 e Dias Junior e Pierce (1996).

⁶ Semelhantes aos propostos por Dias Junior (1994).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nos últimos anos, com a adoção de tecnologias agrícolas voltadas para o cultivo de grandes áreas, intensificaram-se as operações motomecanizadas sobre o solo, refletindo na sua suscetibilidade à compactação, que torna-se crítica em condições de umidade excessiva. Assim, é de extrema importância determinar o quanto o solo está muito úmido para ser submetido às operações de cultivo ou de tráfego, bem como estimar quantitativamente o prejuízo causado à sua estrutura quando as pressões aplicadas excederem a capacidade de suporte (Dias Junior, 1994; Dias Junior e Pierce, 1996).

Uma das medidas alternativas da capacidade de suporte de carga dos solos parcialmente saturados, condição essa predominante nos solos agricultáveis, tem sido a pressão de preconsolidação (Dias Junior, 1994; Dias Junior e Pierce, 1996; Dias Junior, 1997). A pressão de preconsolidação é obtida da curva de compressão do solo, utilizando-se o método proposto por Casagrande (1936), que é basicamente gráfico, ou utilizando o método proposto por Dias Junior e Pierce (1995) que faz uso de uma planilha eletrônica elaborada a partir dos softwares Quattro Pro (versão 4.0 ou superior, Borland International, Inc., Scotts Valley, U.S.A) ou Excel (versão 5.0 ou superior, Microsoft Corporation, One Microsoft Way, Redmond, Washington, U.S.A.).

=> Em ambas as metodologias propostas para a determinação da pressão de preconsolidação, faz-se uso da curva de compressão do solo, a qual representa graficamente a relação entre o logaritmo da pressão aplicada e algum parâmetro relacionado com o estado de empacotamento do solo, mais freqüentemente a densidade do solo e/ou índice de vazios (Casagrande, 1936; Leonards, 1962;

Holtz e Kovacs, 1981; Smith, Johnston e Lorentz, 1997).

Quando o solo não sofreu nenhuma pressão prévia, a curva de compressão do solo é teoricamente linear, não apresentando pressão de preconsolidação e, conseqüentemente, história de tensão, e a aplicação de qualquer pressão resultará em deformações não recuperáveis (Larson e Gupta, 1980; Larson, Gupta e Useche, 1980; Culley e Larson, 1987; Gupta e Allmaras, 1987; Lebert e Horn, 1991; Dias Junior e Pierce, 1995). Entretanto, quando o solo já experimentou pressões prévias, a variação de pressões atuando nele resultará em alguma deformação que pode ser relativamente pequena e recuperável ou não recuperável (Stone e Larson, 1980; Gupta, Hadas e Schafer citados por Larson et al., 1989; Lebert e Horn, 1991; Dias Junior e Pierce, 1995).

A pressão de preconsolidação tem sido usada para indicar o ponto de separação entre os dois casos acima citados, dividindo a curva de compressão do solo em duas regiões. Em uma delas ocorrem deformações pequenas, elásticas e recuperáveis (curva de compressão secundária), indicando a presença de uma história de tensão do solo, e em uma outra região predominam deformações plásticas e não recuperáveis (reta de compressão virgem) (Holtz e Kovacs, 1981; Dias Junior e Pierce, 1995).

⇒ A história de tensão do solo reflete o tipo de manejo utilizado (Dias Junior e Pierce, 1996) e, além disso, Dias Junior (1994) mostrou que o comportamento compressivo do solo é afetado pela sua história de tensão e principalmente pela variação do teor de umidade. Dessa forma, o entendimento do comportamento compressivo do solo utilizando as curvas de compressão adquire uma grande relevância, visto serem elas a base, do ponto de vista físico, para a escolha do manejo mais adequado, reduzindo-se os efeitos prejudiciais oriundos do processo de compactação do solo.

Embora tenha-se um amplo esclarecimento do processo de compactação (Barnes et al., 1971; Gupta et al., 1985; Gupta e Allmaras, 1987) existem poucos

estudos analisando o efeito da variação de umidade na compressão do solo (Dias Junior, 1994), principalmente considerando-se as condições brasileiras (Dias Junior e Pierce, 1996).

Geralmente, os modelos usados para a avaliação da compactação têm dado ênfase à reta de compressão virgem, a qual indica as deformações plásticas e não recuperáveis, sendo geralmente bem descrita para altos graus de umidade (Larson e Gupta, 1980; Gupta et al., 1985; Horn, citado por Larson et al., 1989). Porém, a ocorrência de deformações plásticas no solo, decorre de altas umidades e/ou pressões excessivas, sendo, portanto, na região de deformações elásticas e recuperáveis (curva de compressão secundária) que o solo deve ser cultivado, evitando maiores prejuízos à sua estrutura. Este é o componente da curva de compressão do solo que reflete sua história de tensão e que não vem sendo utilizado na agricultura (Dias Junior, 1994).

A pressão de preconsolidação tem sido utilizada como um parâmetro correspondente à máxima pressão sustentada pelo solo no passado (Holtz e Kovacs, 1981; Dias Junior e Pierce, 1995), definindo assim o limite entre as deformações elásticas e as plásticas na curva de compressão do solo. Portanto, na agricultura a aplicação de pressões superiores à maior pressão previamente aplicada no solo deve ser evitada (Gupta, Hadas e Schafer, citados por Larson et al., 1989; Lebert e Horn, 1991), reduzindo-se os riscos da ocorrência de deformações não recuperáveis.

Portanto, o desenvolvimento de um modelo que indique a máxima pressão suportável pelo solo para diferentes umidades sem causar compactação adicional será de grande valor na agricultura, principalmente naquela com maior nível de mecanização. Este modelo fornecerá informações de quando, em relação ao teor de umidade, um solo pode ser cultivado sem sofrer compactação, ou seja, sem sofrer degradação estrutural (Dias Junior, 1994).

3 METODOLOGIA GERAL

Para a realização deste estudo, foram utilizadas amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Latossolo Roxo (LR) e Latossolo Vermelho-Escuro (LE), submetidas às condições de cultura anual, mata natural e pastagem. Segundo Silva, Lima e Curi (1993), os solos LV e LE apresentam maior importância agrícola na região de Lavras (MG) e o LR, embora ocupe uma área pouco expressiva na região, possui globalmente grande significado agrícola (Oliveira, Jacomine e Camargo, 1992).

Foram coletadas aleatoriamente nas três condições de manejo, amostras indeformadas (utilizando-se um amostrador de Uhland) e deformadas em duas profundidades: 0-3 e 27-30 cm. Na condição de cultura anual, a amostragem foi realizada antes do preparo do solo.

⇒ As amostras deformadas foram submetidas às seguintes análises: limite de plasticidade e limite de liquidez (Sowers, 1986), limite de contração (Bowles, 1978), análise granulométrica (Day, 1986), densidade de partículas (Blake e Hartge, 1986) e carbono orgânico (Raij e Quaggio, 1983). As amostras indeformadas foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial, de acordo com Bowles (1986) modificada por Dias Junior (1994).

⇒ Fez-se a simulação dos diferentes teores de umidade através da utilização de amostras indeformadas inicialmente saturadas, as quais foram secadas ao ar no laboratório até a obtenção da umidade desejada, procedendo-se a três repetições.

⇒ Então, após a obtenção da umidade desejada, as amostras foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial. As pressões aplicadas a cada

amostra obedeceram a seguinte ordem: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa, e cada pressão foi aplicada até que 90% da deformação máxima fosse alcançada (Holtz e Kovacs, 1981). Somente após esta condição ser alcançada é que se aplicou uma nova pressão. As curvas de compressão dos solos foram obtidas plotando-se a pressão aplicada no eixo das abcissas, versus a densidade do solo, conforme Blake e Hartge (1986) e ao final de cada estágio de aplicação de uma determinada pressão, no eixo das ordenadas.

⇒ A pressão de preconsolidação e o índice de compressão foram obtidos a partir do método proposto por Dias Junior e Pierce (1995), as equações de regressão foram obtidas usando-se o software Sigma Plot 2.0 (Jandel Scientific, P. O. Box 7005, San Rafael, CA, USA) e a análise de variância das regressões utilizando-se o software Excel para Windows 95, versão 8.0 (Microsoft Corporation, One Microsoft Way, Redmond, Washington, USA).

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARNES, K.K.; CARLETON, W.M.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R.I.; VANDEN BERG, G.E. *Compaction of agricultural soils*. ASAE: St. Joseph, 1971. (Monograph)
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.). *Methods of soil analysis: part 1, physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 1986. Cap. 13, p.363-375. (Agronomy, 9)
- BOWLES, J.E. *Engineering properties of soils and their measurements*. 2.ed., Auckland: McGraw-Hill, 1978.

- BOWLES, J.E. Engineering properties of soils and their measurements. 3.ed., Auckland: McGraw-Hill, 1986.**
- CASAGRANDE, A. The determination of the preconsolidation load and its practical significance. In: CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, Proceedings of the ICSMFE, Cambridge, Mass., June, 22-26, v.3, p.60-64, 1936.**
- CULLEY, J.L.B.; LARSON, W.E. Susceptibility to compression of a Clay Loam Haplaquoll. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.51, n.3, p.562-567, May/June 1987.**
- 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)**
- DIAS JUNIOR, M. de S. Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic. East Lansing: Michigan State University, 1994. 114p. (Dissertação de Doutorado)**
- DIAS JUNIOR, M. de S. Uso da história de tensão e da variação da umidade como instrumentos para evitar a compactação adicional do solo. In: WORKSHOP SOBRE AVALIAÇÃO E MANEJO DE RECURSOS NATURAIS EM ÁREA DE EXPLORAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR, 1, Aracaju, 1997. Palestras... Aracaju: Embrapa-CPATC, 1997, p.67-81.**
- DIAS JUNIOR, M. de S.; PIERCE, F.J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. Soil Technology, Amsterdam, v.8, p.139-151, 1995.**
- DIAS JUNIOR, M. de S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.20, n.2, p.175-182, maio/ago. 1996.**
- GUPTA, S.C.; ALLMARAS, R.R. Models to assess the susceptibility of soil to excessive compaction. Advances in Soil Science, London, v.6, p.65-100, 1987.**

- GUPTA, S.C.; HADAS, A.; SCHAFER, R.L. Modeling soil mechanical behavior during compaction. In: LARSON, W.E.; BLAKE, G.R.; ALLMARAS, R.R.; VOORHEES, W.B.; GUPTA, S.C. **Mechanics and related process in structured agricultural soils**. The Netherlands: Kluwer Academic Publisher, p.137-152, 1989.
- GUPTA, S.C.; HADAS, A.; VOORHEES, W.B.; WOLF, D.; LARSON, W.E.; SCHNEIDER, E.C. **Development of quids for estimating the ease of compaction of world soils**. Bet Dagan, Israel: Binational Agric. Res. Development, University of Minnesota, 1985. 178p. (Research Report).
- HOLTZ, R.D.; KOVACS, W.D. **An introduction to geotechnical engineering**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1981.
- HORN, R. Strength of structured soils to loading - a review of process on macro and microscale; European aspects. In: LARSON, W.E.; BLAKE, G.R.; ALLMARAS, R.R.; VOORHEES, W.B.; GUPTA, S.C. **Mechanics and related process in structured agricultural soils**. The Netherlands: Kluwer Academic Publisher, p.9-22, 1989.
- LARSON, W.E.; GUPTA, S.C. Estimating critical stress in unsaturated soils from changes in pore water pressure during confined compression. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, n.6, p.1127-1132, Nov./Dec. 1980.
- LARSON, W.E.; GUPTA, S.C.; USECHE, R.A. Compression of agricultural soils from eight soils orders. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, n.3, p.450-457, May/June 1980.
- LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.19, n.2, p.275-276, 1991.
- LEONARDS, G.A. **Foundation engineering**. New York: McGraw-Hill, 1962.
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas, Instituto Agrônômico, 1983. (Boletim Técnico, 81).

SILVA, A.C.; LIMA, J.M. de; CURI, N. Relação entre voçorocas, uso da terra, solo e materiais de origem da região de Lavras (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.17, n.3, p.459-464, set./dez. 1993.

SMITH, C.W.; JOHNSTON, M.A., LORENTZ, S. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. I. The effect of soil type, water content and applied pressure on uni-axial compaction. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.41, n.1,2, p.53-73, Mar. 1997.

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)

STONE, J.A.; LARSON, W.E. Rebound of five one-dimensionally compressed unsaturated granular soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.44, n.4, p.819-822, July/Aug. 1980.

5 CAPÍTULO I

EFEITO DO MANEJO E DA UMIDADE NO COMPORTAMENTO COMPRESSIVO DE TRÊS LATOSSOLOS

RESUMO

Para analisar o efeito da umidade e do manejo na compressibilidade de alguns solos foram obtidas as curvas de compressão de três solos: Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho-Escuro sob cultura anual, mata natural e pastagem, localizados na região de Lavras (MG), dos quais foram coletadas amostras indeformadas e deformadas em duas profundidades (0-3 e 27-30 cm) com três repetições. A análise das amostras indeformadas foi realizada através de ensaio de compressão uniaxial sob diferentes umidades, determinando-se então as curvas de compressão. A partir das amostras deformadas, determinaram-se os limites de consistência, análise granulométrica e carbono orgânico. Observou-se que as variações nas propriedades físicas e mecânicas dos solos, induzidas pelo manejo, alteraram o comportamento compressivo dos mesmos, sendo que a umidade alterou a forma das curvas de compressão em todos os solos, deslocando-as para baixo quando normalizadas, enquanto a densidade inicial controlou a sua posição em relação ao eixo das tensões aplicadas.

ABSTRACT

EFFECT OF THE MANAGEMENT AND OF THE MOISTURE IN THE COMPRESSIVE BEHAVIOR OF THREE LATOSOLS (OXISOLS)

In order to analyze the effect of moisture and soil management on the compressibility of soils under different uses, the compression curves of the three soils, namely, Red-Yellow Latosol (LV), Dusky Red Latosol (LR) and Dark-Red Latosol (LE) were obtained under annual crop, natural forest and pasture, located in the region of Lavras (MG). Those were collected as undisturbed and disturbed soil samples in two depths (0-3 and 27-30 cm) with three repetitions. The undisturbed soil samples were utilized in the analysis of uniaxial compression under different moisture contents, thus determining the compression curves. Starting the disturbed samples, the consistency limits, particle size distribution and organic carbon were determined. It was observed that the variations in the physical and mechanical properties of the soils, induced by the soil management, altered the compressive behavior of the same ones, and that the moisture content altered the form of the compression curves in all the soils, moving them down when normalized and while the initial density controlled its position in relation to the axis of the applied tensions.

5.1 INTRODUÇÃO

=▷ Um dos grandes entraves às operações motomecanizadas refere-se à suscetibilidade à compactação do solo, a qual limita o seu manejo em condições de umidade excessiva. Assim, torna-se muito importante determinar o quanto o solo está muito úmido para ser submetido às operações de preparo ou de tráfego, bem como estimar quantitativamente o prejuízo causado a sua estrutura quando as pressões aplicadas excederem a capacidade de suporte do mesmo (Dias Junior, 1994; Dias Junior e Pierce, 1996).

=▷ Vários pesquisadores têm mostrado o efeito da compactação nas propriedades físicas do solo devido a aplicação de pressões maiores do que a sua capacidade de suporte de carga (Barnes et al., 1971; Gupta et al., 1985; Larson et al., 1989). Dentre os efeitos da compactação nos atributos físicos do solo destacam-se: aumento da densidade do solo (D_s) e da sua resistência mecânica (Grohmann e Queiroz Neto, 1966; Taylor, 1971; Trowse Junior, 1971; Hillel, 1982; Moraes, 1984; Rosa Júnior, 1984; Silva, Libardi e Camargo, 1986; Hill e Meza-Montalvo, 1990; Lebert e Horn, 1991) com diminuição da porosidade total, tamanho e continuidade dos poros (Warkentin, 1971; Hillel, 1982; Moraes, 1984; Smucker e Erickson, 1989).

=▷ As alterações dos atributos físicos do solo podem limitar a adsorção e/ou absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, trocas gasosas e o desenvolvimento do sistema radicular (Grohmann e Queiroz Neto, 1966; Moura Filho e Buol, 1972; Alvarenga et al., 1983; Oliveira, Curi e Freire, 1983; Smucker e Erickson, 1989; Bicki e Siemens, 1991), resultando em decréscimo da produção agrícola. Assim, a determinação da capacidade de suporte de carga

do solo torna-se extremamente importante para evitar seu processo de compactação.

Uma das medidas alternativas da capacidade de suporte de carga dos solos parcialmente saturados (condição predominante dos solos agricultáveis) tem sido a pressão de preconsolidação (σ_p) (Dias Junior, 1994; Dias Junior e Pierce, 1996; Dias Junior, 1997). A σ_p é obtida a partir das curvas de compressão do solo, seja utilizando o método proposto por Casagrande (1936), o qual é um método gráfico, ou utilizando o método proposto por Dias Junior e Pierce (1995) que utilizam, na sua determinação, uma planilha eletrônica elaborada a partir dos softwares Quattro Pro (versão 4.0 ou superior, Borland International, Inc., Scotts Valley, U.S.A.) ou Excel (versão 5.0 ou superior, Microsoft Corporation, One Microsoft Way, Redmond, Washington, U.S.A.).

A curva de compressão do solo representa graficamente a relação entre o logaritmo da pressão aplicada e algum parâmetro relacionado com o estado de empacotamento do solo, mais freqüentemente a D_s e/ou o índice de vazios (Casagrande, 1936; Leonards, 1962; Holtz e Kovacs, 1981; Smith, Johnston e Lorentz, 1997). Portanto, o entendimento do comportamento da curva de compressão do solo é importante, pois é ela que permite avaliar a suscetibilidade do solo à deformação e, conseqüentemente, à compactação.

Baseado nestas considerações, este estudo teve como objetivo analisar o efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três latossolos sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Solos

Para a realização deste estudo foram utilizados três solos submetidos às condições de cultura anual, mata natural e pastagem:

1) Latossolo Vermelho-Amarelo (LV):

a) Sob cultura anual: localizado no município de Ijaci (MG), Fazenda da FAEPE, quilômetro 1 da rodovia Ijaci-Macaia, $21^{\circ}09'38''\text{S}$ e $44^{\circ}55'05''\text{W Gr.}$;

b) Sob mata natural: localizado no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), próximo a área cultivada com café, $21^{\circ}13'33''\text{S}$ e $44^{\circ}57'35''\text{W Gr.}$;

c) Sob pastagem: localizado no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), próximo a área cultivada com café, $21^{\circ}13'33''\text{S}$ e $44^{\circ}57'37''\text{W Gr.}$

2) Latossolo Roxo (LR):

a) Sob cultura anual: localizado no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), próximo ao prédio da Biblioteca Central, $21^{\circ}13'42''\text{S}$ e $44^{\circ}58'37''\text{W Gr.}$;

b) Sob mata natural: localizado no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), próximo à Garagem/Oficina Mecânica do campus, $21^{\circ}13'38''\text{S}$ e $44^{\circ}58'18''\text{W Gr.}$;

c) Sob pastagem: localizado no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), próximo ao Departamento de Zootecnia, $21^{\circ}13'50''\text{S}$ e $44^{\circ}57'59''\text{W Gr.}$

3) Latossolo Vermelho-Escuro (LE):

a) Sob cultura anual: localizado no quilômetro 6 da rodovia Lavras-Ijaci, 21°11'31"S e 44°57'44"W Gr.;

b) Sob mata natural: localizado no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), próximo à Subestação Experimental da EPAMIG, 21°13'11"S e 44°57'57"W Gr.;

c) Sob pastagem: localizado no quilômetro 6 da rodovia Lavras-Ijaci, 21°11'37"S e 44°57'57"W Gr.

A escolha do LV e LE se deu em virtude de serem, segundo Silva, Lima e Curi (1993), os solos de maior extensão da região em estudo. O LR, embora tenha uma área pouco expressiva na região em estudo, possui grande significado agrícola (Oliveira, Jacomine e Camargo, 1992).

5.2.2 Amostragem

Na condição de cultura anual, foram coletadas aleatoriamente amostras indeformadas e deformadas, antes do preparo do solo. Nas condições de mata natural e de pastagem foram também coletadas aleatoriamente amostras indeformadas e deformadas, buscando-se a maior representatividade possível de cada condição.

A amostragem foi realizada nas profundidades de 0-3 cm e 27-30 cm, com três repetições, sendo as amostras indeformadas obtidas através do uso de um amostrador de Uhland (Figura 5.1) com anel volumétrico de 6,40 cm de diâmetro por 2,54 cm de altura.

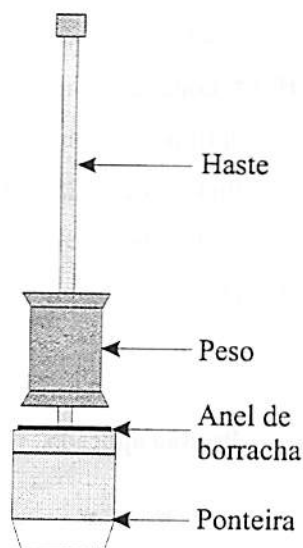


FIGURA 5.1. Amostrador de Uhland esquematizado.

5.2.3 Análises de laboratório

As amostras deformadas foram submetidas às seguintes análises: limite de plasticidade (LP) e limite de liquidez (LL) (Sowers, 1986), limite de contração (LC) (Bowles, 1978), análise granulométrica (Day, 1986), densidade de partículas (Blake e Hartge, 1986) e carbono orgânico (C) (Raij e Quaggio, 1983).

As amostras indeformadas foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial, de acordo com Bowles (1986) modificado por Dias Junior (1994), obtendo-se a D_s ao final de cada estágio de aplicação de carga, de acordo com Blake e Hartge (1986).

A simulação dos diferentes teores de umidade foi feita utilizando-se amostras indeformadas e inicialmente saturadas, as quais foram secas ao ar, no laboratório, até obter-se a umidade desejada, com três repetições. Então, as

amostras foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial, usando um consolidômetro da marca Boart Longyear, cuja aplicação das pressões se faz através da utilização de ar comprimido (Figura 5.2). As pressões aplicadas a cada amostra obedeceram a seguinte ordem: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa, sendo cada uma aplicada até que 90% da deformação máxima fosse alcançada (Holtz e Kovacs, 1981) e só então aplicou-se uma nova pressão.

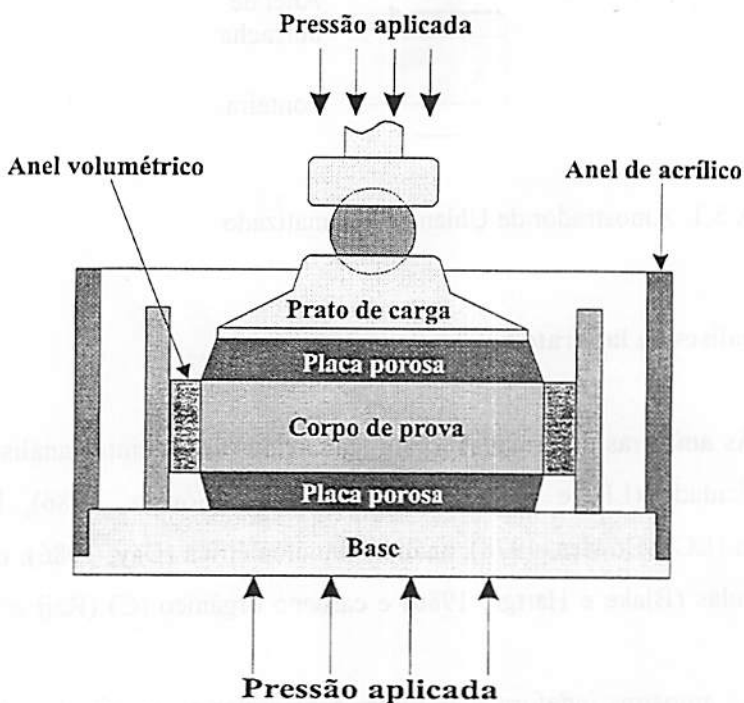


FIGURA 5.2. Célula de compressão uniaxial esquematizada.

Após a realização do ensaio, a curva de compressão do solo foi obtida plotando-se a pressão aplicada no eixo das abscissas, versus a D_s ao final de cada estágio de aplicação de uma determinada pressão, no eixo das ordenadas.

5.2.4 Análises estatísticas

As equações de regressão foram obtidas usando o software Sigma Plot 2.0 (Jandel Scientific, P. O. Box 7005, San Rafael, CA, USA).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Caracterização dos solos

Os resultados das análises físicas de caracterização dos solos são apresentados na tabela 5.1. O LR apresentou teores de argila maiores do que o LV e o LE e, conseqüentemente, maiores valores de LL e LP, devido ao aumento da capacidade de adsorção de água (Odell, Thornburn e McKensie, 1960; Baver, Gardner e Gardner, 1973). Estes autores e também Stone e Ekwue (1993) citam que uma elevação do teor de matéria orgânica também corresponde a uma elevação dos LL e LP. A elevação do LL e LP foi observada no LR quando comparado ao LV e aos valores de matéria orgânica da camada de 27-30 cm do LE. Além disso, o que pode ter causado uma elevação do LP do LR, segundo Rando, Andrade e Freire (1981), é o seu maior teor de óxidos de ferro livres. Assim, as variações nos valores dos LL e LP podem ter sido influenciados pela ação conjunta do teor de argila, matéria orgânica e teor de óxidos livres, em virtude do aumento da superfície específica, elevando a capacidade de adsorção de água.

TABELA 5.1. Propriedades físicas dos três solos estudados sob diferentes condições de uso (médias de 3 repetições).

Condição	LL	LP	LC	Faixa de friabilidade	C	g kg ⁻¹		
						Argila	Silte	Areia
Latossolo Vermelho-Amarelo								
0-3 cm								
Cultura anual	0,42	0,33	0,30	0,03	18	237	316?	446
Mata natural	0,42	0,29	0,25	0,04?	27	358	69	573
Pastagem	0,41	0,31	0,25	0,06	24	374	100	526
27-30 cm								
Cultura anual	0,45	0,35	0,32	0,03	12	426	186	388
Mata natural	0,45	0,29	0,24	0,05	09	460	67	473
Pastagem	0,44	0,28	0,22	0,06	07	463	106	432
Latossolo Roxo								
0-3 cm								
Cultura anual	0,54	0,42	0,27	0,15	18	658	254	88
Mata natural	0,57	0,44	0,39	0,05	40	666	145	190
Pastagem	0,51	0,46	0,32	0,14	25	587	231	182
27-30 cm								
Cultura anual	0,58	0,44	0,30	0,14	14	683	235	81
Mata natural	0,51	0,41	0,29	0,12	19	759	98	143
Pastagem	0,51	0,43	0,28	0,15	15	611	215	173
Latossolo Vermelho-Escuro								
0-3 cm								
Cultura anual	0,44	0,35	0,27	0,08	20	469	299?	232
Mata natural	0,56	0,44	0,39	0,05	51	333	129	539
Pastagem	0,51	0,40	0,32	0,08	27	398	125	477
27-30 cm								
Cultura anual	0,50	0,37	0,30	0,07	14	697	134	169
Mata natural	0,50	0,34	0,29	0,05	11	494	108	398
Pastagem	0,52	0,37	0,28	0,09	13	496	106	398

⇒ Ao analisar a faixa de friabilidade (LP - LC, segundo Hillel, 1982) dos três solos, observa-se que o LR pode ser trabalhado em um intervalo mais amplo de umidade do que os outros dois solos por apresentar maior faixa de friabilidade. Este fato pode representar uma grande vantagem em relação à mecanização deste solo, contudo, não permite inferir sobre sua suscetibilidade à compactação e muito menos sobre sua capacidade de suporte de carga, uma vez que a literatura clássica faz referência somente à faixa de umidade ideal para o preparo do solo, não indicando qual a carga a ser suportada por ele nesta faixa de umidade.

Os valores da D_s (antes do ensaio de compressão uniaxial) foram menores para a condição de cultura anual do que os da mata e pastagem, para o LV e LE em ambas as profundidades, refletindo o efeito destrutivo do preparo na estrutura do solo (Tabela 5.2). Já para o LR, ocorreu o contrário, o que sugere ser o solo sob a condição de cultura anual compactado, ao passo que a condição de mata natural não apresentou compactação, em virtude de seu alto teor de carbono, cuja densidade é consideravelmente inferior à densidade da porção mineral do solo. A condição de pastagem apresenta, em geral, valores de densidade do solo inicial (D_s) maiores do que os da cultura anual e mata natural para a profundidade 0-3 cm para os três solos, evidenciando o efeito do pisoteio do gado na camada superficial.

TABELA 5.2. Densidade do solo inicial no ensaio de compressão para os três solos estudados.

Solo	Cultura anual	Mg m ⁻³	
		Mata natural	Pastagem
0-3 cm			
LV	1,00±0,10 ¹	1,18±0,08	1,23±0,04
LR	1,01±0,08	0,71±0,04	1,05±0,07
LE	0,98±0,06	1,05±0,04	1,04±0,04
27-30 cm			
LV	1,00±0,02	1,23±0,07	1,29±0,04
LR	1,11±0,07	0,89±0,04	1,02±0,10
LE	0,94±0,03	1,21±0,05	1,17±0,03

1. Média ± desvio padrão da média (n = 15)

5.3.2 Compressibilidade do solo

Classicamente, a curva de compressão do solo consiste de duas regiões: uma de deformações pequenas, elásticas e recuperáveis chamada de curva de compressão secundária e uma de deformações plásticas e não recuperáveis, chamada de reta de compressão virgem, onde a compactação adicional ocorre. O ponto que divide estas duas regiões na curva de compressão do solo chama-se pressão de preconsolidação (σ_p) (Figura 5.3) (Holtz e Kovacs, 1981; Dias Junior e Pierce, 1995; Dias Junior e Pierce, 1996). O declive da reta de compressão virgem chama-se índice de compressão (m), o qual pode ser usado como uma medida da suscetibilidade do solo à compactação (Smith, Johnston e Lorentz, 1997).

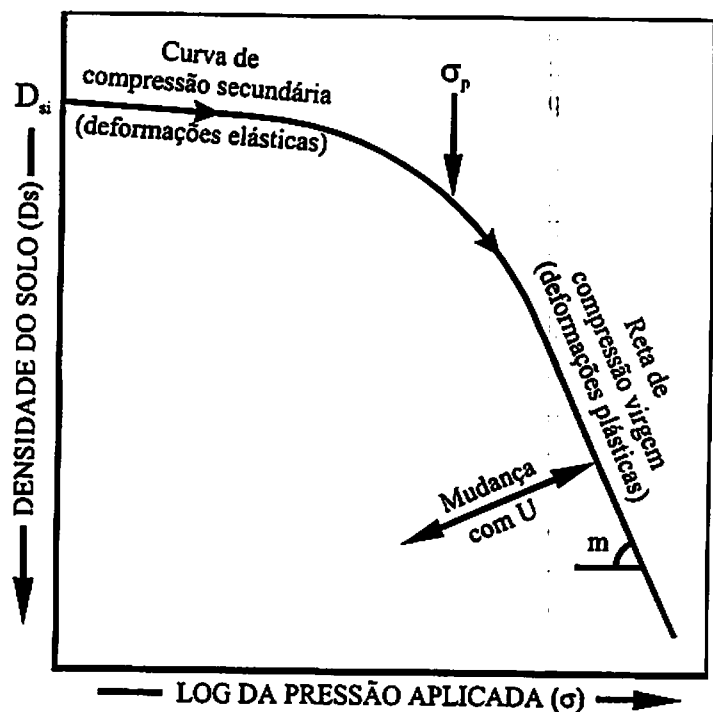


FIGURA 5.3. Exemplo de curva de compressão do solo.

Assim, a D_{si} , σ_p e a D_s correspondente, além do m (Tabela 5.3), definem as curvas de compressão e variam de acordo com a classe de solo, umidade e principalmente com o manejo do solo (Figuras 5.4a a 5.21a), corroborando assim com as observações de Larson, Gupta e Useche (1980); Culley e Larson (1987) e Dias Junior (1994). A importância destas observações se prende ao fato de que as variações dos parâmetros que definem a curva de compressão do solo ocorrem tanto para solos de clima temperado (Larson, Gupta e Useche, 1980; Culley e Larson, 1987 e Dias Junior, 1994) quanto para solos de clima tropical como mostrado neste estudo, acreditando-se, portanto, ser uma influência universal sobre a curva de compressão do solo.

TABELA 5.3. Densidade do solo inicial (D_{s_i}), pressão de preconsolidação (σ_p), densidade do solo na pressão de preconsolidação ($D_{s_{\sigma_p}}$) e índice de compressão (m) dos três solos estudados ($n=15$).

Condição	D_{s_i}	σ_p	$D_{s_{\sigma_p}}$	m
	$Mg\ m^{-3}$	kPa	$Mg\ m^{-3}$	
Latossolo Vermelho-Amarelo				
0-3 cm				
Cultura anual	1,00	249	1,12	0,29
Mata natural	1,18	253	1,28	0,31
Pastagem	1,23	340	1,34	0,31
27-30 cm				
Cultura anual	1,00	270	1,08	0,32
Mata natural	1,23	330	1,29	0,31
Pastagem	1,29	300	1,37	0,26
Latossolo Roxo				
0-3 cm				
Cultura anual	1,01	294	1,09	0,29
Mata natural	0,71	340	0,86	0,39
Pastagem	1,05	359	1,16	0,30
27-30 cm				
Cultura anual	1,11	394	1,16	0,25
Mata natural	0,89	271	1,02	0,33
Pastagem	1,02	310	1,10	0,30
Latossolo Vermelho-Escuro				
0-3 cm				
Cultura anual	0,98	288	1,08	0,27
Mata natural	1,05	313	1,18	0,37
Pastagem	1,04	326	1,18	0,32
27-30 cm				
Cultura anual	0,94	308	1,06	0,29
Mata natural	1,21	340	1,30	0,29
Pastagem	1,17	361	1,27	0,28

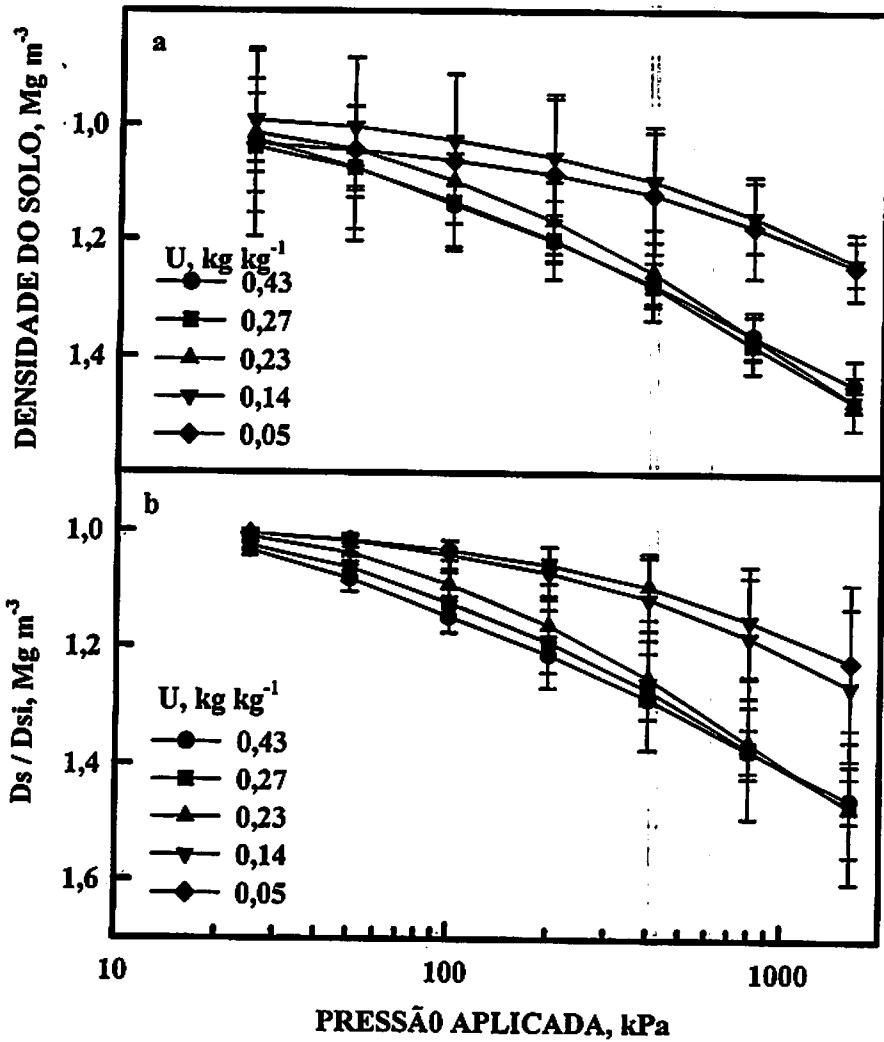


FIGURA 5.4. Curvas de compressão (a) e normalizadas (b) do Latossolo Vermelho-Amarelo sob cultura anual, na profundidade de 0-3 cm, sob diferentes umidades gravimétricas, médias de três repetições (as barras de erro representam o desvio padrão da média).

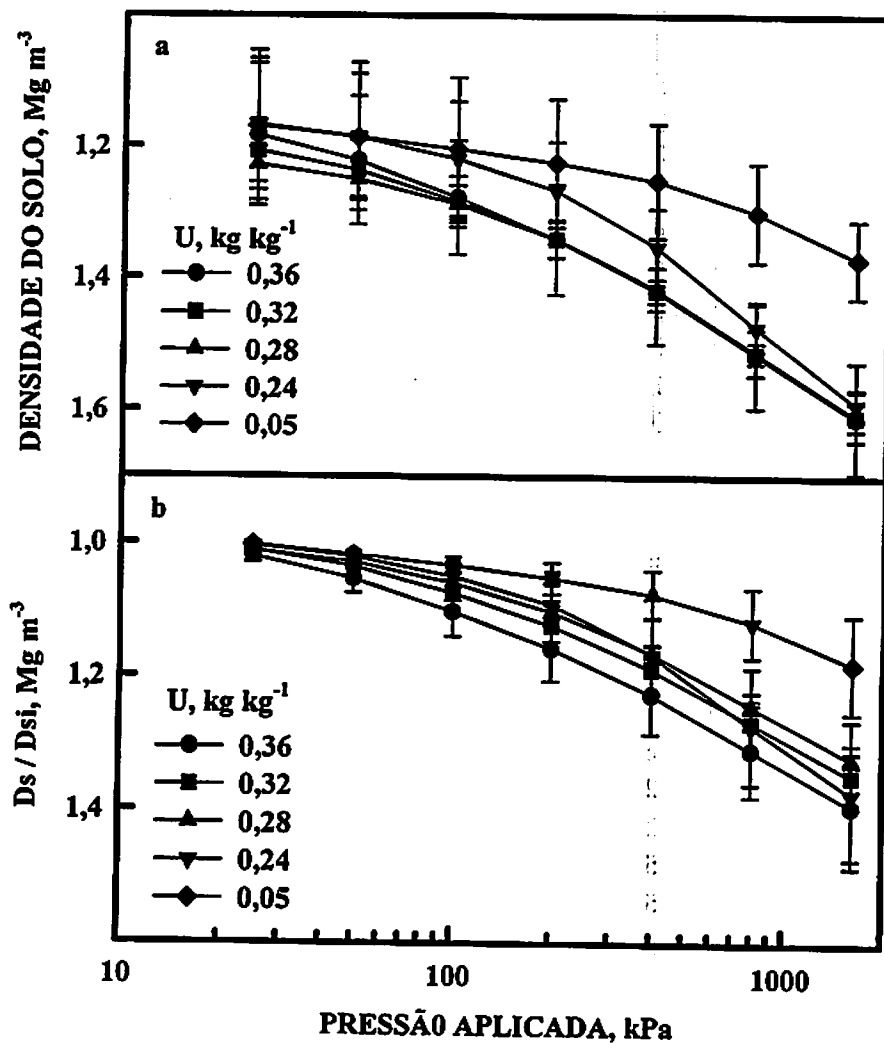


FIGURA 5.6. Curvas de compressão (a) e normalizadas (b) do Latossolo Vermelho-Amarelo sob mata natural, na profundidade de 0-3 cm, sob diferentes umidades gravimétricas, médias de três repetições (as barras de erro representam o desvio padrão da média).

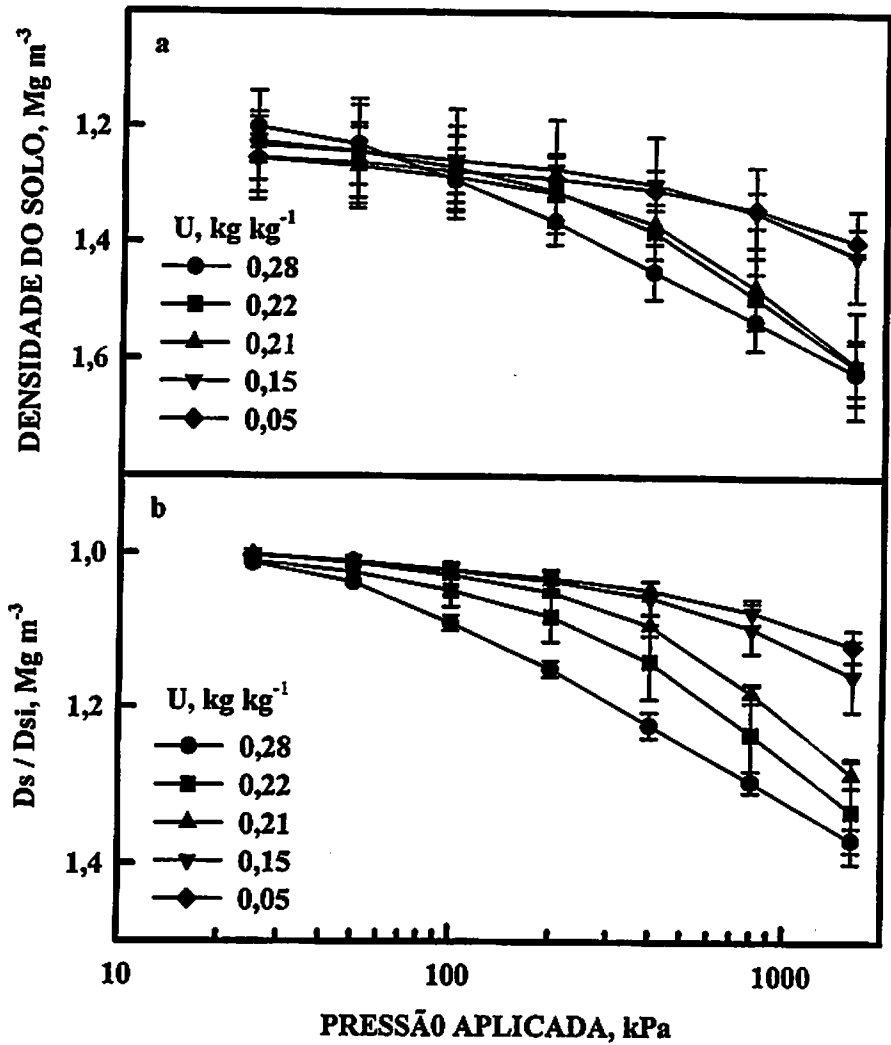


FIGURA 5.7. Curvas de compressão (a) e normalizadas (b) do Latossolo Vermelho-Amarelo sob mata natural, na profundidade de 27-30 cm, sob diferentes umidades gravimétricas, médias de três repetições (as barras de erro representam o desvio padrão da média).

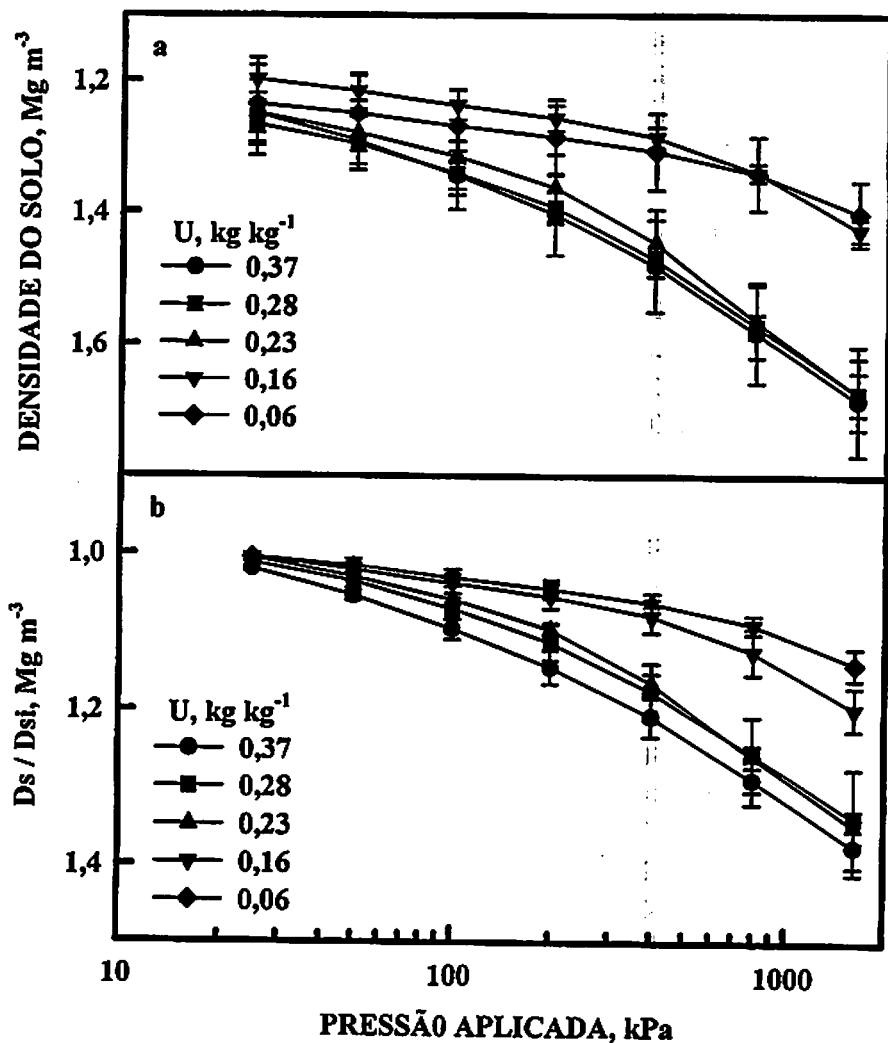


FIGURA 5.8. Curvas de compressão (a) e normalizadas (b) do Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagem, na profundidade de 0-3 cm, sob diferentes umidades gravimétricas, médias de três repetições (as barras de erro representam o desvio padrão da média).

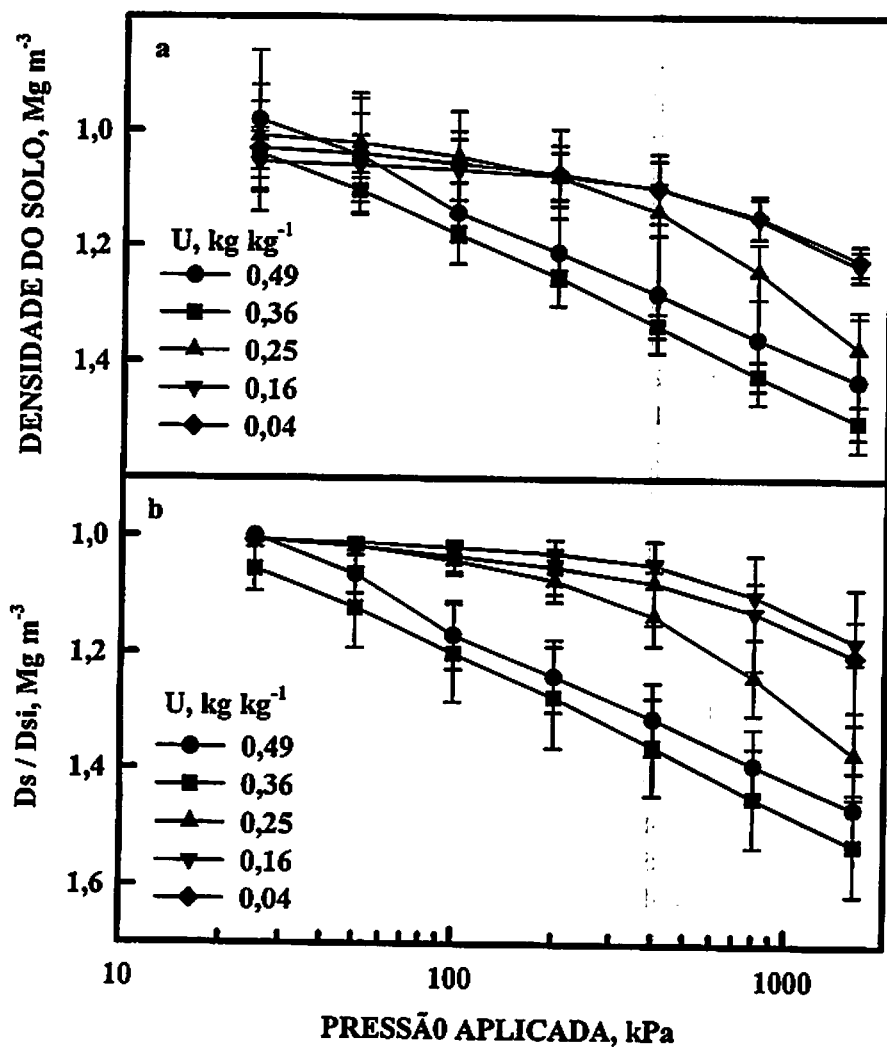


FIGURA 5.10. Curvas de compressão (a) e normalizadas (b) do Latossolo Roxo sob cultura anual, na profundidade de 0-3 cm, sob diferentes umidades gravimétricas, médias de três repetições (as barras de erro representam o desvio padrão da média).

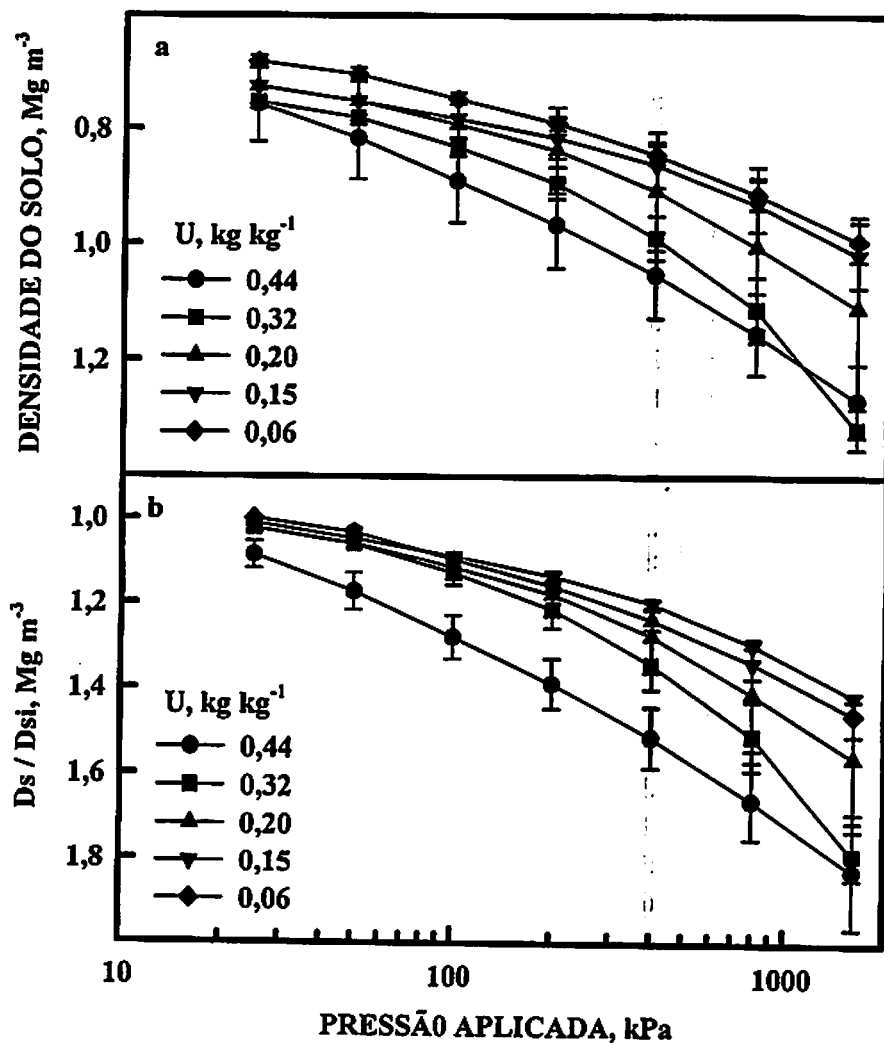


FIGURA 5.12. Curvas de compressão (a) e normalizadas (b) do Latossolo Roxo sob mata natural, na profundidade de 0-3 cm, sob diferentes umidades gravimétricas, médias de três repetições (as barras de erro representam o desvio padrão da média).

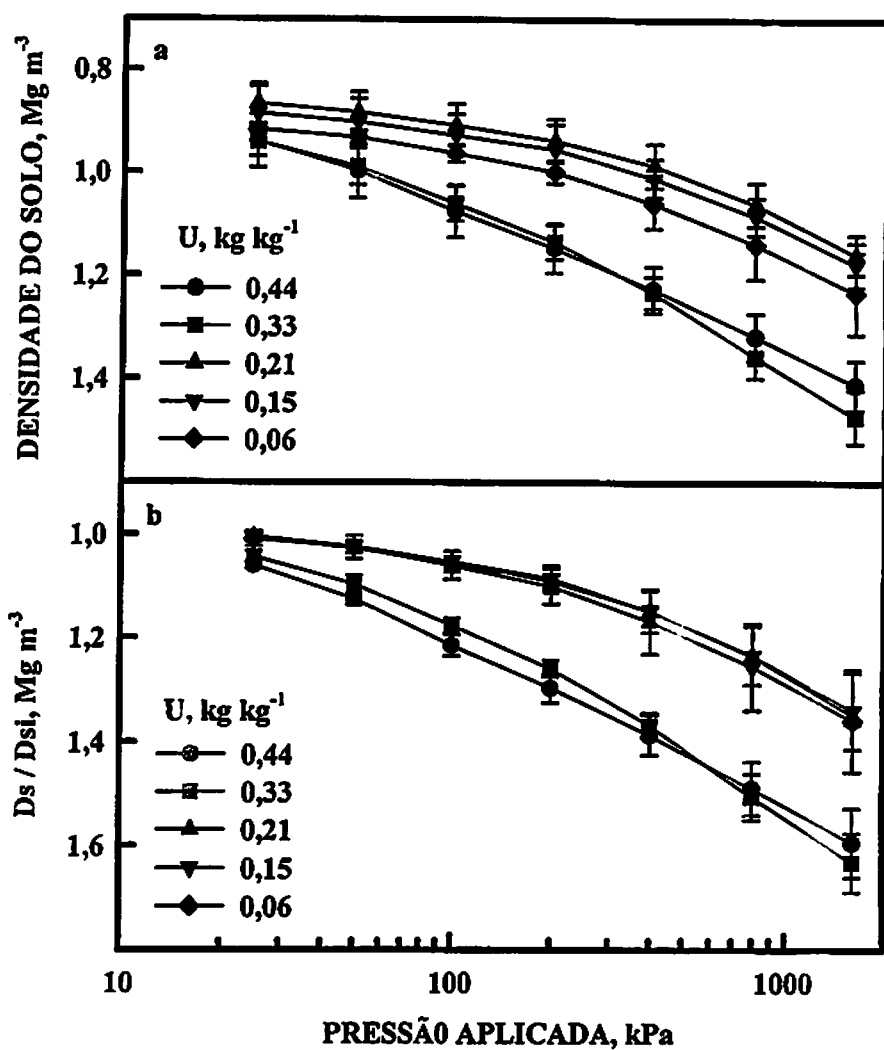


FIGURA 5.13. Curvas de compressão (a) e normalizadas (b) do Latossolo Roxo sob mata natural, na profundidade de 27-30 cm, sob diferentes umidades gravimétricas, médias de três repetições (as barras de erro representam o desvio padrão da média).

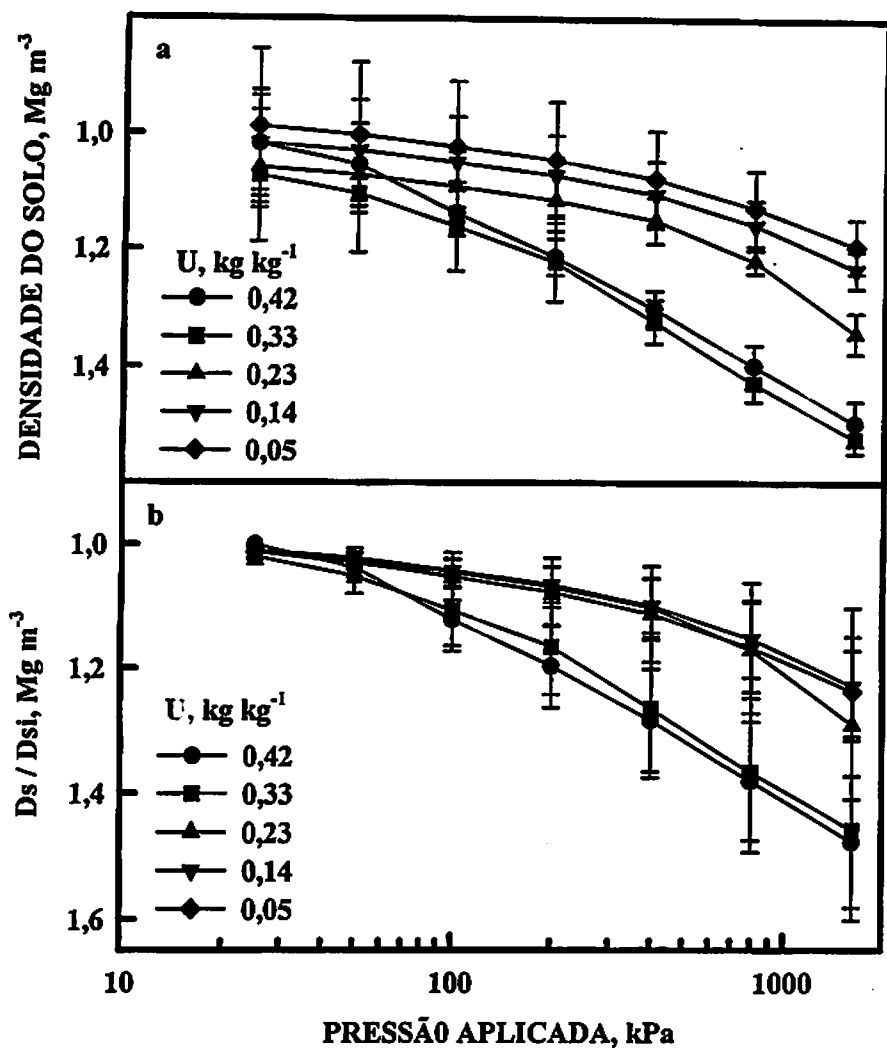


FIGURA 5.15. Curvas de compressão (a) e normalizadas (b) do Latossolo Roxo sob pastagem, na profundidade de 27-30 cm, sob diferentes umidades gravimétricas, médias de três repetições (as barras de erro representam o desvio padrão da média).

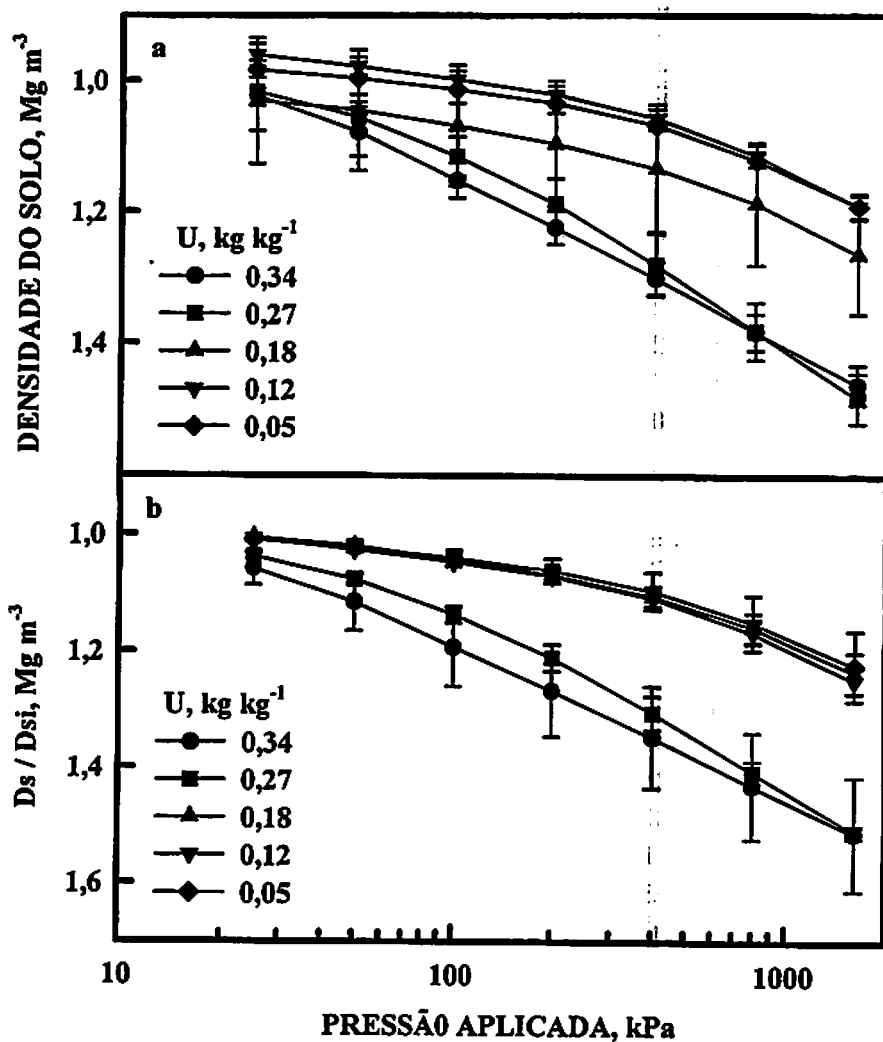


FIGURA 5.16. Curvas de compressão (a) e normalizadas (b) do Latossolo Vermelho-Escuro sob cultura anual, na profundidade de 0-3 cm, sob diferentes umidades gravimétricas, médias de três repetições (as barras de erro representam o desvio padrão da média).

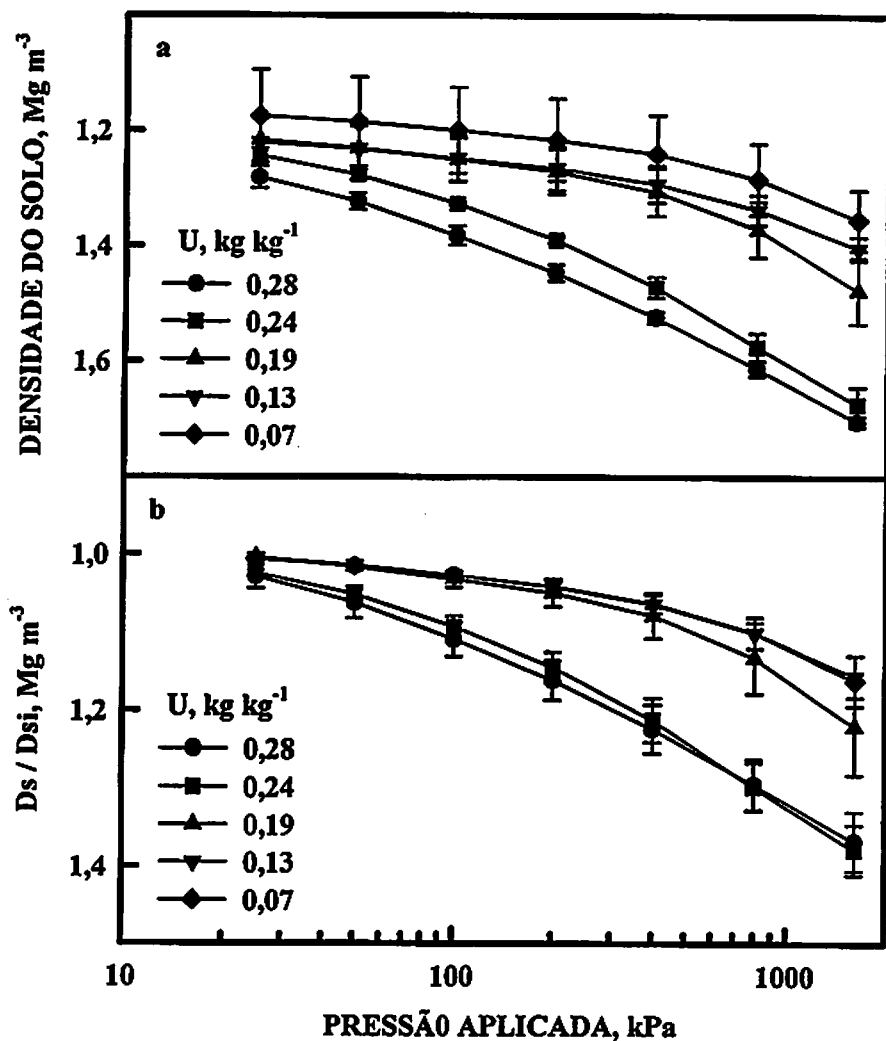


FIGURA 5.19. Curvas de compressão (a) e normalizadas (b) do Latossolo Vermelho-Escuro sob mata natural, na profundidade de 27-30 cm, sob diferentes umidades gravimétricas, médias de três repetições (as barras de erro representam o desvio padrão da média).

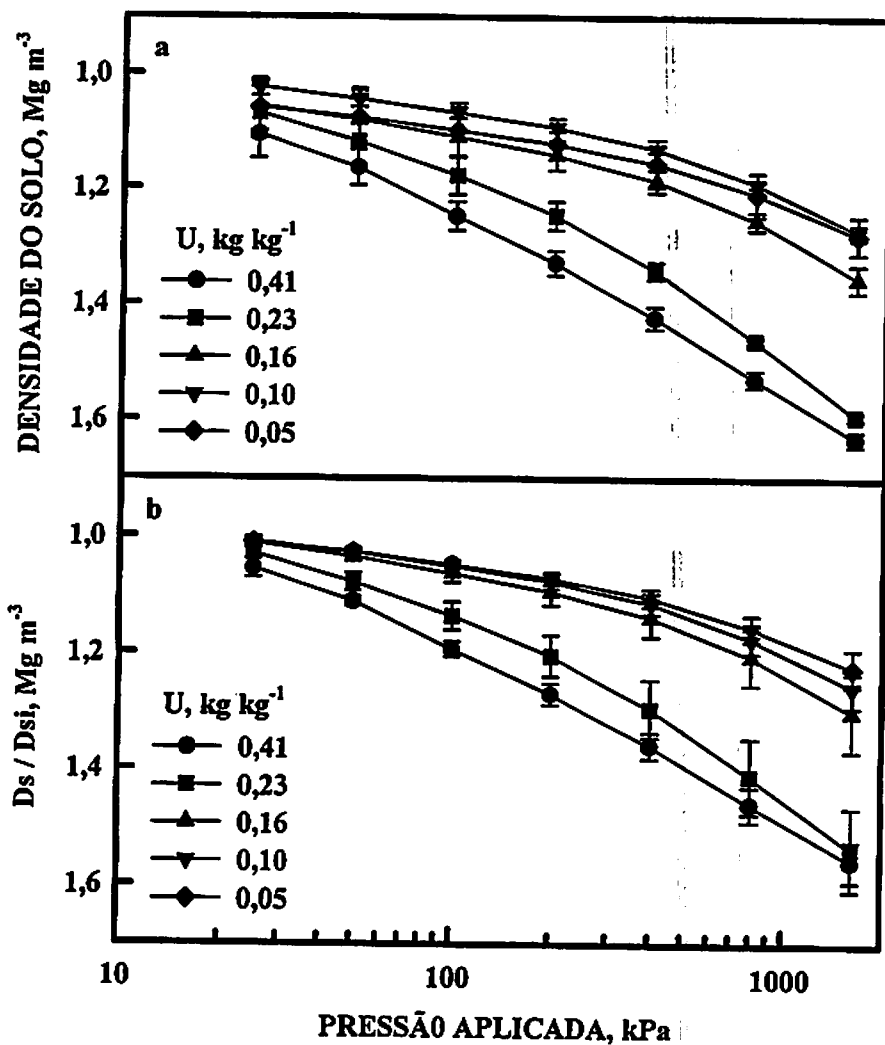


FIGURA 5.20. Curvas de compressão (a) e normalizadas (b) do Latossolo Vermelho-Escuro sob pastagem, na profundidade de 0-3 cm, sob diferentes umidades gravimétricas, médias de três repetições (as barras de erro representam o desvio padrão da média).

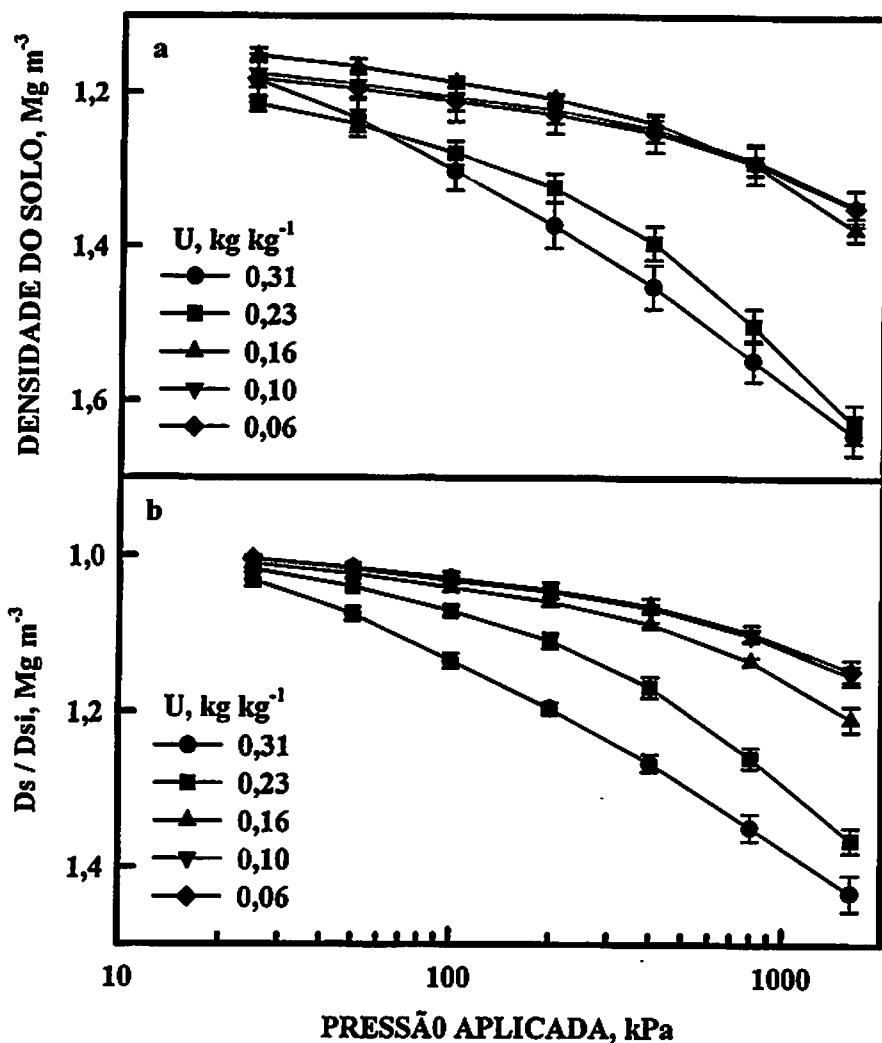


FIGURA 5.21. Curvas de compressão (a) e normalizadas (b) do Latossolo Vermelho-Escuro sob pastagem, na profundidade de 27-30 cm, sob diferentes umidades gravimétricas, médias de três repetições (as barras de erro representam o desvio padrão da média).

O teor de umidade foi o principal fator regulador do comportamento compressivo do solo (Figuras 5.4 a 5.21). Larson, Gupta e Useche (1980) citam que à medida que a umidade do solo aumenta, as curvas de compressão são geralmente deslocadas para a esquerda e para baixo, sendo as retas de compressão virgem paralelas umas às outras, indicando um aumento da suscetibilidade do solo à compactação com o aumento da umidade do solo. Tal deslocamento da curva de compressão do solo para baixo com o aumento do teor de umidade não ocorreu para as condições deste estudo (Figuras 5.4a a 5.21a). Este fato pode ser atribuído aos diferentes valores das D_s , as quais deslocaram a curva de compressão do solo para cima ou para baixo em relação ao eixo das pressões aplicadas, mostrando o efeito do manejo na mesma, o que dificultou a visualização do efeito do teor de umidade na curva de compressão do solo.

Para verificar somente o efeito da umidade na curva de compressão do solo, os valores das D_s do final de cada estágio de pressão aplicada foram normalizados, ou seja, foram divididos pela D_s , eliminando o efeito da mesma na curva de compressão do solo. Pode-se, então, visualizar o efeito da umidade do solo sobre esta. Desta forma, as curvas de compressão do solo deslocaram-se para a esquerda e para baixo, à medida que o teor de umidade aumentou (Figuras 5.4b a 5.21b), conforme observação de Larson, Gupta e Useche (1980), mas sem que ocorresse o paralelismo entre as retas de compressão virgem.

Finalmente, as curvas de compressão do solo foram também alteradas pelas respectivas D_s , as quais foram influenciadas pelo manejo e pelo teor de umidade. Para os teores de umidade compreendidos na faixa de friabilidade, as curvas de compressão do solo foram em geral coincidentes ou apresentaram as retas de compressão virgem aproximadamente paralelas, indicando uma deformação similar para uma determinada pressão aplicada (Figuras 5.6, 5.8 a 5.11 e 5.13 a 5.16). Entretanto, para ambas as profundidades, as curvas de compressão obtidas para teores de umidade maiores do que o LP apresentaram



uma baixa σ_p e, conseqüentemente, uma baixa capacidade de suporte de carga. Porém, à medida que as curvas de compressão eram obtidas para umidades menores do que o LP, as retas de compressão virgem não eram mais paralelas e a curva de compressão secundária ficava mais evidenciada, mostrando um aumento da σ_p com a redução da umidade. Todavia, em qualquer condição, se pressões maiores do que σ_p correspondente forem aplicadas aos solos para qualquer teor de umidade, a probabilidade do processo da compactação ocorrer é grande, devido à destruição da estrutura do solo.

5.4 CONCLUSÕES

Variações nas propriedades físicas e mecânicas do solo, induzidas pelo manejo, alteraram o seu comportamento compressivo.

A umidade alterou a forma das curvas de compressão do solo sendo que o seu aumento deslocou as curvas de compressão para baixo e para a esquerda, enquanto a Ds_i controlou a posição das mesmas em relação ao eixo das tensões aplicadas.

Os parâmetros (Ds_i , σ_p , Ds_{σ_p} e m) definiram as curvas de compressão dos solos estudados.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, R.C.; FIGUEIREDO, A.F.; OLIVEIRA, W.; FREIRE, J.C. Armazenamento de água em um Podzólico Vermelho-Amarelo sob pastagem e cultivo anual. *Ciência e Prática*, Lavras, v.7, n.1, p.48-57, jan./jun. 1983.
- BARNES, K.K.; CARLETON, W.M.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R.I.; VANDEN BERG, G.E. *Compaction of agricultural soils*. ASAE: St. Joseph, 1971. (Monograph)
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. *Física de suelos*. México: Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana, 1973. 529p.
- BICKI, T.J.; SIEMENS, J.C. Crop response to wheel traffic soil compaction. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.34, n.3, p.909-913, May/June 1991.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.). *Methods of soil analysis: part 1, physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 1986. Cap. 13, p.363-375. (Agronomy, 9)
- BOWLES, J.E. *Engineering properties of soils and their measurements*. 2.ed., Auckland: McGraw-Hill, 1978.
- BOWLES, J.E. *Engineering properties of soils and their measurements*. 3.ed., Auckland: McGraw-Hill, 1986.
- CASAGRANDE, A. The determination of the preconsolidation load and its practical significance. In: CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, *Proceedings of the ICSMFE*, Cambridge, Mass., June, 22-26, v.3, p.60-64, 1936.
- CULLEY, J.L.B.; LARSON, W.E. Susceptibility to compression of a Clay Loam Haplaquoll. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.51, n.3, p.562-567, May/June 1987.

- 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)
- DIAS JUNIOR, M. de S. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic.** East Lansing: Michigan State University, 1994. 114p. (Dissertação de Doutorado)
- DIAS JUNIOR, M. de S. Uso da história de tensão e da variação da umidade como instrumentos para evitar a compactação adicional do solo. In: **WORKSHOP SOBRE AVALIAÇÃO E MANEJO DE RECURSOS NATURAIS EM ÁREA DE EXPLORAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR, 1,** Aracaju, 1997. **Palestras...** Aracaju: Embrapa-CPATC, 1997, p.67-81.
- DIAS JUNIOR, M. de S.; PIERCE, F.J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology,** Amsterdam, v.8, p.139-151, 1995.
- DIAS JUNIOR, M. de S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Campinas, v.20, n.2, p.175-182, maio/ago. 1996.
- GROHMANN, F.; QUEIROZ NETO, J.P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. **Bragantia,** Campinas, v.25, n.38, p.421-431, dez. 1966.
- GUPTA, S.C.; HADAS, A.; VOORHEES, W.B.; WOLF, D.; LARSON, W.E.; SCHNEIDER, E.C. **Development of quids for estimating the ease of compaction of world soils.** Bet Dagan, Israel: Binational Agric. Res. Development, University of Minnesota, 1985. 178p. (Research Report).
- HILL, R.L.; MEZA-MONTALVO, M. Long-term wheel traffic effects on soil physical properties under different tillage systems. **Soil Science Society of America Journal,** Madison, v.54, n.3, p.865-870, May/June 1990.
- HILLEL, D. **Introduction to Soil Physics.** San Diego: Academic Press, 1982. 365p.
- HOLTZ, R.D.; KOVACS, W.D. **An introduction to geotechnical engineering.** Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1981.

- LARSON, W.E.; BLAKE, G.R.; ALLMARAS, R.R.; VOORHEES, W.B.; GUPTA, S.C. **Mechanics and related processes in structured agricultural soils.** The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1989. 273p. (Nato Applied Science, 172).
- LARSON, W.E.; GUPTA, S.C.; USECHE, R.A. **Compression of agricultural soils from eight soils orders.** *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.44, n.3, p.450-457, May/June 1980.
- LEBERT, M.; HORN, R. **A method to predict the mechanical strength of agricultural soils.** *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.19, n.2, p.275-276, 1991.
- LEONARDS, G.A. **Foundation engineering.** New York: McGraw-Hill, 1962.
- MORAES, W.V. de. **Comportamento de características e propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro, submetido a diferentes sistemas de cultivos.** Lavras: ESAL, 1984. 107p. (Tese de Mestrado)
- MOURA FILHO, W.; BUOL, S.W. **Studies of a Latosol Roxo (Eustrutox) in Brazil.** *Experientiae*, Viçosa, v.130, n.7, p.201-234, abr. 1972.
- ODELL, R.T.; THORNBURN, T.H.; McKENSIE, L.J. **Relationships of Atterberg limits to some other properties of Illinois soils.** *Proceedings of Soil Science Society of America*, Madison, v.24, p.297-300, 1960.
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento.** 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.
- OLIVEIRA, M.; CURL, N.; FREIRE, J.C. **Relações massa/volume em Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa da região de Lavras (MG) sob pastagem e cultivo anual.** *Ciência e Prática*, Lavras, v.7, n. 1, p.66-74, jan./jun. 1983.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade.** Campinas, Instituto Agrônomo, 1983. (Boletim Técnico, 81).
- RANDO, E.M.; ANDRADE, H.; FREIRE, J.C. **Alterações na consistência e textura de um Latossolo Roxo Distrófico, ocasionadas pelo cultivo convencional.** *Ciência e Prática*, Lavras, v.5, n.1, p.40-47, jan./jun. 1981.

- ROSA JÚNIOR, E.J.** Efeito de sistemas de manejo e tempo de uso sobre características físicas e químicas de dois solos de Ponta Porã. Viçosa: UFV, 1984. 89p. (Tese de Mestrado)
- SILVA, A.C.; LIMA, J.M. de; CURI, N.** Relação entre voçorocas, uso da terra, solo e materiais de origem da região de Lavras (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.17, n.3, p.459-464, set./dez. 1993.
- SILVA, A.P. da; 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.
- SMITH, C.W.; JOHNSTON, M.A., LORENTZ, S.** Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. I. The effect of soil type, water content and applied pressure on uni-axial compaction. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.41, n.1,2, p.53-73, Mar. 1997.
- SMUCKER, A.J.M.; ERICKSON, A.E.** Tillage and compactive modifications of gaseous flow and soil aeration. In: **LARSON, W.E.; BLAKE, G.R.; ALLMARAS, R.R.; VOORHEES, W.B.; GUPTA, S.C.** *Mechanics and related processes in structured agricultural soils*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, v.172, p.205-221. 1989. (NATO applied sciences)
- 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)
- STONE, R.J.; EKWUE, E.I.** Maximum bulk density achieved during soil compaction as affected by the incorporation of three organic materials. *American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, v.36, n.6, p.1713-1719, nov./dec., 1993.
- TAYLOR, H.M.** Effects os soil strength on seedling emergence, root growth and crop yield. In: **BARNES, K.K.; CARLETON, W.M.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R.I.; VANDENBERG, G.E.** *Compaction of agricultural soils*. St. Joseph: ASAE, 1971, p.292-305. (Monograph)

TROUSE JR., A.C. Present knowledge and need for research. In: BARNES, K.K.; CARLETON, W.M.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R.I.; VANDENBERG, G.E., **Compaction of agricultural soils**. St. Joseph: ASAE, 1971, p.225-240. (Monograph)

WARKENTIN, B.P. Effects of compaction on content and transmission of water in soils. In: BARNES, K.K.; CARLETON, W.M.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R.I.; VANDENBERG, G.E., **Compaction of agricultural soils**. St. Joseph: ASAE, 1971, p.126-153. (Monograph)

6 CAPÍTULO II

INFLUÊNCIA DA HISTÓRIA DE TENSÃO E DA UMIDADE NA COMPRESSIBILIDADE DE TRÊS LATOSSOLOS SOB DIFERENTES USOS

RESUMO

Através da análise da compressibilidade, foram estudados o efeito do manejo e da umidade na pressão de preconsolidação (σ_p) de três solos: Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho-Escuro sob cultura anual, mata natural e pastagem, na região de Lavras (MG). Para tanto, foram coletadas amostras indeformadas e deformadas em duas profundidades (0-3 e 27-30 cm) com três repetições. As amostras indeformadas foram utilizadas no ensaio de compressão uniaxial sob diferentes umidades, determinando-se então as curvas de compressão, extraíndo-se das mesmas as respectivas pressões de preconsolidação. A partir das amostras deformadas, determinaram-se os limites de plasticidade e de contração. Os modelos testados de compactação, baseados na história de tensão do solo, são uma função da pressão de preconsolidação e do teor de umidade do solo. O aumento da umidade do solo levou ao decréscimo da pressão de preconsolidação, indicando uma redução na capacidade de suporte de carga do mesmo. O teor de umidade do solo correspondente ao limite de plasticidade pode ser usado no campo como uma inferência do teor de umidade máximo, no qual as operações motomecanizadas podem ser realizadas sem causar compactação. Os solos sob a condição de cultura anual foram mais suscetíveis à compactação do que aqueles sob mata natural e pastagem, devido à sua menor capacidade de suporte de carga para uma mesma faixa de umidade. O modelo baseado na história de tensão do solo evidenciou o efeito da compactação causada pelas máquinas de preparo do solo na camada de 27-30 cm, enquanto que para a pastagem ficou demonstrado o efeito do pisoteio do gado na camada superficial de 0-3 cm.

ABSTRACT

INFLUENCE OF THE STRESS HISTORY AND OF THE MOISTURE IN THE COMPRESSIBILITY OF THREE LATOSOLS (OXISOLS) UNDER DIFFERENT USES

Through the analysis of the compressibility of soils under different uses, the effect of the management and moisture content in the preconsolidation pressure (σ_p) of three soils: Red-Yellow Latosol (LV), Dusky Red Latosol (LR) and Dark-Red Latosol (LE), under annual crop, natural forest and pasture in the region of Lavras (MG) was studied. Those were collected as undisturbed and disturbed soil samples in two depths (0-3 and 27-30 cm) with three repetitions. The undisturbed soil samples were utilized in the analysis of uniaxial compression under different moisture contents, thus determining the compression curves and extracting the respective preconsolidation pressures from the same ones. Starting the disturbed samples, the plastic limits and shrinkage were determined. It was observed that the variations in the physical and mechanical properties of the soils, induced by soil management, altered the compressive behavior of the same. The models obtained in this study were similar to the ones suggested by Dias Junior (1994) and Dias Junior and Pierce (1996). These models of compaction were based on the stress history of the soil as a function of its preconsolidation pressure and moisture content. The increase of soil moisture caused a logarithmic decrease in the preconsolidation pressure, indicating a reduction in the load support capacity of the same in whole of the cases studied. The moisture content of the soil corresponding to the plastic limit could be used at the field level as an inference of the maximum moisture in which the field operations could be accomplished. Soils under the condition of annual crop were more susceptible to compaction than those under natural forest and pasture, due to their smallest load support capacity in the same moisture range. The model based on the stress history of the soil evidenced the effect of the compaction caused by the soil preparing machines in the layer of 27-30 cm, while for the pasture the effect of trampling of the cattle was demonstrated in the superficial layer of 0-3 cm.

6.1 INTRODUÇÃO

Com a intensa utilização de tecnologias voltadas à motomecanização das operações agrícolas, o processo de compactação do solo tornou-se, conseqüentemente, um importante fator limitante na obtenção de maiores índices de produtividade das culturas.

⇒ A suscetibilidade do solo à compactação torna-se crítica em condições de umidade excessiva, tornando-se necessária a determinação do limite de umidade para o solo ser arado ou trafegado. Esta suscetibilidade permite estimar quantitativamente o prejuízo causado à sua estrutura quando as pressões aplicadas excederem a capacidade de suporte do mesmo.

A curva de compressão do solo tem sido usada como a base para este entendimento (Dias Junior, 1994; Dias Junior e Pierce, 1996), pois representa graficamente a relação entre o logaritmo da pressão aplicada e algum parâmetro relacionado com o estado de empacotamento do solo, mais freqüentemente a densidade do solo (Ds) e/ou o índice de vazios (Casagrande, 1936; Leonards, 1962; Holtz e Kovacs, 1981; Smith, Johnston e Lorentz, 1997).

Quando o solo não sofreu nenhuma pressão prévia, esta relação teoricamente é linear e a aplicação de qualquer pressão resultará em deformações não recuperáveis (Larson e Gupta, 1980; Larson, Gupta e Useche, 1980; Culley e Larson, 1987; Gupta e Allmaras, 1987; Lebert e Horn, 1991; Dias Junior e Pierce, 1995). Entretanto, quando o solo já experimentou pressões prévias, a variação de pressões nele resultará em alguma deformação que pode ser relativamente pequena e recuperável ou não recuperável (Stone e Larson, 1980; Gupta, Hadas e Schafer, citados por Larson et al., 1989; Lebert e Horn,

1991; Dias Junior e Pierce, 1995).

A pressão de preconsolidação (σ_p) tem sido usada para indicar o ponto de separação entre os dois casos acima citados. Assim, σ_p divide a curva de compressão do solo em duas regiões, sendo uma onde ocorrem deformações pequenas, elásticas e recuperáveis (curva de compressão secundária) e outra região onde predominam deformações plásticas e não recuperáveis (reta de compressão virgem) (Holtz e Kovacs, 1981; Dias Junior e Pierce, 1995).

Embora se tenha um vasto esclarecimento do processo de compactação (Barnes et al., 1971; Gupta e Allmaras, 1987; Gupta, Hadas e Schafer, citados por Larson et al., 1989), existem poucos estudos que quantificam o efeito da variação de umidade na compressão do solo (Dias Junior, 1994), principalmente para as condições brasileiras (Dias Junior e Pierce, 1996).

Os modelos usados para a avaliação da compactação têm dado ênfase à reta de compressão virgem, a qual define as deformações plásticas e não recuperáveis, sendo geralmente bem descritas para altos graus de umidade (Larson e Gupta, 1980; Gupta et al., 1985; Horn, citado por Larson et al., 1989). Porém, para deformações plásticas ocorrerem, deve-se ter uma umidade do solo elevada, acompanhada ou não, por pressões excessivas. Portanto, é na região de deformações elásticas e recuperáveis (curva de compressão secundária) que o solo deve ser cultivado, evitando maiores prejuízos à sua estrutura. É essa parte da curva de compressão do solo que reflete a história de tensão do mesmo, o qual vem sendo pouco empregado na agricultura (Dias Junior, 1994).

A σ_p tem sido utilizada como uma indicadora da máxima pressão sustentada pelo solo no passado (Holtz e Kovacs, 1981; Dias Junior, 1994; Dias Junior e Pierce, 1995) definindo, assim, o limite entre as deformações elásticas e as plásticas na curva de compressão do solo. Portanto, na agricultura, a aplicação de uma pressão que seja superior à maior pressão previamente aplicada ao solo deve ser evitada (Gupta, Hadas e Schafer, citados por Larson et al., 1989; Lebert

e Horn, 1991) para que deformações não recuperáveis possam ser evitadas.

Assim, deve-se buscar a aplicação de pressões até o limite da σ_p , prevenindo o solo de uma compactação adicional ou de uma degradação estrutural. Portanto, um modelo que considere σ_p como um indicador da capacidade de suporte de carga do solo pode formar a base para que sua compactação/degradação estrutural possa ser evitada, principalmente em condições brasileiras, onde se tem uma carência evidente de estudos que indiquem qual a σ_p dos solos agricultáveis (Dias Junior e Pierce, 1996).

Baseado nestas considerações, este estudo teve como objetivo testar modelos semelhantes aos propostos por Dias Junior (1994) e Dias Junior e Pierce (1996) para as condições dos solos da região de Lavras (MG) sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem, sendo o primeiro baseado na reta de compressão virgem e o segundo na história de tensão do solo, onde obtém-se a máxima pressão que deve ser aplicada a ele, evitando-se uma compactação adicional.

6.2. MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Solos

Para a realização deste estudo, foram utilizados três solos, submetidos às condições de cultura anual, mata natural e pastagem:

1) Latossolo Vermelho-Amarelo (LV):

a) Sob cultura anual: localizado no município de Ijaci (MG), Fazenda da

FAEPE, quilômetro 1 da rodovia Ijaci-Macaia, 21°09'38"S e 44°55'05"W Gr.;

b) Sob mata natural: localizado no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), próximo a área cultivada com café, 21°13'33"S e 44°57'35"W Gr.;

c) Sob pastagem: localizado no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), próximo a área cultivada com café, 21°13'33"S e 44°57'37"W Gr.

2) Latossolo Roxo (LR):

a) Sob cultura anual: localizado no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), próximo ao prédio da Biblioteca Central, 21°13'42"S e 44°58'37"W Gr.;

b) Sob mata natural: localizado no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), próximo à Garagem/Oficina Mecânica do campus, 21°13'38"S e 44°58'18"W Gr.;

c) Sob pastagem: localizado no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), próximo ao Departamento de Zootecnia, 21°13'50"S e 44°57'59"W Gr.

3) Latossolo Vermelho-Escuro (LE):

a) Sob cultura anual: localizado no quilômetro 6 da rodovia Lavras-Ijaci, 21°11'31"S e 44°57'44"W Gr.;

b) Sob mata natural: localizado no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), próximo à subestação da EPAMIG, 21°13'11"S e 44°57'57"W Gr.;

c) Sob pastagem: localizado no quilômetro 6 da rodovia Lavras-Ijaci, 21°11'37"S e 44°57'57"W Gr.

O estudo englobou, assim, o LV e o LE, que são os solos de maior extensão da região em estudo (Silva, Lima e Curi, 1993) e o LR que embora tenha uma área pouco expressiva na região, possui grande significado agrícola

(Oliveira, Jacomine e Camargo, 1992).

6.2.2 Amostragem

Na condição de cultura anual, foram coletadas aleatoriamente quinze amostras indeformadas e nove amostras deformadas, antes do preparo do solo. Na condição de pastagem e de mata natural, foram também coletadas aleatoriamente em cada uma, quinze amostras indeformadas e nove deformadas, buscando-se a maior representatividade possível de cada condição.

⇒ A amostragem foi realizada nas profundidades de 0-3 cm e 27-30 cm, com três repetições, sendo as amostras indeformadas obtidas através do uso de um amostrador de Uhland, com anel volumétrico de 6,40 cm de diâmetro por 2,54 cm de altura.

6.2.3 Análises de laboratório

As amostras deformadas foram submetidas às análises de limite de plasticidade, limite de liquidez (Sowers, 1986) e limite de contração (Bowles, 1978).

As amostras indeformadas foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial, de acordo com Bowles (1986) modificada por Dias Junior (1994), obtendo-se a D_s ao final de cada estágio de aplicação de carga, de acordo com Blake e Hartge (1986).

Procedeu-se a simulação dos diferentes teores de umidade utilizando-se amostras indeformadas inicialmente saturadas, as quais foram secas ao ar no laboratório até se obter a umidade desejada, com três repetições.

Após a obtenção da umidade desejada, as amostras foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial usando um consolidômetro da marca Boart

Longyear, cuja aplicação das pressões se faz através da utilização de ar comprimido. As pressões aplicadas a cada amostra obedeceram a seguinte ordem: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa, sendo cada uma aplicada até que 90% da deformação máxima fosse alcançada (Holtz e Kovacs, 1981) e somente então é que se aplicou uma nova pressão.

Após a realização do ensaio, a curva de compressão do solo foi obtida plotando-se a pressão aplicada no eixo das abcissas, versus a D_s correspondente no eixo das ordenadas.

A partir das curvas de compressão, obteve-se as σ_p , de acordo com Dias Junior e Pierce (1995), as quais foram plotadas em função das umidades simuladas em laboratório, chegando-se aos modelos de compactação baseados na história de tensão. Para a obtenção do modelo baseado na reta de compressão virgem, plotaram-se as D_s com os valores correspondentes de σ_p e 1.600 kPa.

⇒ O valor de m foi estimado como sendo a inclinação da reta de compressão virgem (Bradford e Gupta, 1986).

6.2.4 Análises estatísticas

As equações de regressão foram obtidas utilizando-se o software Sigma Plot, versão 2.0 (Jandel Corporation, P. O. Box 7005, San Rafael, CA, USA) e a análise de variância das regressões utilizando-se o software Excel para Windows 95, versão 8.0 (Microsoft Corporation, One Microsoft Way, Redmond, Washington, USA).

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando as figuras 6.1 a 6.12, observa-se que σ_p decresce exponencialmente com o teor de umidade gravimétrica do solo (U) e segue o mesmo modelo determinado por Dias Junior (1994) para solos sob condições de clima temperado. Este modelo é da forma:

$$\sigma_p = 10^{(a + bU)}$$

onde, σ_p é a pressão de preconsolidação (kPa), a e b são parâmetros ajustados e U a umidade gravimétrica (kg kg^{-1}). Seus coeficientes variam com o tipo de manejo e/ou condição do solo, tendo seus coeficientes de determinação (R^2) variando de 0,12 a 0,85 (Tabela 6.1), sendo os valores mais baixos para a mata natural. Isso pode ocorrer devido à grande variabilidade espacial da estrutura do solo sob mata, induzida pela ciclagem de material orgânico sobre a superfície, provocando uma desuniformidade na estruturação do solo.

Devido aos baixos valores de R^2 para a mata natural, os valores de σ_p versus U foram ajustados utilizando-se uma equação do primeiro grau, obtendo-se as equações seguintes:

$$\sigma_p = 525,56 - 1.093,88U \text{ para o LV, na profundidade de 0-3 cm;}$$

$$\sigma_p = 667,15 - 1.847,95U \text{ para o LV, na profundidade de 27-30 cm;}$$

$$\sigma_p = 367,54 - 1.117,70U \text{ para o LR, na profundidade de 0-3 cm;}$$

$$\sigma_p = 416,07 - 603,48U \text{ para o LR, na profundidade de 27-30 cm;}$$

$$\sigma_p = 572,45 - 1.299,62U \text{ para o LE, na profundidade de 0-3 cm;}$$

$$\sigma_p = 670,48 - 1.819,82U \text{ para o LE, na profundidade de 27-30 cm.}$$

Sendo $R^2 = 0,88; 0,78; 0,01; 0,52; 0,74$ e $0,70$, respectivamente.

Portanto, o modelo $\sigma_p \times U$ segue uma equação do primeiro grau, conforme sugerido por Dias Junior (1996), devido à ausência de pressões prévias aplicadas ao solo sob mata natural, indicando, assim, a inexistência de história de tensão.

TABELA 6.1. Comparação dos coeficientes das equações de regressão na forma ($\sigma_p = 10^{(a + bU)}$) para a pressão de preconconsolidação (σ_p) e o teor de umidade gravimétrica (U) para os três solos estudados (n = 15 para cada equação de regressão).

Condição	a	b	R ²	a	b	R ²
	0-3 cm			27-30cm		
Latossolo Vermelho-Amarelo						
Cultura anual	2,66	-1,45	0,67**	2,83	-2,44	0,85**
Mata natural	2,77	-1,68	0,79**	3,01	-3,12	0,66**
Pastagem	2,87	-1,73	0,75**	2,93	-3,09	0,71**
Latossolo Roxo						
Cultura anual	2,91	-2,43	0,60**	2,97	-2,09	0,65**
Mata natural	2,63	-0,67	0,12ns	2,68	-1,22	0,53**
Pastagem	2,71	-0,88	0,28*	2,89	-2,22	0,67**
Latossolo Vermelho-Escuro						
Cultura anual	2,91	-2,97	0,75**	2,87	-2,36	0,75**
Mata natural	2,88	-2,27	0,73**	2,99	-2,90	0,68**
Pastagem	2,78	-1,69	0,82**	2,86	-1,98	0,80**

*: significativo ao nível de 5%.

** : significativo ao nível de 1%.

ns: não significativo.

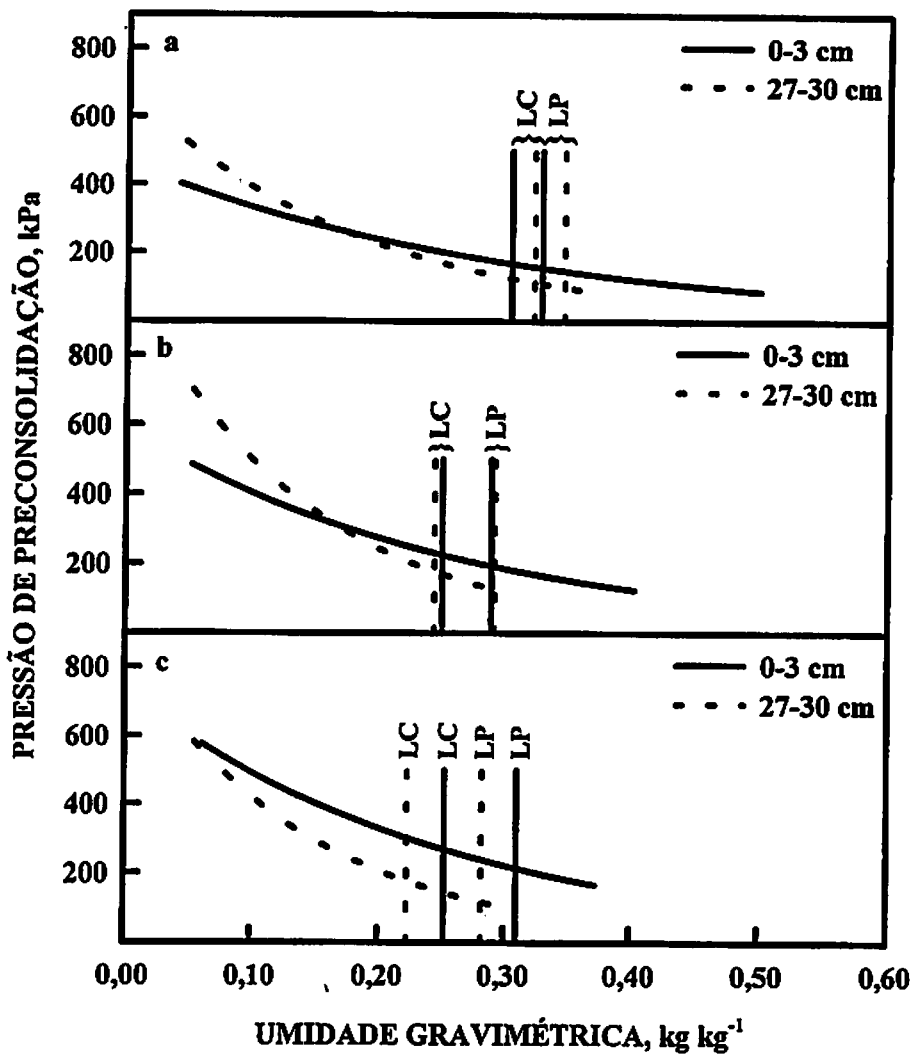


FIGURA 6.1. Relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade gravimétrica para o Latossolo Vermelho-Amarelo sob as condições de cultura anual (a), mata natural (b) e pastagem (c), nas profundidades de 0-3 e 27-30 cm, com os respectivos limites de plasticidade (LP) e contração (LC).

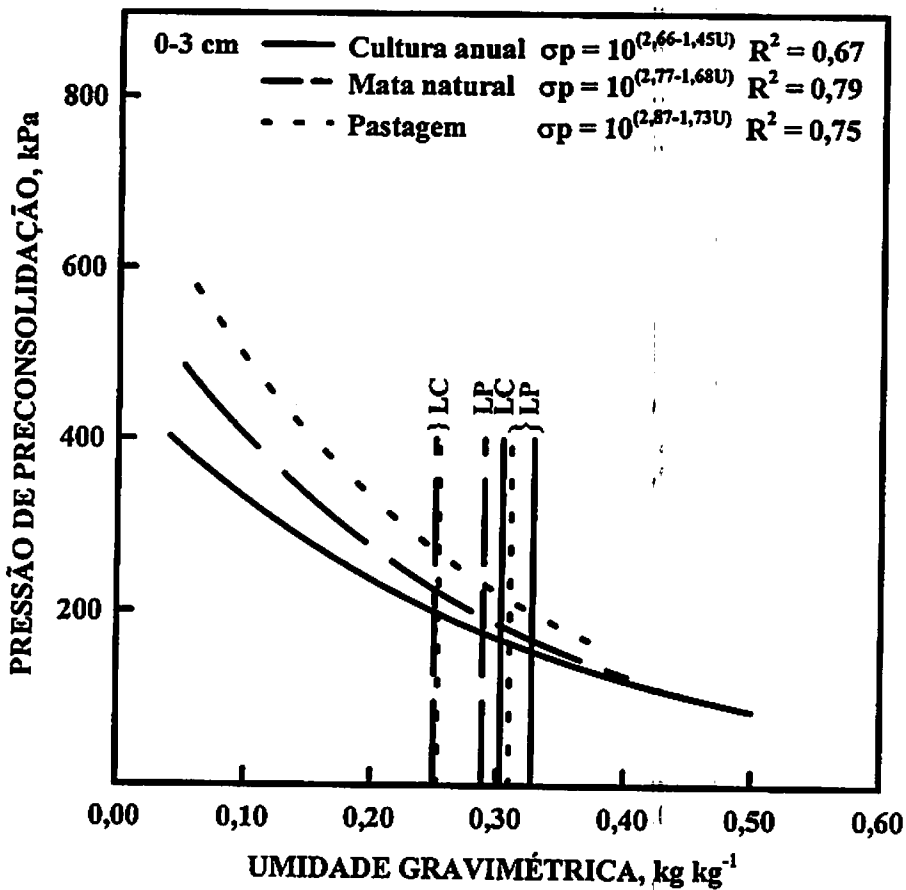


FIGURA 6.2. Relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade gravimétrica para o Latossolo Vermelho-Amarelo sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem, na profundidade de 0-3 cm, com os respectivos limites de plasticidade (LP) e contração (LC).

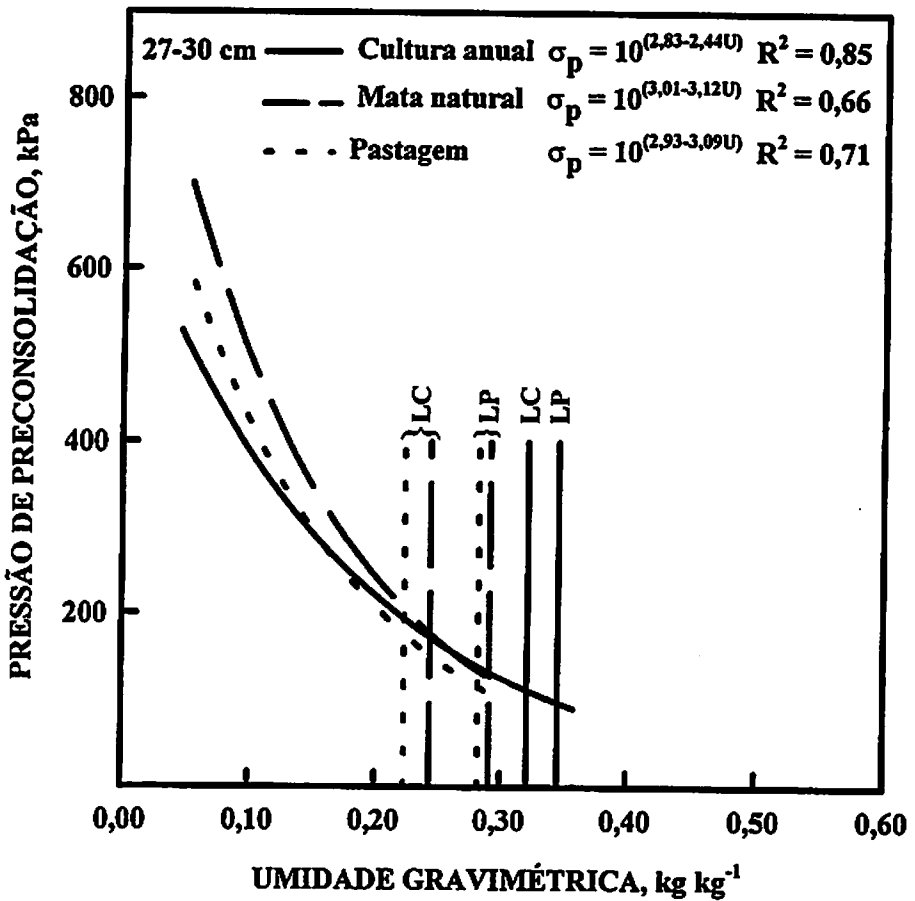


FIGURA 6.3. Relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade gravimétrica para o Latossolo Vermelho-Amarelo sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem, na profundidade de 27-30 cm, com os respectivos limites de plasticidade (LP) e contração (LC).

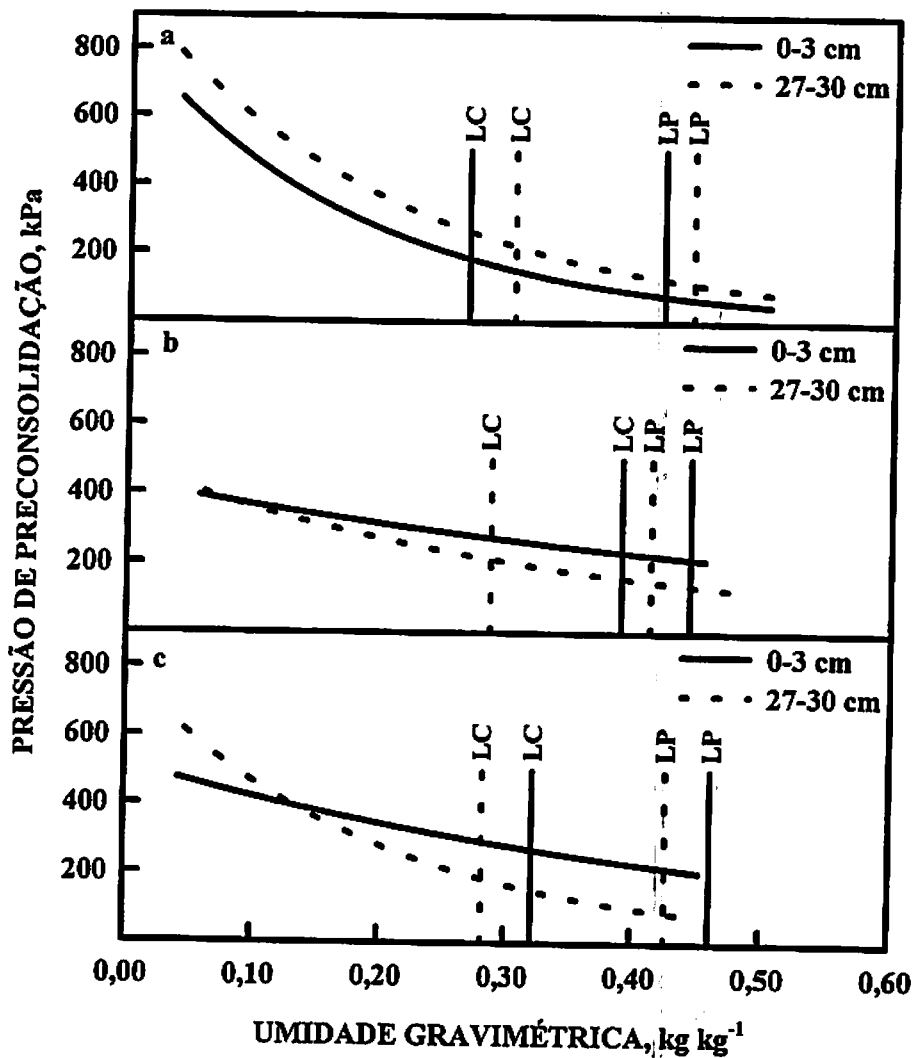


FIGURA 6.4. Relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade gravimétrica para o Latossolo Roxo sob as condições de cultura anual (a), mata natural (b) e pastagem (c), nas profundidades de 0-3 e 27-30 cm, com os respectivos limites de plasticidade (LP) e contração (LC).

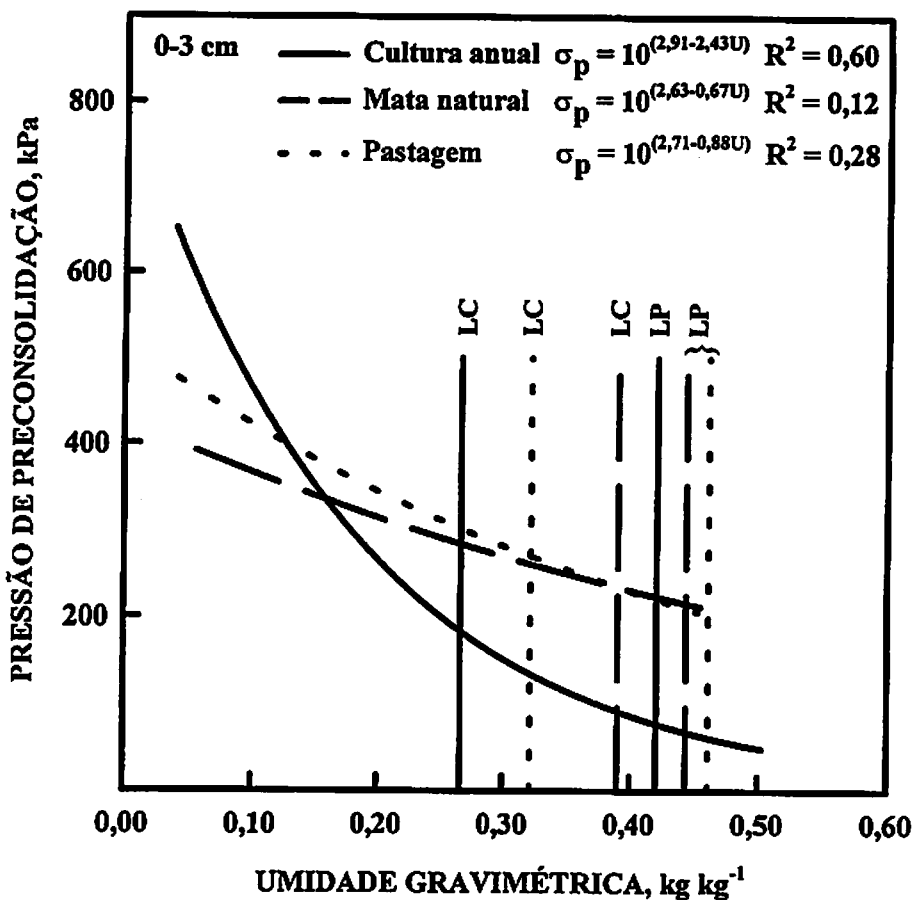


FIGURA 6.5. Relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade gravimétrica para o Latossolo Roxo sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem, na profundidade de 0-3 cm, com os respectivos limites de plasticidade (LP) e contração (LC).

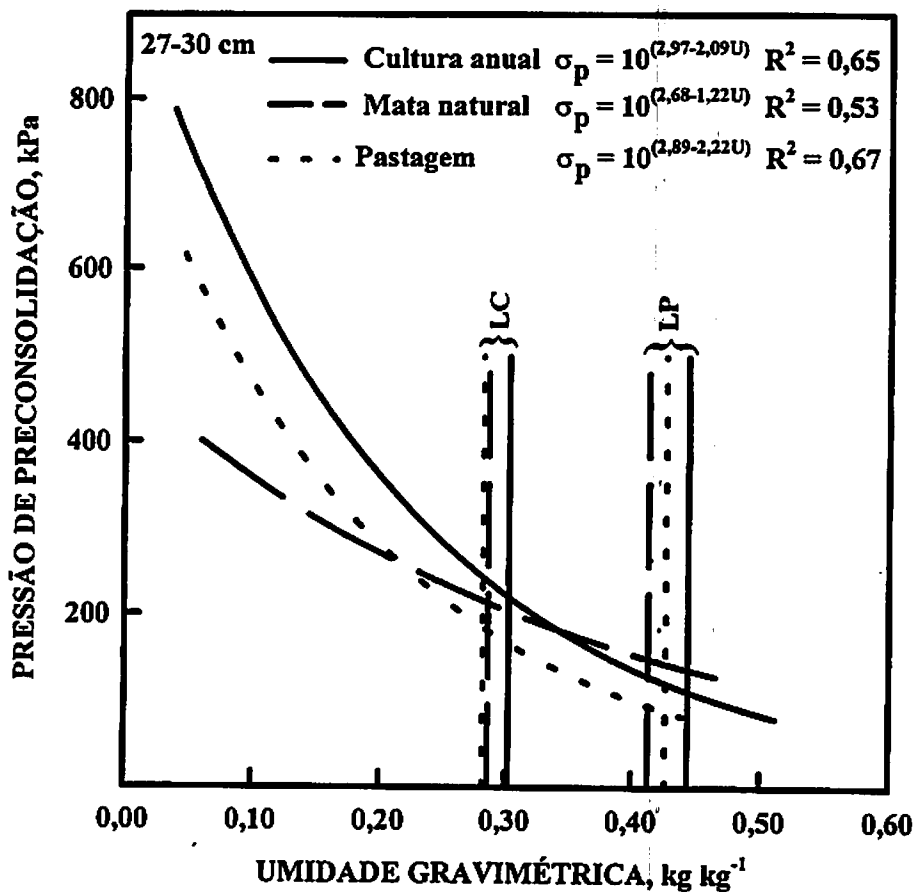


FIGURA 6.6. Relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade gravimétrica para o Latossolo Roxo sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem, na profundidade de 27-30 cm, com os respectivos limites de plasticidade (LP) e contração (LC).

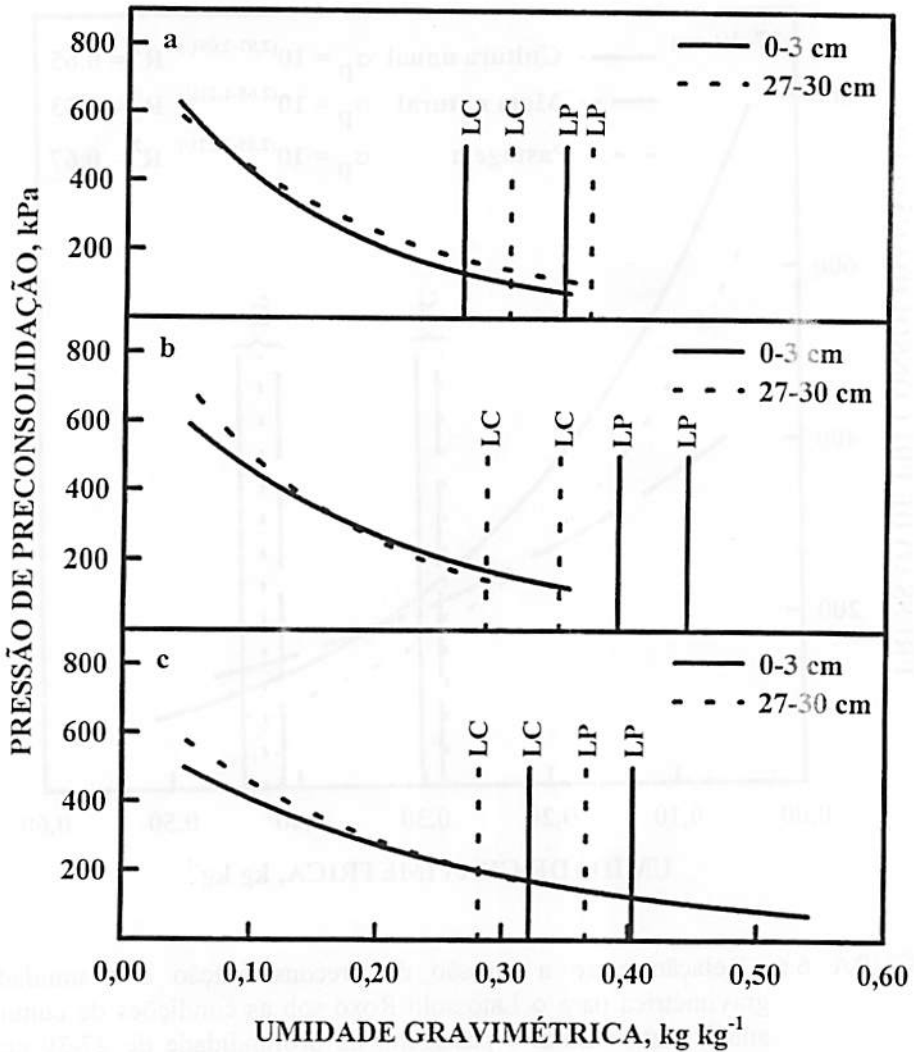


FIGURA 6.7. Relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade gravimétrica para o Latossolo Vermelho-Escuro sob as condições de cultura anual (a), mata natural (b) e pastagem (c), nas profundidades de 0-3 e 27-30 cm, com os respectivos limites de plasticidade (LP) e contração (LC).

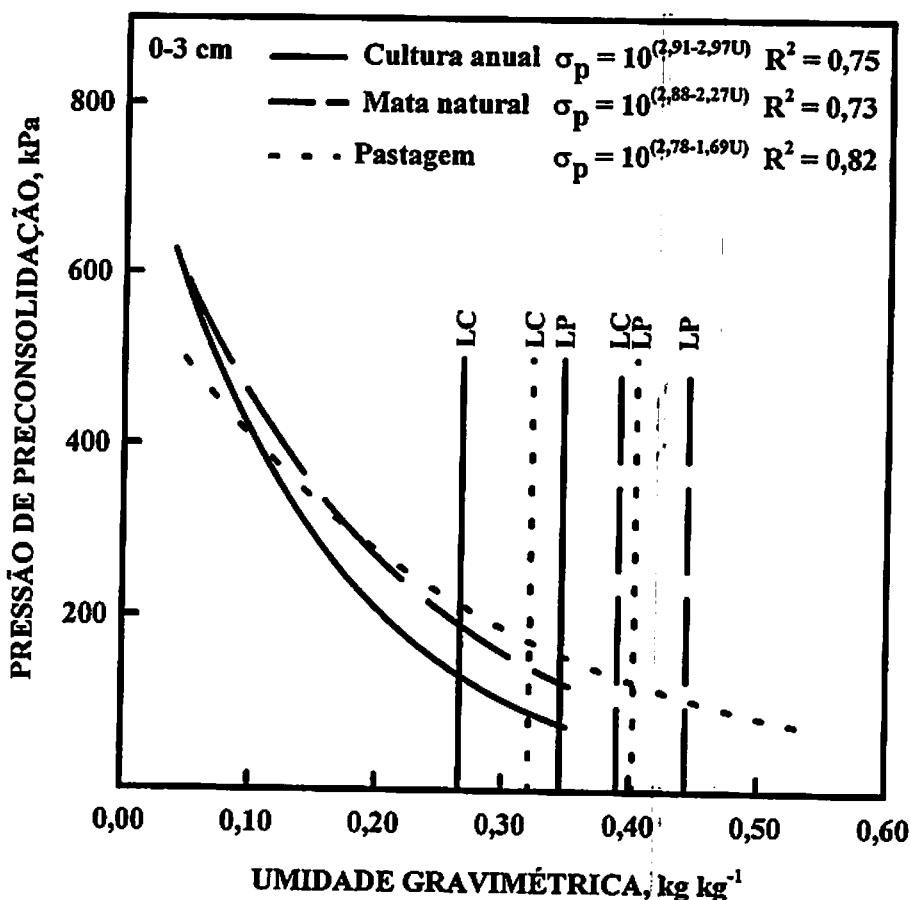


FIGURA 6.8. Relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade gravimétrica para o Latossolo Vermelho-Escuro sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem, na profundidade de 0-3 cm, com os respectivos limites de plasticidade (LP) e contração (LC).

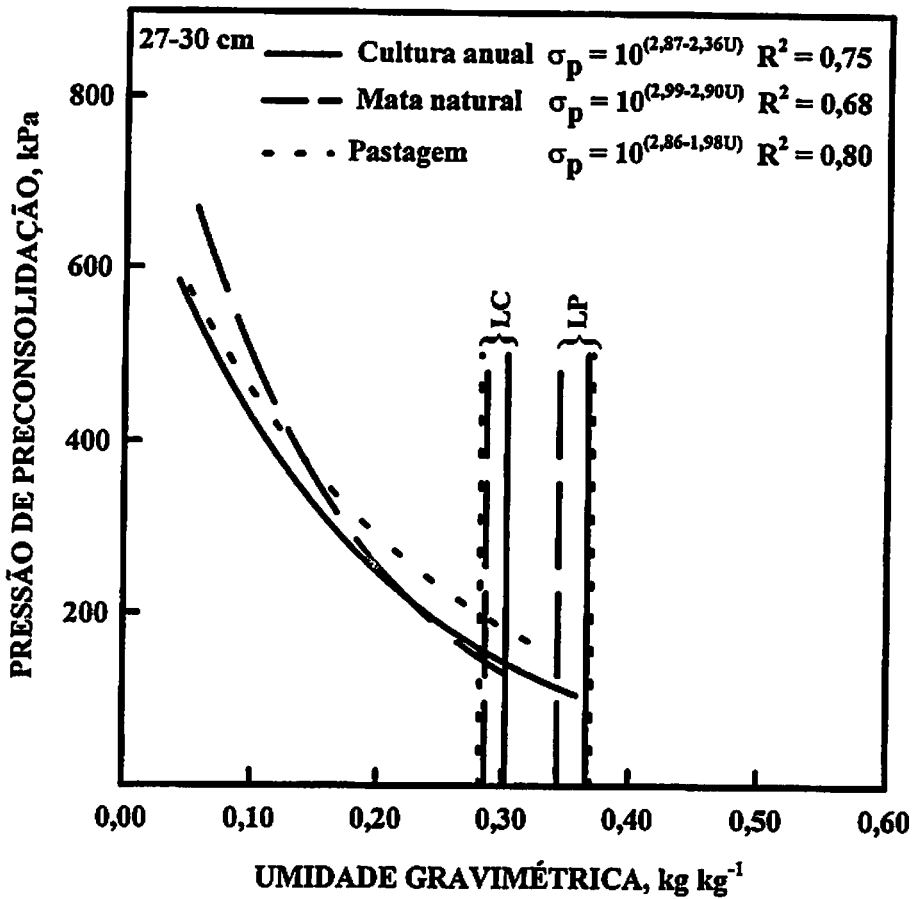


FIGURA 6.9. Relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade gravimétrica para o Latossolo Vermelho-Escuro sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem, na profundidade de 27-30 cm, com os respectivos limites de plasticidade (LP) e contração (LC).

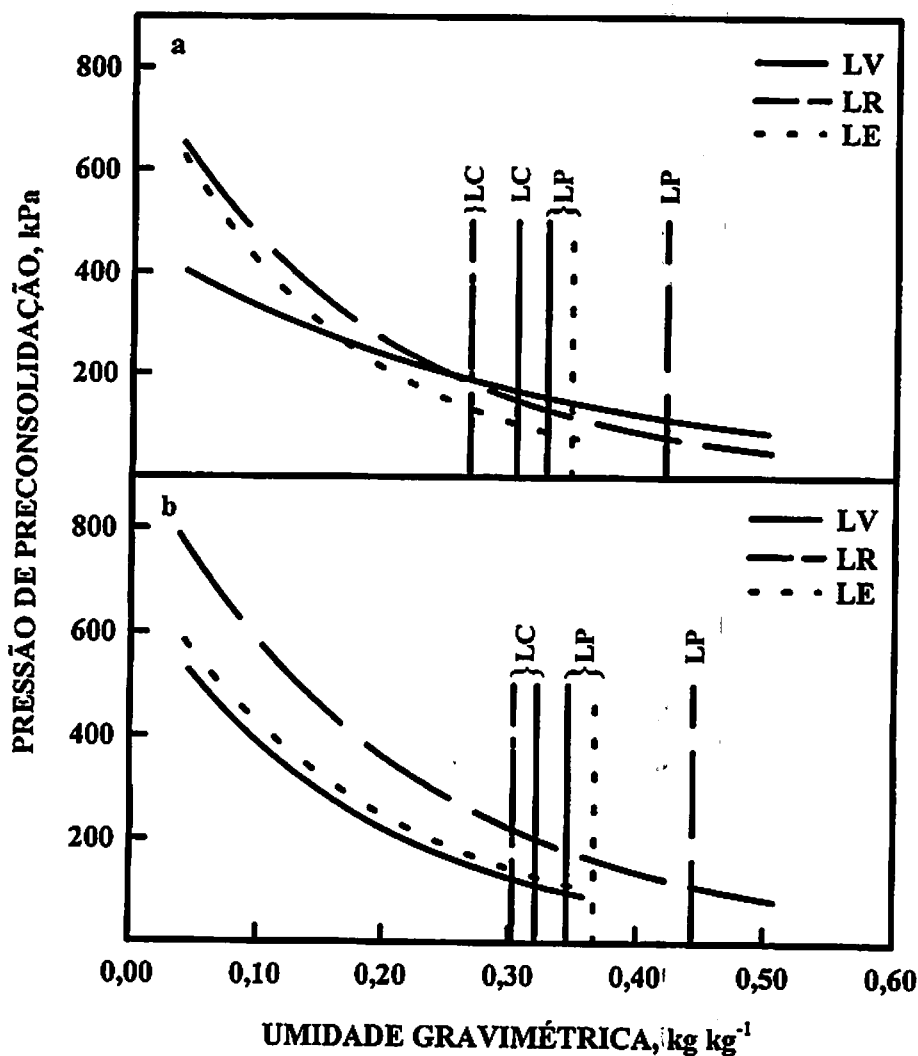


FIGURA 6.10. Relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade gravimétrica para o Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho-Escuro sob a condição de cultura anual, nas profundidades de 0-3 cm (a) e 27-30 cm (b), com os respectivos limites de plasticidade (LP) e contração (LC).

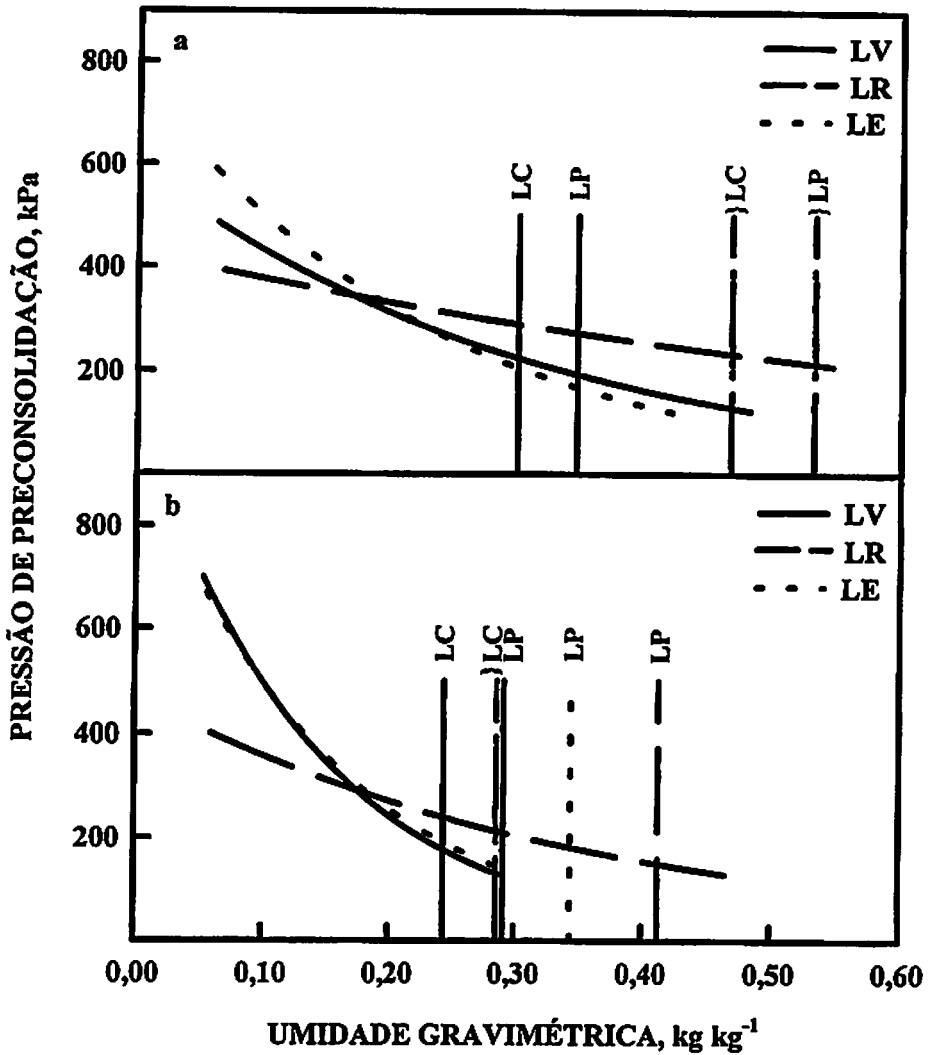


FIGURA 6.11. Relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade gravimétrica para o Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho-Escuro sob a condição de mata natural, nas profundidades de 0-3 cm (a) e 27-30 cm (b), com os respectivos limites de plasticidade (LP) e contração (LC).

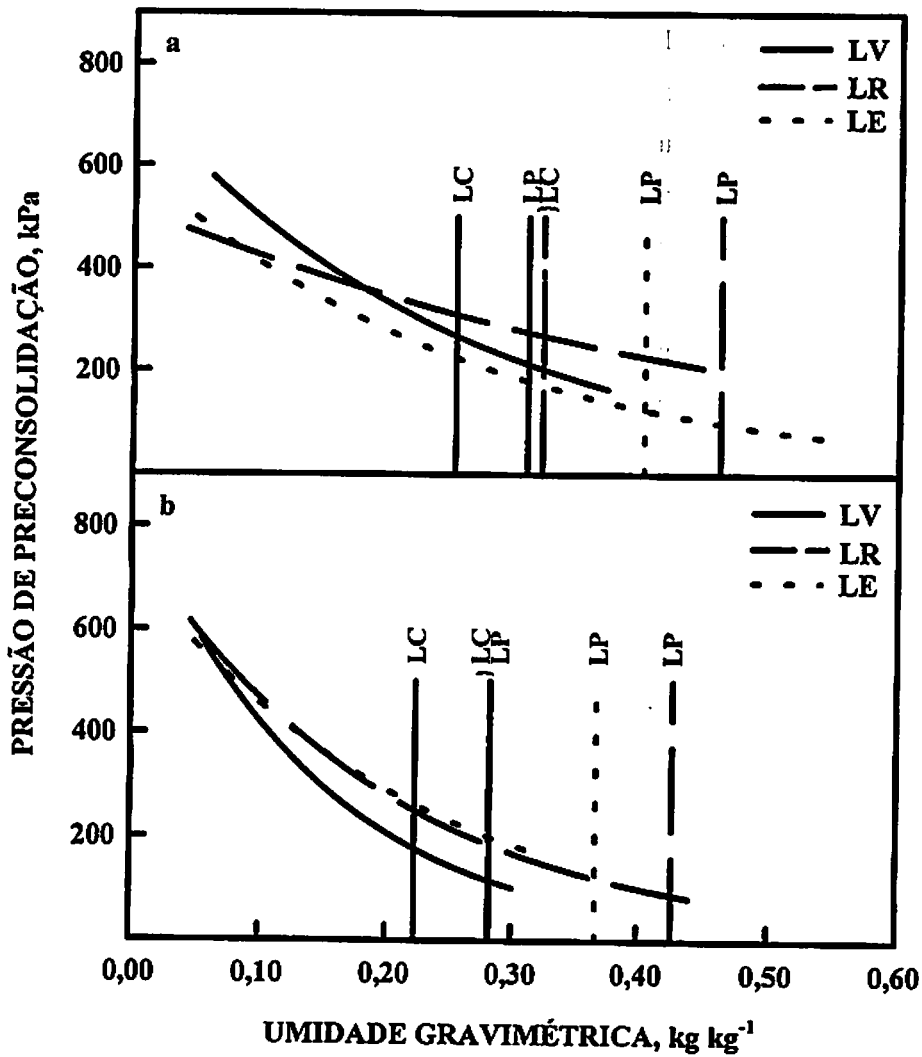


FIGURA 6.12. Relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade gravimétrica para o Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho-Escuro sob a condição de pastagem, nas profundidades de 0-3 cm (a) e 27-30 cm (b), com os respectivos limites de plasticidade (LP) e contração (LC).

⇒ Observando os valores das σ_p correspondentes aos teores de U iguais aos LP (Figuras 6.1 a 6.12 e Tabela 6.2), verifica-se que os valores das σ_p são relativamente baixos quando comparados aos níveis de pressões aplicados por um trator, os quais situam-se próximos a 200 kPa (Vermeulen e Perdok, 1994), podendo ocorrer o processo de compactação do solo caso ele venha a ser preparado sob este teor de umidade. Entretanto, quando a água drena ou o solo seca, a σ_p aumenta exponencialmente com a redução da U, aumentando consideravelmente a capacidade de suporte de carga do solo, implicando em uma maior dificuldade na ocorrência de compactação.

TABELA 6.2. Limites de plasticidade e contração com respectivas pressões de preconsolidação calculadas pela relação $\sigma_p = 10^{(a + bU)}$, para todos os solos sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem, nas profundidades de 0-3 e 27-30 cm.

Condição	LP ¹ kg kg ⁻¹	σ_{peal} ² kPa	LC ¹ kg kg ⁻¹	σ_{peal} ² kPa
Latossolo Vermelho-Amarelo				
0-3 cm				
Cultura anual	0,33	154	0,30	167
Mata natural	0,29	194	0,25	225
Pastagem	0,31	214	0,25	268
27-30 cm				
Cultura anual	0,35	98	0,32	112
Mata natural	0,29	126	0,24	177
Pastagem	0,28	115	0,22	176
Latossolo Roxo				
0-3 cm				
Cultura anual	0,42	77	0,27	183
Mata natural	0,44	215	0,39	234
Pastagem	0,46	202	0,32	269
27-30 cm				
Cultura anual	0,44	111	0,30	220
Mata natural	0,41	149	0,29	213
Pastagem	0,43	88	0,28	185
Latossolo Vermelho-Escuro				
0-3 cm				
Cultura anual	0,35	77	0,27	132
Mata natural	0,44	75	0,39	99
Pastagem	0,40	126	0,32	172
27-30 cm				
Cultura anual	0,37	100	0,30	142
Mata natural	0,34	98	0,29	144
Pastagem	0,37	136	0,28	200

1. Média de três repetições

2. Pressão de preconsolidação calculada

Analizando as figuras 6.1, 6.4 e 6.7, observa-se que para a cultura anual, a profundidade de 27-30 cm, em geral, suporta maiores tensões do que a camada superficial. Evidencia-se, assim, uma possível compactação de subsuperfície pelo implemento de preparo do solo devido à sua operação em condições inadequadas de umidade ou devido à destruição da estrutura da camada superficial do solo pelo implemento de preparo. Para a mata natural, não se obteve evidências sobre a profundidade com maior capacidade de suporte de carga, devido à necessidade de um ajuste linear que dificulta uma discussão mais aprofundada em virtude do objetivo deste estudo, que é de testar os modelos propostos por Dias Junior (1994). O LV e o LR sob pastagem apresentaram, em geral, maiores valores de σ_p (capacidade de suporte de carga) na camada de 0-3 cm do que na camada de 27-30 cm, evidenciando uma compactação superficial do solo devido ao pisoteio do gado. Já o LE sob pastagem para teores de umidade maiores do que $0,25 \text{ kg kg}^{-1}$, teve, para ambas as profundidades, uma capacidade de suporte de carga semelhante; para teores de umidade menores do que este, a camada de 27-30 cm teve maior capacidade de suporte de carga do que a camada de 0-3 cm.

Analizando as figuras 6.2, 6.3, 6.5, 6.8 e 6.9, observa-se um deslocamento para cima mais acentuado das curvas pressão de preconsolidação versus teor de umidade para as condições de mata natural e pastagem, em relação a cultura anual. Isso se deve, provavelmente, à destruição da estrutura do solo sob este manejo e à homogeneização da camada superficial do solo pelo implemento de preparo, sugerindo, portanto, uma maior suscetibilidade à compactação do solo sob cultura anual. Já no caso do LR, para a profundidade 27-30 cm (Figura 6.6), a curva da σ_p versus umidade da cultura anual deslocou-se para cima em relação às curvas para a condição de mata natural e pastagem, evidenciando o efeito da compactação em profundidade devido às operações de preparo do solo, tais como aração e gradagem pesada.

O solo sob pastagem apresentou, em geral, uma maior capacidade de suporte de carga do que sob cultura anual na camada de 0-3 cm de profundidade, evidenciando a influência do pisoteio do gado na compactação da superfície do solo, o que refletiu na σ_p do solo (Figuras 6.2, 6.5 e 6.8).

Analisando a figura 6.10, na condição de cultura anual observa-se que o LR possui uma maior capacidade de suporte de carga para níveis de umidade inferiores ao LC na profundidade de 0-3 cm, sugerindo maior resistência ao tráfego de máquinas em comparação ao LE e, principalmente, ao LV. Na faixa de friabilidade, os níveis de pressão máximos que podem ser aplicados variam de 154-167 kPa no LV, 77 a 183 kPa no LR e 77 a 132 no LE, como pode-se observar na tabela 6.2. Este fato sugere que pressões aplicadas aos solos maiores do que os valores anteriormente citados, conduzirão à compactação do solo mesmo na faixa de friabilidade. Para a profundidade 27-30 cm, o LV e o LE possuem um comportamento semelhante, indicando uma resistência à compactação também semelhante, devido à similaridade de suas histórias de tensão. O LR nesta profundidade possui maior capacidade de suporte de carga do que os outros dois solos, sendo, conseqüentemente, mais resistente à compactação.

Para a condição de mata natural (Figura 6.11), o LV e o LE apresentaram comportamentos semelhantes para ambas as profundidades, possuindo maior capacidade de suporte de carga do que o LR para teores de umidade inferiores a 0,14 e 0,16 kg kg^{-1} na camada 0-3 cm, 0,18 e 0,19 kg kg^{-1} na camada 27-30 cm, respectivamente. Para valores de umidade maiores do que este, o LR possui maior capacidade de suporte de carga do que os outros dois solos, porém, ressalta-se o ajuste linear com maiores valores de R^2 para o LV e LE, os quais possibilitam análises mais seguras do seu comportamento.

Na condição de pastagem (Figura 6.12), observa-se que na profundidade 0-3 cm para umidades inferiores a 0,18 kg kg^{-1} , o LV possui maior capacidade

de suporte de carga do que o LR e o LE. Entretanto, para umidades superiores a esta, o LR passa a ser mais resistente à compactação do que os outros dois.

De acordo com Kuipers e Zande (1994), a pressão aplicada por um cavalo em movimento com 750 kg de peso, gira em torno de 150 kPa. Entrando-se com este valor no gráfico da figura 6.12, observa-se que o animal deveria andar sem causar compactação da superfície para teores de umidade em torno de 0,40 kg kg⁻¹ para o LV e 0,61 kg kg⁻¹ para o LR. No caso do LE, o solo poderia ser trafegado pelo gado para teores de umidade inferiores a 0,36 kg kg⁻¹. Estes valores diferentes indicam uma história de tensão também diferente, sendo maior a do LR, a qual traduz-se em maior resistência à compactação, principalmente em umidades elevadas, possibilitando o pastoreio do gado em uma ampla faixa de umidade onde ocorrem deformações elásticas. Já no caso do LV e o LE, em virtude de suas menores histórias de tensão com menor tráfego de animais no passado em relação ao LR, sofrerão deformações plásticas se forem ultrapassados os limites de umidade indicados acima.

Dentre os três solos estudados, o LE é o mais suscetível à compactação pelo pisoteio do animal. Na profundidade de 27-30 cm, o LV possui menor capacidade de carga do que o LR e LE, sendo mais suscetível à compactação. Já o LR e LE apresentaram comportamentos semelhantes.

De maneira geral, o LR foi o solo mais resistente à compactação, principalmente na faixa de friabilidade onde as operações motomecanizadas devem ser realizadas, buscando-se, entretanto, observar que as cargas aplicadas ao solo não ultrapassem os limites de pressões (σ_{pcal}) correspondentes aos LP e LC da faixa de friabilidade (Tabela 6.2).

Observa-se nas figuras 6.13 a 6.21 que houve um comportamento não paralelo das retas de compressão virgem para cada situação deste estudo, conforme encontrado por Larson, Gupta e Useche (1980). Esse comportamento não paralelo das retas de compressão virgem deve-se possivelmente a ampla

faixa de umidade usada neste estudo, quando comparada com a faixa de umidade usada por estes autores. Este fato foi também encontrado por Schmertmann (1955), que mostrou que as curvas de compressão possuem interseção igual a 0,42 do índice de vazio inicial para a maioria das argilas, e ainda por Dias Junior (1994). Assim, observa-se nas figuras 6.13 a 6.21, a variação da inclinação da reta de compressão virgem (índice de compressão) com o teor de umidade.

Analisando as figuras 6.13 a 6.21, observa-se que para pressões maiores do que σ_p , os valores da D_s aumentam proporcionalmente ao aumento das pressões aplicadas e mais acentuadamente para valores crescentes de umidade, seguindo o mesmo modelo determinado por Dias Junior (1994) para solos sob condições de clima temperado. Assim, este modelo é da forma:

$$D_{s_{final}} = D_{s_{\sigma_p}} + m \log \left(\frac{\sigma_{final}}{\sigma_p} \right)$$

onde:

$D_{s_{final}}$ é a densidade do solo ao final da aplicação de uma pressão determinada (σ_{final});

$D_{s_{\sigma_p}}$ é a densidade do solo correspondente a σ_p ;

m é o índice de compressão;

σ_p é a pressão de preconsolidação.

Estudos de degradação estrutural têm dado mais ênfase à relação entre σ_p e U (Dias Junior, 1997), entretanto uma das aplicações da relação acima seria a de estimar os níveis de D_s que seriam induzidos aos solos caso as pressões aplicadas aos mesmos fossem maiores do que o da σ_p estipulada.

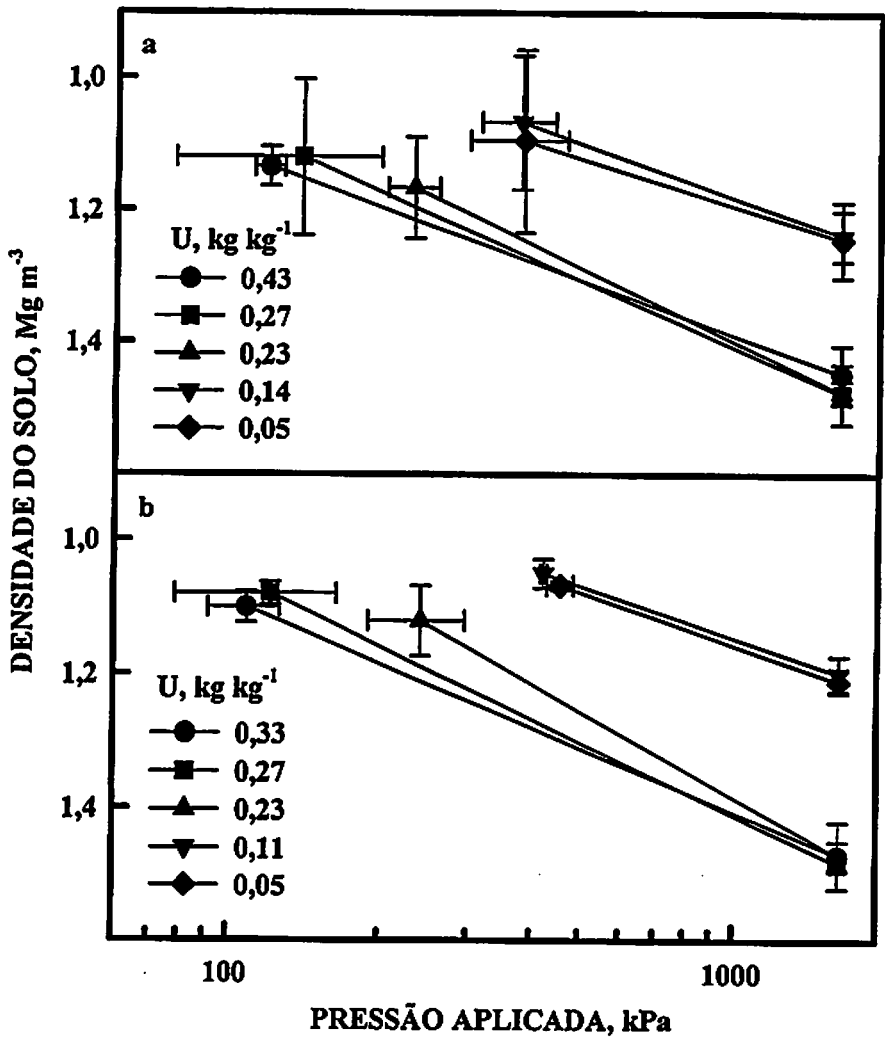


FIGURA 6.13. Retas de compressão virgem para o Latossolo Vermelho-Amarelo sob a condição de cultura anual, nas profundidades de 0-3 cm (a) e 27-30 cm (b), com diferentes umidades gravimétricas (médias de três repetições, sendo as barras de erro indicadoras do desvio padrão da média).

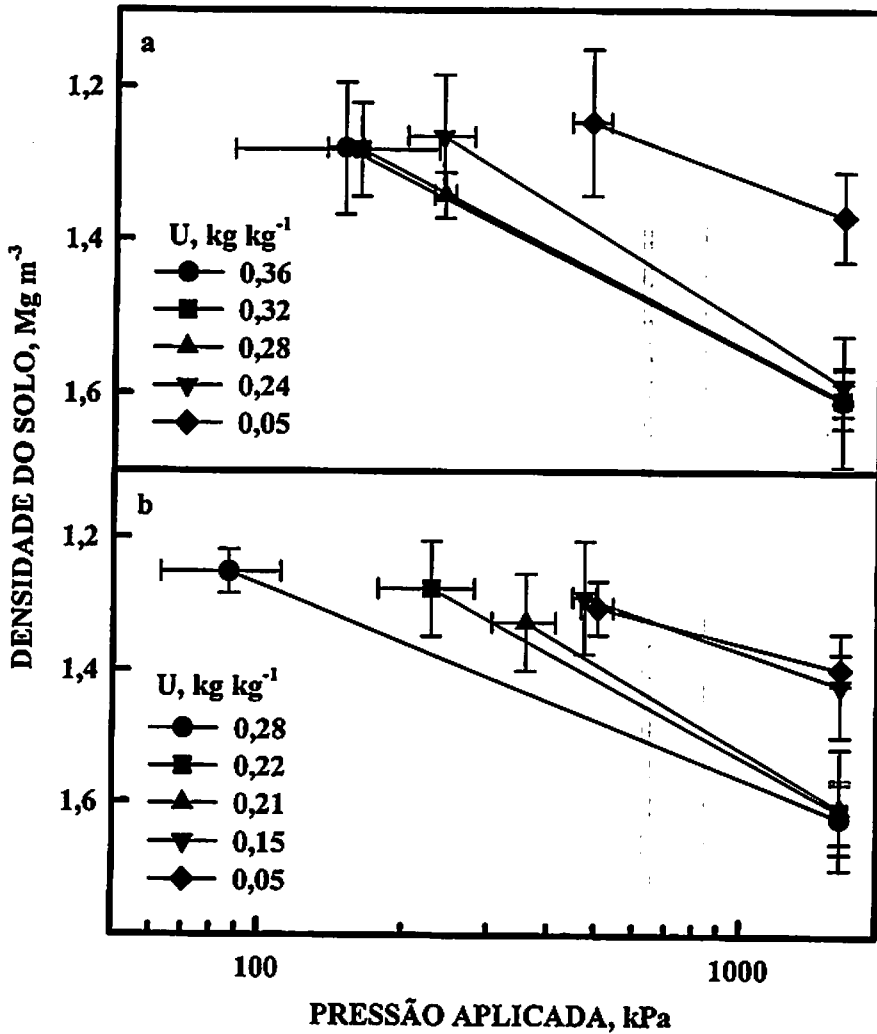


FIGURA 6.14. Retas de compressão virgem para o Latossolo Vermelho-Amarelo sob a condição de mata natural, nas profundidades de 0-3 cm (a) e 27-30 cm (b), com diferentes umidades gravimétricas (médias de três repetições, sendo as barras de erro indicadores do desvio padrão da média).

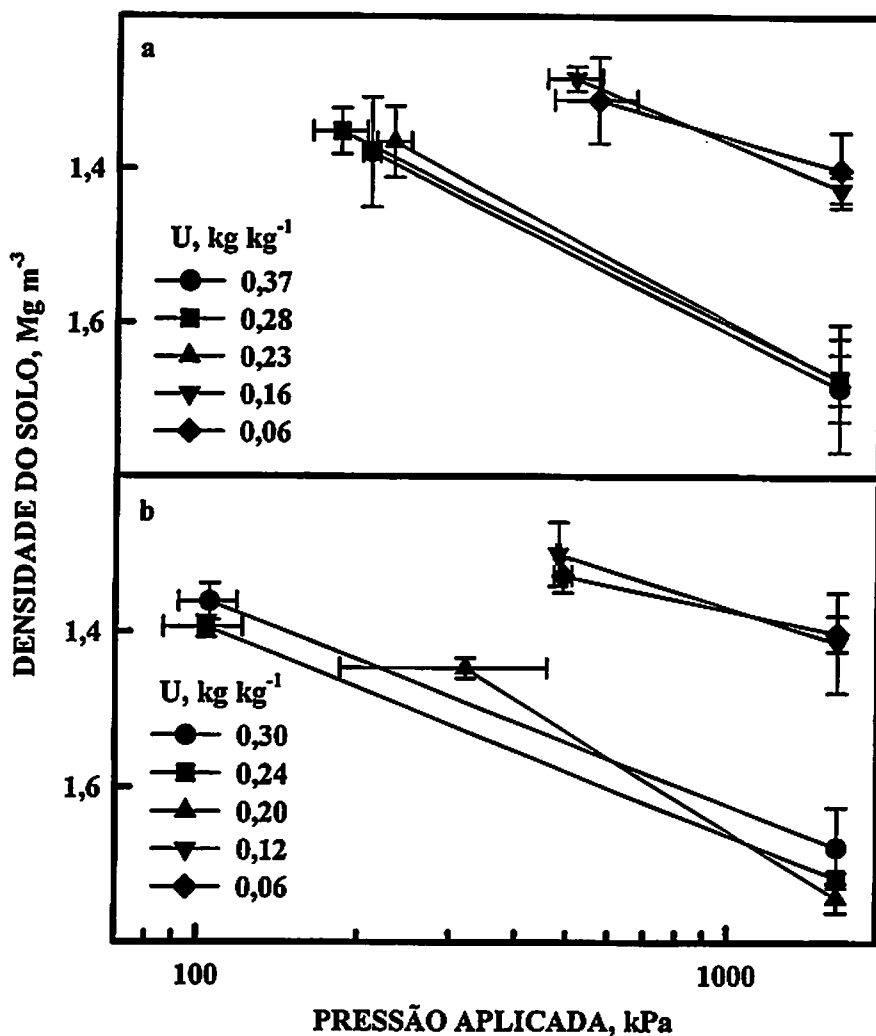


FIGURA 6.15. Retas de compressão virgem para o Latossolo Vermelho-Amarelo sob a condição de pastagem, nas profundidades de 0-3 cm (a) e 27-30 cm (b), com diferentes umidades gravimétricas (médias de três repetições, sendo as barras de erro indicadores do desvio padrão da média).

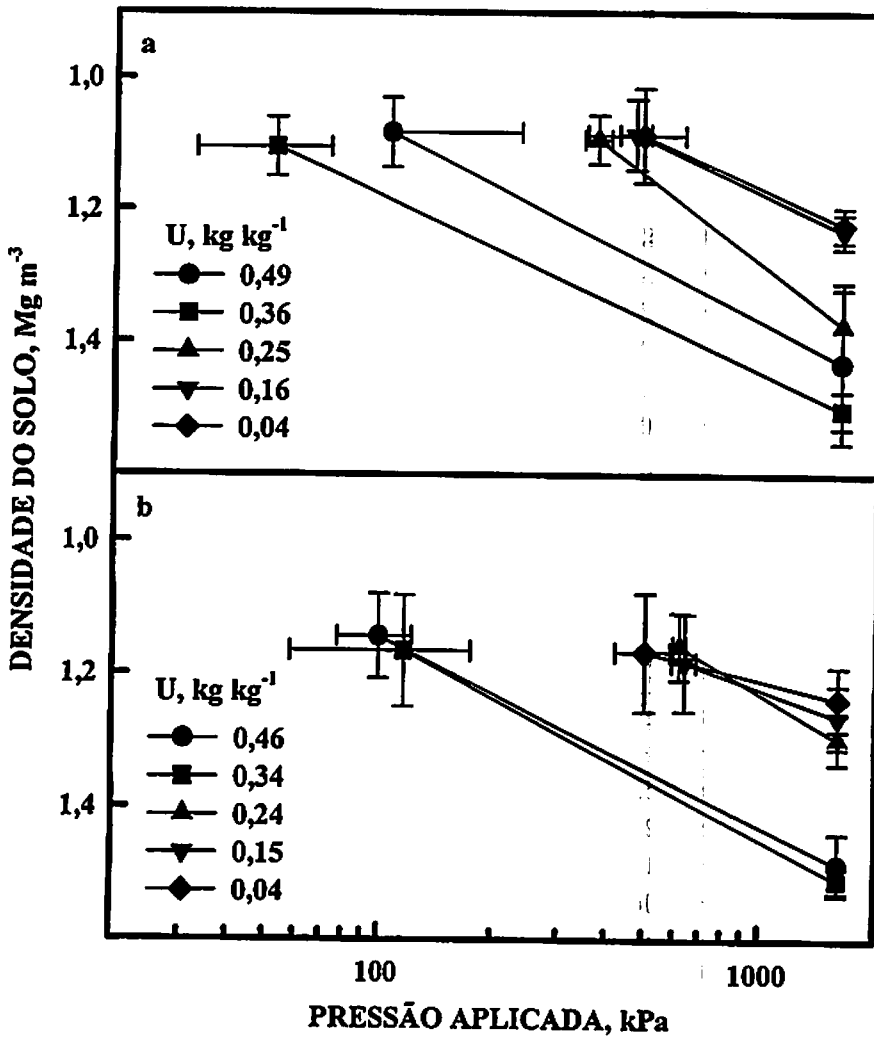


FIGURA 6.16. Retas de compressão virgem para o Latossolo Roxo sob a condição de cultura anual, nas profundidades de 0-3 cm (a) e 27-30 cm (b), com diferentes umidades gravimétricas (médias de três repetições, sendo as barras de erro indicadoras do desvio padrão da média).

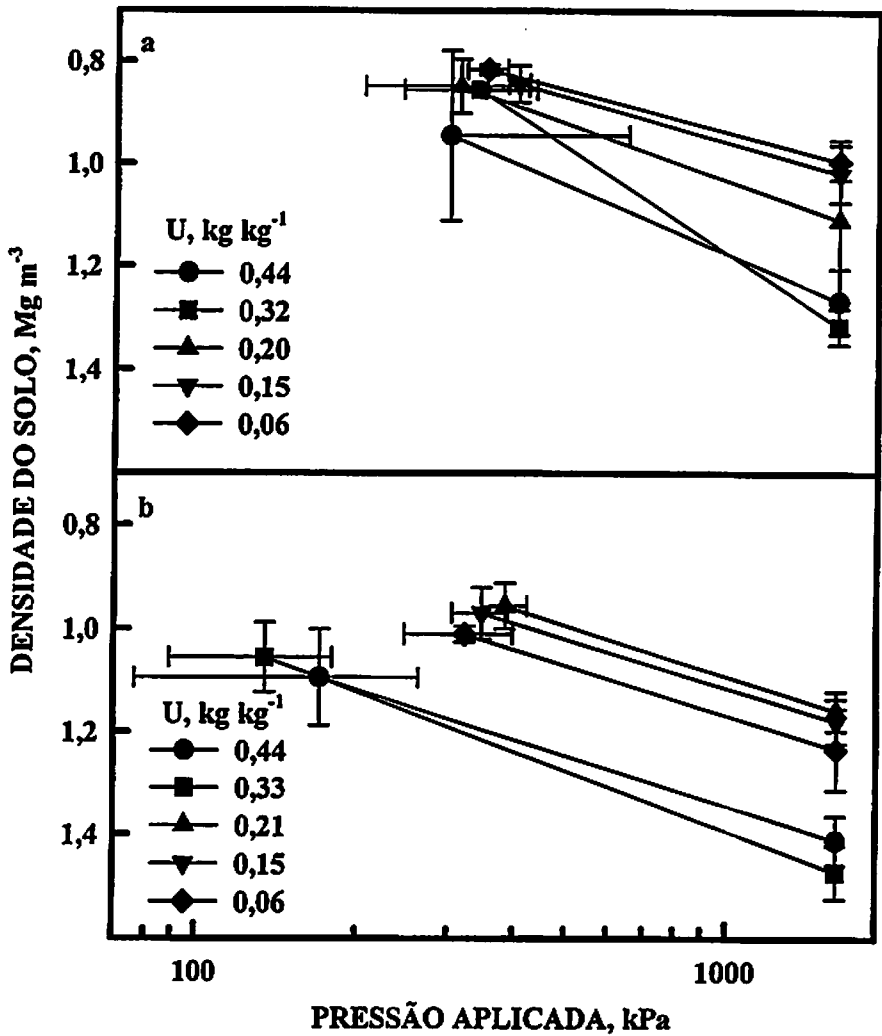


FIGURA 6.17. Retas de compressão virgem para o Latossolo Roxo sob a condição de mata natural, nas profundidades de 0-3 cm (a) e 27-30 cm (b), com diferentes umidades gravimétricas (médias de três repetições, sendo as barras de erro indicadores do desvio padrão da média).

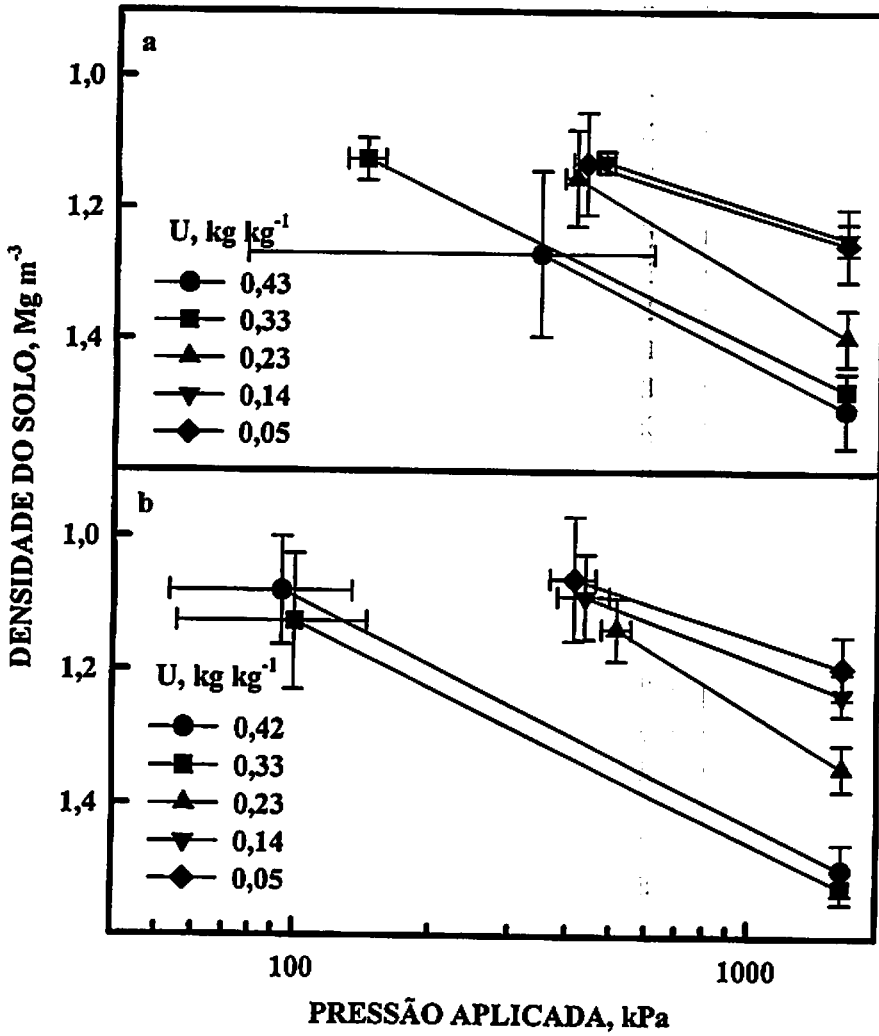


FIGURA 6.18. Retas de compressão virgem para o Latossolo Roxo sob a condição de pastagem, nas profundidades de 0-3 cm (a) e 27-30 cm (b), com diferentes umidades gravimétricas (médias de três repetições, sendo as barras de erro indicadores do desvio padrão da média).

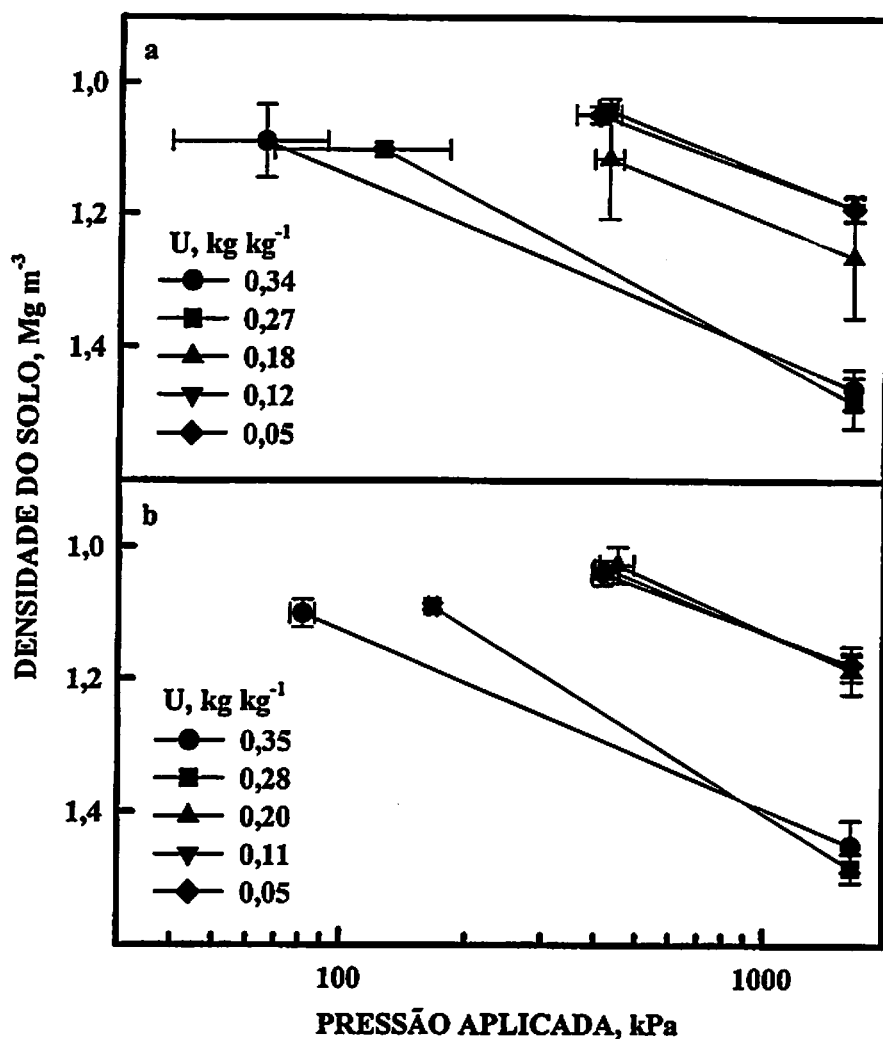


FIGURA 6.19. Retas de compressão virgem para o Latossolo Vermelho-Escuro sob a condição de cultura anual, nas profundidades de 0-3 cm (a) e 27-30 cm (b), com diferentes umidades gravimétricas (médias de três repetições, sendo as barras de erro indicadores do desvio padrão da média).

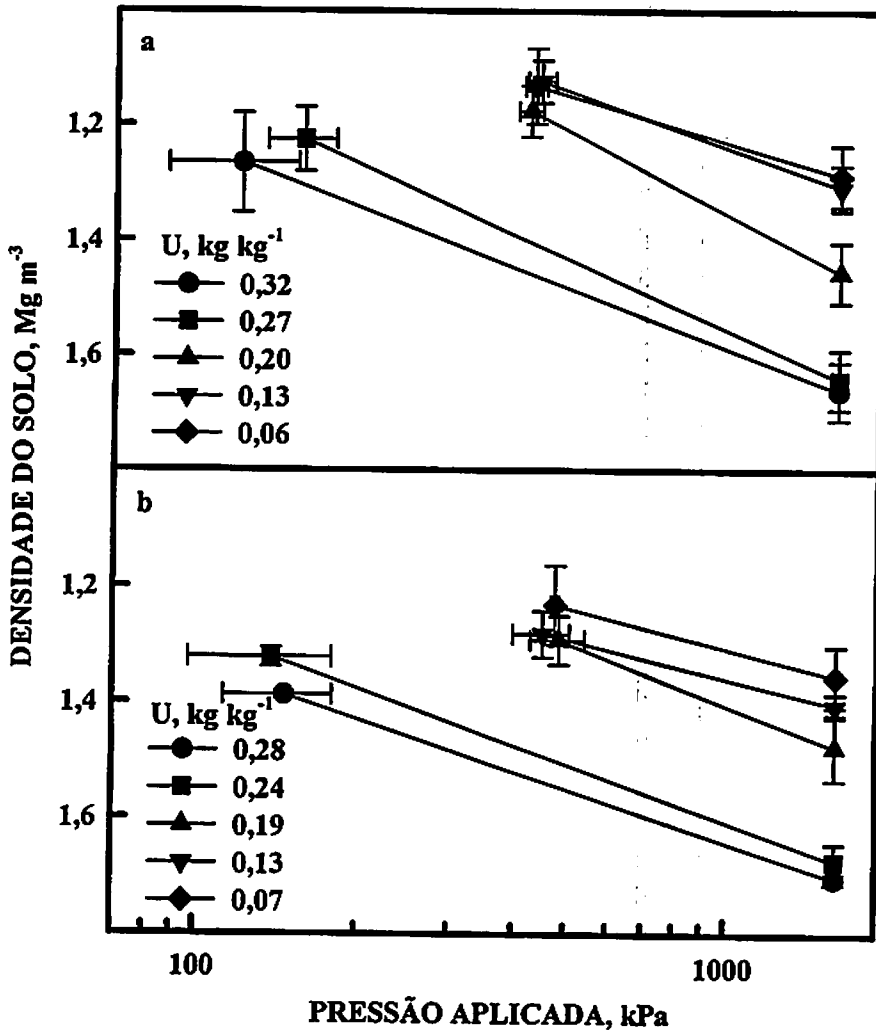


FIGURA 6.20. Retas de compressão virgem para o Latossolo Vermelho-Escuro sob a condição de mata natural, nas profundidades de 0-3 cm (a) e 27-30 cm (b), com diferentes umidades gravimétricas (médias de três repetições, sendo as barras de erro indicadores do desvio padrão da média).

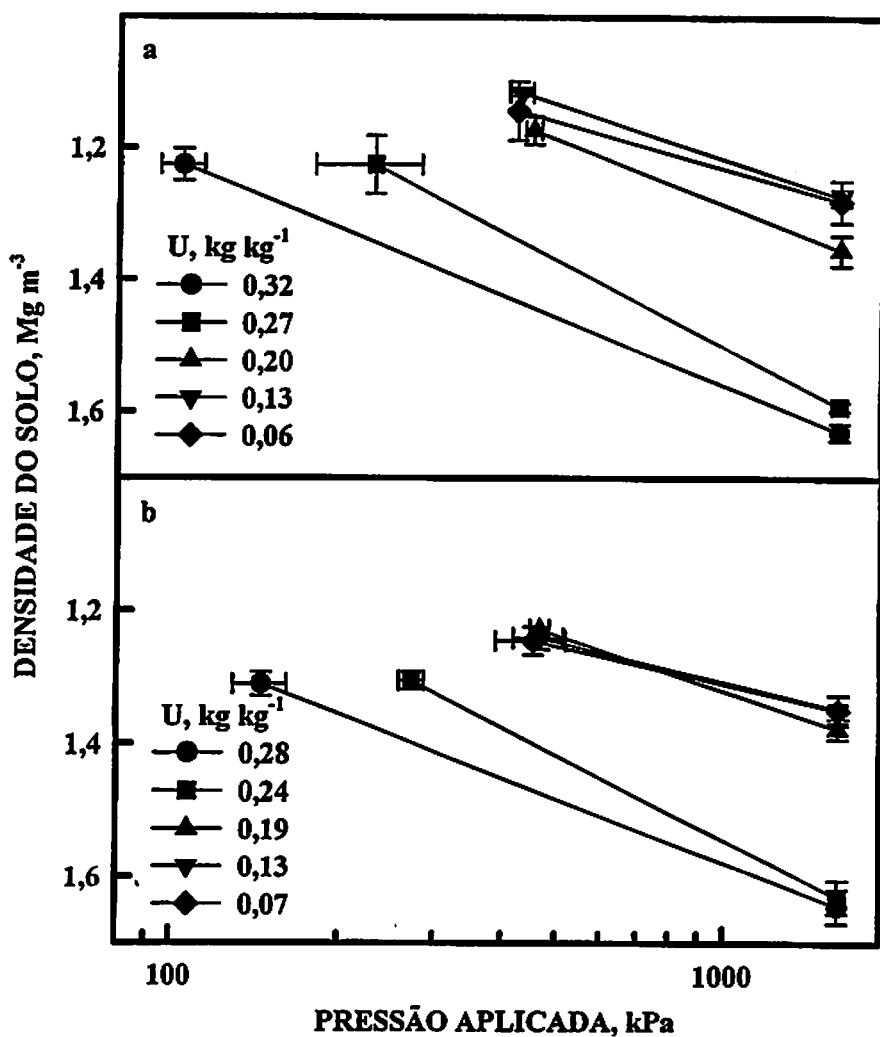


FIGURA 6.21. Retas de compressão virgem para o Latossolo Vermelho-Escuro sob a condição de pastagem, nas profundidades de 0-3 cm (a) e 27-30 cm (b), com diferentes umidades gravimétricas (médias de três repetições, sendo as barras de erro indicadores do desvio padrão da média).

⇒ Devido à variação do valor m com a umidade, conforme observado nas figuras 6.13 a 6.21, considerou-se, para este estudo, o valor m como uma função da umidade, sendo a forma geral desta relação a seguinte:

$$m = a + b.U + c.U^2$$

⇒ onde, m é o índice de compressão (Mg m^{-3}); a , b e c são parâmetros ajustados e U a umidade gravimétrica do solo (kg kg^{-1}), com o coeficiente de determinação (R^2) variando entre 0,14 e 0,80 (Figuras 6.22 a 6.24). Apesar de algumas destas relações apresentarem R^2 relativamente baixo, observa-se que o LP fornece, em alguns casos, uma idéia razoável da umidade onde o solo esteja mais suscetível à compactação, porque este valor está próximo à umidade que confere um índice de compressão máximo ($m_{\text{máx}}$) aos solos (Figuras 6.22 a 6.24 e Tabela 6.3).

⇒ O significado prático desta observação é que, através da determinação do limite de plasticidade dos solos, tem-se uma indicação do limite superior de umidade, acima do qual o solo não deve ser trabalhado sem sofrer compactação, por ser de acordo com Hillel (1982), o início da faixa de plasticidade. Contudo não se estabelece níveis de pressões suportados pelo solo nesta umidade, o que pode levar à aplicação de pressões além da sua capacidade de suporte de carga.

Com base nos valores de m , a mata natural é mais suscetível à compactação devido a apresentar maior $m_{\text{máx}}$ na superfície para quase todos os solos em relação à pastagem e à cultura anual (Tabela 6.3).

⇒ Considerando-se a situação ideal para se evitar compactação adicional ao solo, deve-se ter uma $U_{\text{máx}}$ elevada acompanhada de um $m_{\text{máx}}$ reduzido, propiciando assim, baixas deformações plásticas, as quais ocorreriam somente sob altos teores de umidade, indicando a presença de uma história de tensão no solo e permitindo, portanto, maiores condições de tráfego, em virtude da maior faixa de umidade na qual o valor m seria inferior ao $m_{\text{máx}}$.

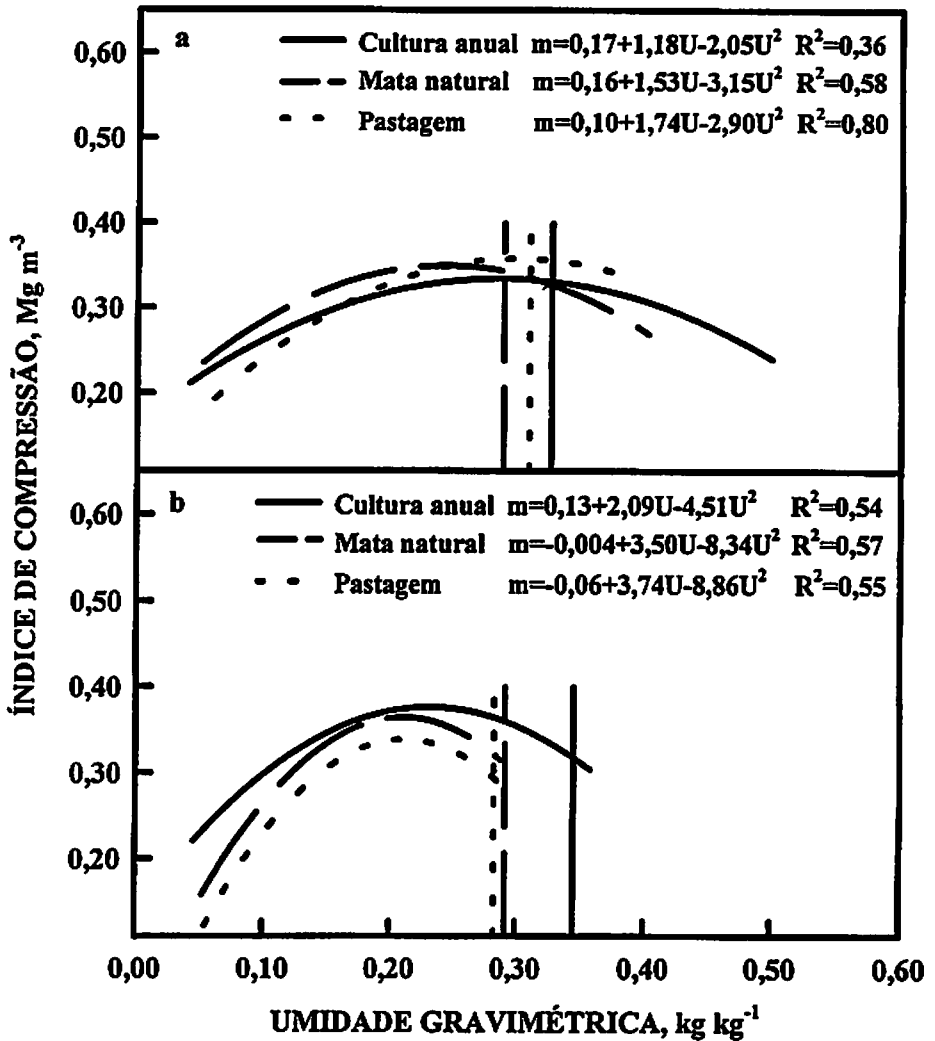


FIGURA 6.22. Relação entre o índice de compressão e a umidade gravimétrica para o Latossolo Vermelho-Amarelo sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem, nas profundidades de 0-3 cm (a) e 27-30 cm (b), com $n = 15$ (as linhas verticais representam os respectivos limites de plasticidade, com três repetições).

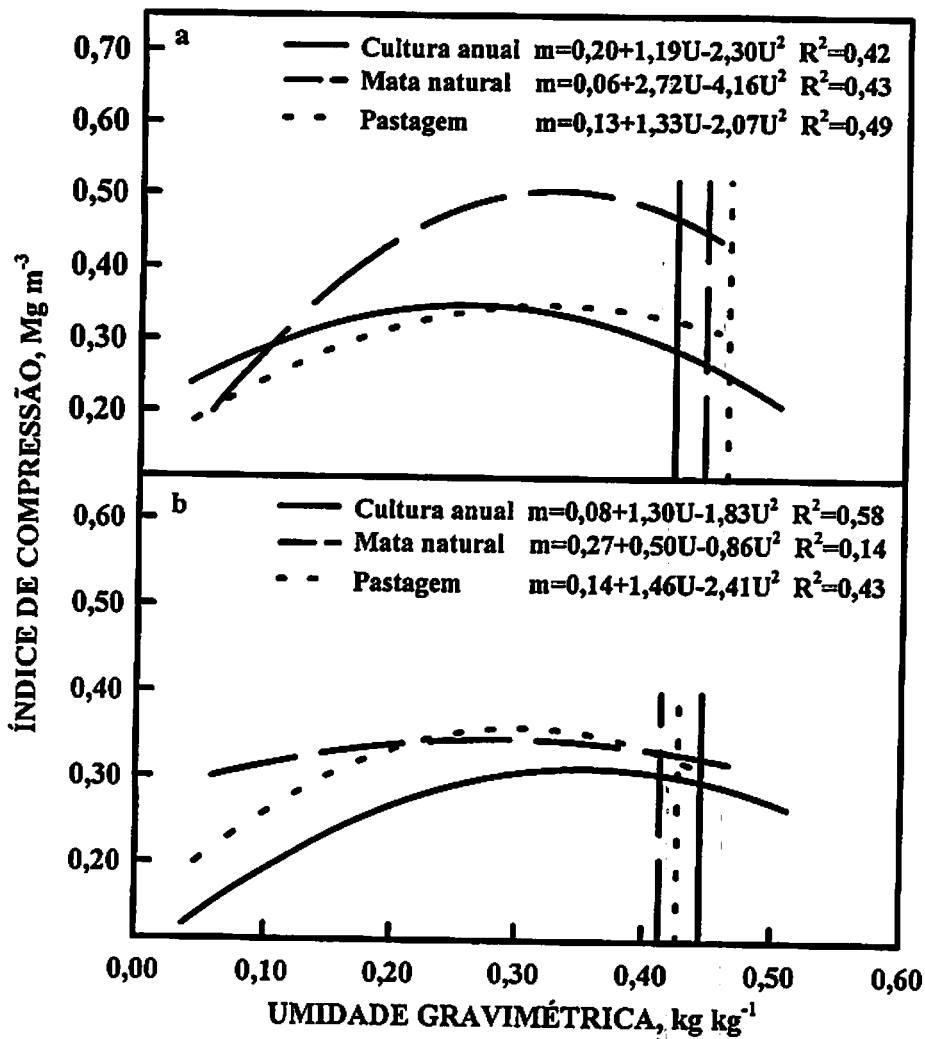


FIGURA 6.23. Relação entre o índice de compressão e a umidade gravimétrica para o Latossolo Roxo sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem, nas profundidades de 0-3 cm (a) e 27-30 cm (b), com $n = 15$ (as linhas verticais representam os respectivos limites de plasticidade, com três repetições).

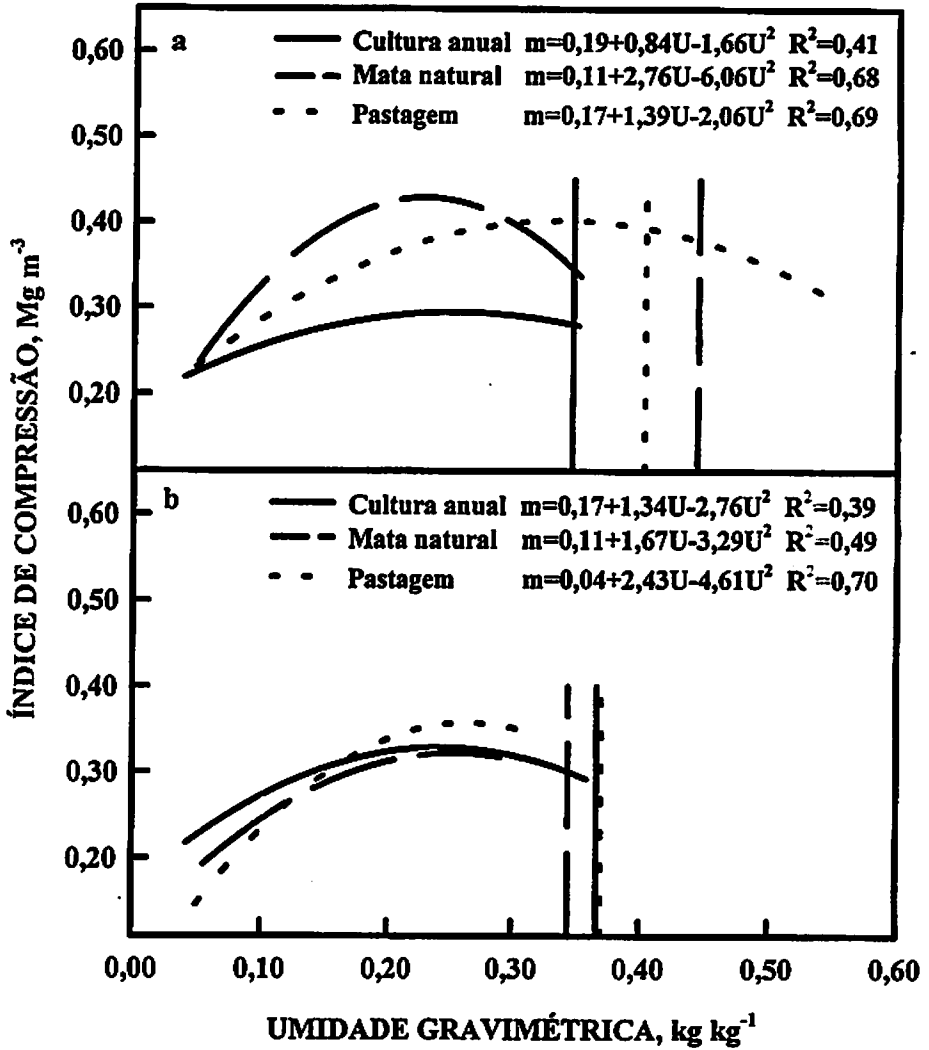


FIGURA 6.24. Relação entre o índice de compressão e a umidade gravimétrica para o Latossolo Vermelho-Escuro sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem, nas profundidades de 0-3 cm (a) e 27-30 cm (b), com $n = 15$ (as linhas verticais representam os respectivos limites de plasticidade, com três repetições).

TABELA 6.3. Umidades máximas ($U_{máx}$), índices de compressão máximos ($m_{máx}$) equivalentes e limites de plasticidade (LP) para os três solos estudados.

Condição	LV			LR			LE		
	$M_{máx}$	$U_{máx}$	LP	$m_{máx}$	$U_{máx}$	LP	$m_{máx}$	$U_{máx}$	LP
	$Mg\ m^{-3}$	$—kg\ kg^{-1}—$		$Mg\ m^{-3}$	$—kg\ kg^{-1}—$		$Mg\ m^{-3}$	$—kg\ kg^{-1}—$	
0-3 cm									
C. anual	0,33	0,29	0,33	0,35	0,26	0,42	0,29	0,25	0,35
M. natural	0,35	0,24	0,29	0,51	0,33	0,44	0,43	0,23	0,44
Pastagem	0,36	0,30	0,31	0,35	0,32	0,46	0,40	0,33	0,40
27-30 cm									
C. anual	0,38	0,23	0,35	0,31	0,36	0,44	0,33	0,24	0,37
M. natural	0,36	0,21	0,29	0,35	0,29	0,41	0,32	0,26	0,34
Pastagem	0,34	0,21	0,28	0,36	0,31	0,43	0,36	0,26	0,37

6.4 CONCLUSÕES

Variações nas propriedades físicas e mecânicas do solo, induzidas pelo manejo alteraram o seu comportamento compressivo.

Os modelos obtidos neste estudo foram semelhantes aos sugeridos por Dias Junior (1994) e Dias Junior e Pierce (1996).

O LR foi o solo mais resistente à compactação, principalmente na sua faixa de friabilidade.

Solos sob a condição de cultura anual na camada superficial de 0-3 cm

R
T63

são mais suscetíveis à compactação do que aqueles sob mata natural e pastagem, devido à sua menor capacidade de suporte de carga para uma mesma faixa de umidade.

O modelo baseado na história de tensão do solo evidenciou o efeito da compactação, causado pelas máquinas de preparo na camada de 27-30 cm, enquanto que para a pastagem ficou evidenciado o efeito do pisoteio do gado na camada de 0-3 cm.

O LP pode ser usado como uma referência do teor de umidade máximo no qual as operações motomecanizadas possam ser realizadas.

6.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARNES, K.K; CARLETON, W.M.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R.I.; VANDEN BERG, G.E. **Compaction of agricultural soils.** ASAE: St. Joseph, 1971. (Monograph)
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis: part 1, physical and mineralogical methods.** 2.ed. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 1986. Cap. 13, p.363-375. (Agronomy, 9)
- BOWLES, J.E. **Engineering properties of soils and their measurements.** 2.ed., Auckland: McGraw-Hill, 1978..
- BOWLES, J.E. **Engineering properties of soils and their measurements.** 3.ed., Auckland: McGraw-Hill, 1986.

6317
- June
- 12-42

BRADFORD, J.M.; GUPTA, S.C. Compressibility. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis: part 1, physical and mineralogical methods**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 1986. Cap. 20, p.479-492. (Agronomy, 9)

CASAGRANDE, A. The determination of the preconsolidation load and its practical significance. In: CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, **Proceedings of the ICSMFE**, Cambridge, Mass., June, 22-26, v.3, p.60-64, 1936.

CULLEY, J.L.B.; LARSON, W.E. Susceptibility to compression of a Clay Loam Haplaquoll. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, n.3, p.562-567, May/June 1987.

② DIAS JUNIOR, M. de S. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic**. East Lansing: Michigan State University, 1994. 114p. (Dissertação de Doutorado)

DIAS JUNIOR, M. de S. Uso da história de tensão e da variação da umidade como instrumentos para evitar a compactação adicional do solo. In: **WORKSHOP SOBRE AVALIAÇÃO E MANEJO DE RECURSOS NATURAIS EM ÁREA DE EXPLORAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR**, 1, Aracaju, 1997. Palestras... Aracaju: Embrapa-CPATC, 1997, p.67-81.

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

DIAS JUNIOR, M. de S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.175-182, maio/ago. 1996.

GUPTA, S.C.; ALLMARAS, R.R. Models to access the susceptibility of soil to excessive compaction. **Advances in Soil Science**, London, v.6, p.65-100, 1987.

GUPTA, S.C.; HADAS, A.; SCHAFFER, R.L. Modeling soil mechanical behavior during compaction. In: LARSON, W.E.; BLAKE, G.R.; ALLMARAS, R.R.; VOORHEES, W.B.; GUPTA, S.C. **Mechanics and related process in structured agricultural soils**. The Netherlands: Kluwer Academic Publisher, p.137-152, 1989.

- GUPTA, S.C.; HADAS, A.; VOORHEES, W.B.; WOLF, D.; LARSON, W.E.; SCHNEIDER, E.C. **Development of quids for estimating the ease of compaction of world soils.** Bet Dagan, Israel: Binational Agric. Res. Development, University of Minnesota, 1985. 178p. (Research Report).
- HILLEL, D. **Introduction to Soil Physics.** San Diego: Academic Press, 1982. 365p.
- HOLTZ, R.D.; KOVACS, W.D. **An introduction to geotechnical engineering.** Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1981.
- HORN, R. **Strength of structured soils to loading - a review of process on macro and microscale; European aspects.** In: LARSON, W.E.; BLAKE, G.R.; ALLMARAS, R.R.; VOORHEES, W.B.; GUPTA, S.C. **Mechanics and related process in structured agricultural soils.** The Netherlands: Kluwer Academic Publisher, p.9-22, 1989.
- KUIPERS, H.; ZANDE, J.C. van de. **Quantification of traffic systems in crop production.** In: SOANE, B.D.; OUWERKERK, C. van. **Soil compaction in crop production: developments in agricultural engineering,** Amsterdam: Elsevier, n.11. Cap. 18, p.417-445, 1994.
- ① LARSON, W.E.; GUPTA, S.C. **Estimating critical stress in unsaturated soils from changes in pore water pressure during confined compression.** *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.44, n.6, p.1127-1132, Nov./Dec. 1980.
- LARSON, W.E.; GUPTA, S.C.; USECHE, R.A. **Compression of agricultural soils from eight soils orders.** *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.44, n.3, p.450-457, May/June 1980.
- LEBERT, M.; HORN, R. **A method to predict the mechanical strength of agricultural soils.** *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.19, n.2, p.275-276, 1991.
- LEONARDS, G.A. **Foundation engineering.** New York: McGraw-Hill, 1962.
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento.** 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.

- SCHMERTMANN, J.H. The undisturbed consolidation behavior of clay. *Transactions of the ASCE*, St. Joseph, v.120, p.1201-1233, 1955.
- SILVA, A.C.; LIMA, J.M. de; CURI, N. Relação entre voçorocas, uso da terra, solo e materiais de origem da região de Lavras (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.17, n.3, p.459-464, set./dez. 1993.
- SMITH, C.W.; JOHNSTON, M.A., LORENTZ, S. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. I. The effect of soil type, water content and applied pressure on uni-axial compaction. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.41, n.1,2, p.53-73, Mar. 1997.
- 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)
- STONE, J.A.; LARSON, W.E. Rebound of five one-dimensionally compressed unsaturated granular soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.44, n.4, p.819-822, July/Aug. 1980.
- VERMEULEN, G.D.; PERDOK, U.D. Benefits of low ground pressure tyre equipment. In: SOANE, B.D.; OUWERKERK, C. van *Soil compaction in crop production: developments in agricultural engineering*. Amsterdam: Elsevier, n. 11, p.447-478, 1994.