

EFEITO DO MANEJO E DA UMIDADE NO COMPORTAMENTO COMPRESSIVO DE TRÊS LATOSSOLOS⁽¹⁾

M. K. KONDO⁽²⁾ & M. S. DIAS JUNIOR⁽³⁾

RESUMO

Para analisar o efeito da umidade e do manejo na compressibilidade de três solos: Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho-Escuro sob cultura anual, mata natural e pastagem, localizados nos municípios de Lavras e Ijaci (MG), foram coletadas cinco amostras indeformadas e uma deformada em duas profundidades (0-0,03 e 0,27-0,30 m) com três repetições. A análise das amostras indeformadas foi realizada por meio 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 pela sua gênese e manejo, alteraram o comportamento compressivo dos solos, tendo a umidade modificado a forma das curvas de compressão em todos os solos, deslocando-as para a região de maior densidade quando normalizadas, enquanto a densidade inicial controlou a sua posição no eixo da densidade do solo.

Termos de indexação: compressibilidade, curva de compressão, manejo, pressão de preconsolidação, índice de compressão.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao DCS/UFLA. Projeto financiado pelo CNPq. Recebido para publicação em abril de 1998 e aprovado em fevereiro de 1999.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Pós-graduando do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista da CAPES.

⁽³⁾ Engenheiro Agrícola, Professor Adjunto do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. Bolsista do CNPq.

SUMMARY: MANAGEMENT AND MOISTURE EFFECTS ON THE COMPRESSIVE BEHAVIOR OF THREE LATOSOLS (OXISOLS)

The objective of this work was to analyze the effect of moisture content and soil management on the compressibility behavior of three soils, namely, a Red-Yellow Latosol (LV), Dusky Red Latosol (LR) and Dark-Red Latosol (LE), under annual crop, natural forest and pasture. The soils were located in the region of Lavras and Ijaci (MG). Undisturbed and disturbed soil samples were collected in two depths (0-0,03 and 0,27-0,30 m) with three replicates. The undisturbed soil samples were used in the analysis of the uniaxial compression test under different moisture contents to determine the compression curves. With the disturbed soil samples were used to determine the consistency limits, particle size distribution and organic carbon. Variations in physical and mechanical properties of soils, induced by soil genesis and management, altered their compressive behavior and moisture content altered the form of the compression curves in all soils, moving them to the region of high bulk density when normalized, while the initial bulk density controlled its position in relation to the axis of the bulk density.

Index terms: compressibility, compression curve, soil management, preconsolidation pressure, compression index.

INTRODUÇÃO

Um dos grandes entraves às operações motomecanizadas é a suscetibilidade à compactação do solo, que limita o seu manejo em condições de umidade excessiva. Assim, torna-se muito importante determinar quando o solo está muito úmido para ser submetido às operações de preparo ou de tráfego, bem como estimar quantitativamente os prejuízos causados à sua estrutura quando as pressões aplicadas excederem a capacidade de suporte de carga desse solo (Dias Junior, 1994; Dias Junior & Pierce, 1996).

Vários pesquisadores têm mostrado o efeito da compactação nas propriedades físicas do solo devido à 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). Outros têm mostrado que a compactação de um solo pode ser influenciada pelo pH, CTC, espessura da partícula de argila, matéria orgânica, óxidos de ferro e hidróxidos livres de alumínio, além da textura e tensão da água no solo (Assouline et al., 1997). Dentre os efeitos da compactação nos atributos físicos do solo, destacam-se: aumento da densidade do solo e da sua resistência mecânica (Grohmann & Queiroz Neto, 1966; Taylor, 1971; Trowse Jr., 1971; Hillel, 1982; Moraes, 1984; Rosa Jr., 1984; Silva et al., 1986; Hill & Meza-Montalvo, 1990; Lebert & Horn, 1991), diminuição da porosidade total, tamanho e continuidade dos poros (Warkentin, 1971; Hillel, 1982; Moraes, 1984; Smucker & Erickson, 1989).

As alterações dos atributos físicos do solo podem limitar a adsorção e, ou, absorção de nutrientes, a

infiltração e a redistribuição de água, as trocas gasosas e o desenvolvimento do sistema radicular (Grohmann & Queiroz Neto, 1966; Moura Filho & Buol, 1972; Alvarenga et al., 1983; Oliveira et al., 1983; Smucker & Erickson, 1989; Bicki & 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 & Pierce, 1996; Dias Junior, 1997). A σ_p é obtida a partir das curvas de compressão do solo, podendo ser usados, dentre outros, o método gráfico proposto por Casagrande (1936) ou o método proposto por Dias Junior & Pierce (1995).

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 densidade do solo e, ou, o índice de vazios (Casagrande, 1936; Leonards, 1962; Holtz & Kovacs, 1981; Smith et al., 1997). Portanto, o entendimento do comportamento da curva de compressão do solo é importante, pois ela 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.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo, foram utilizados um Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), sob cultura anual, localizado no município de Ijaci, MG e sob mata natural e pastagem, localizado no município de Lavras, MG; um Latossolo Roxo (LR), sob cultura anual, mata natural e pastagem, localizado no município de Lavras, MG e um Latossolo Vermelho-Escuro (LE), sob cultura anual, mata natural e pastagem, também localizado no município de Lavras, MG.

Para cada uma das condições estudadas foi realizada a amostragem em três pontos escolhidos aleatoriamente, nas profundidades de 0-0,03 e 0,27-0,30 m, sendo em cada profundidade coletadas cinco amostras indeformadas usando um anel volumétrico de 0,064 m de diâmetro por 0,0254 m de altura. Essas amostras foram utilizadas no ensaio de compressão uniaxial. Coletou-se também uma amostra deformada, em cada ponto, para cada condição, as quais foram usadas nas determinações dos limites de liquidez, plasticidade e de contração. Na condição de cultura anual, a amostragem foi efetuada logo após a colheita.

Os limites de liquidez e plasticidade (Sowers, 1965), carbono (Raij & Quaggio, 1983), limite de contração (Bowles, 1986) e textura (Gee & Bauder, 1986) foram determinados utilizando as amostras deformadas. Os ensaios de compressão uniaxial foram efetuados de acordo com Bowles (1986) modificado por Dias Junior (1994) e densidade do solo (Blake & Hartge, 1986), utilizando as amostras indeformadas.

Para simular as diferentes umidades em laboratório, foram saturadas, inicialmente, as amostras indeformadas, as quais foram secas ao ar no laboratório até se obter a umidade desejada.

Obtidas as umidades desejadas, as amostras indeformadas foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial, usando um consolidômetro da marca Boart Longyear, cuja aplicação das pressões se fez através da utilização de ar comprimido. As pressões aplicadas a cada amostra obedeceram à 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 & 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 abscissas (escala logarítmica) versus a densidade do solo (D_s) correspondente no eixo das ordenadas (escala decimal).

A partir das curvas de compressão, obtiveram-se as pressões de preconsolidação (σ_p) e os índices de compressão (m) de acordo com Dias Junior & Pierce (1995), sendo os índices de compressão plotados no eixo das ordenadas versus a umidade gravimétrica

no eixo das abscissas, conforme Dias Junior (1994) e Dias Junior & Pierce (1996).

Os resultados foram submetidos às análises de correlação, variância e ao teste de Tukey. As equações de regressão foram obtidas utilizando-se o software SIGMA PLOT (1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização dos solos

Os resultados das análises físicas de caracterização dos solos encontram-se no quadro 1. O LR apresentou teores de argila maiores do que o LV e o LE e, conseqüentemente, maiores valores de limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP), graças ao aumento da capacidade de adsorção de água (Odell et al., 1960; Baver et al., 1973), o que foi comprovado pelas correlações positivas obtidas entre os teores de argila e os LL e LP ($r = 0,57^{**}$ e $r = 0,53^{**}$, respectivamente, com $n = 54$). Segundo esses autores e Stone & Ekwue (1993), a elevação do teor de matéria orgânica também corresponde a uma elevação dos LL e LP, o que foi verificado pelas correlações positivas obtidas entre os teores de carbono orgânico e os LL e LP ($r = 0,35^{**}$ e $r = 0,46^{**}$, respectivamente, com $n = 54$). A elevação do LL e LP foi observada no LR quando comparada à do LV e à camada de 0,27-0,30 m do LE, devido provavelmente aos maiores valores de matéria orgânica nas duas camadas do LR. Além disso, o teor de óxidos de ferro livres (Rando et al., 1981) e a superfície específica (Assouline et al., 1997) podem ter contribuído para uma elevação do LP do LR. Assim, as variações nos valores dos LL e LP podem ter sido influenciadas 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.

Ao analisar a faixa de friabilidade (LP-LC, segundo Hillel, 1982) dos três solos (Quadro 1), 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. Tal fato revela a 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, visto que raros são os trabalhos que avaliam a capacidade de suporte de carga dos solos em função da variação da umidade (Carpenedo, 1994; Dias Junior, 1994; Kondo, 1998; Silva, 1998).

Os valores da densidade do solo inicial (D_{si}) (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 da mobilização do

Quadro 1. Parâmetros físicos dos três solos estudados sob diferentes condições de uso (médias de três repetições)

Condição	LL ⁽¹⁾	LP ⁽²⁾	LC ⁽³⁾	Faixa de friabilidade	C ⁽⁴⁾	Argila	Silte	Areia
kg kg ⁻¹								
Latossolo Vermelho-Amarelo								
0-0,03 m								
Cultura anual	0,42	0,33ab	0,30	0,03	18	237	316	446
Mata natural	0,42	0,29b	0,25	0,04	27	358	69	573
Pastagem	0,41	0,31ab	0,25	0,06	24	374	100	526
0,27-0,30 m								
Cultura anual	0,45	0,35a	0,32	0,03	12	426	186	388
Mata natural	0,45	0,29b	0,24	0,05	09	460	67	473
Pastagem	0,44	0,28b	0,22	0,06	07	463	106	432
Latossolo Roxo								
0-0,03 m								
Cultura anual	0,54	0,42bc	0,27	0,15	18	658	254	88
Mata natural	0,57	0,44ab	0,39	0,05	40	666	145	190
Pastagem	0,51	0,46a	0,32	0,14	25	587	231	182
0,27-0,30 m								
Cultura anual	0,58	0,44ab	0,30	0,14	14	683	235	81
Mata natural	0,51	0,41c	0,29	0,12	19	759	98	143
Pastagem	0,51	0,43bc	0,28	0,15	15	611	215	173
Latossolo Vermelho-Escuro								
0-0,03 m								
Cultura anual	0,44	0,35c	0,33	0,02	20	469	299	232
Mata natural	0,56	0,44a	0,31	0,13	51	333	129	539
Pastagem	0,51	0,40ab	0,33	0,07	27	398	125	477
0,27-0,30 m								
Cultura anual	0,50	0,37bc	0,33	0,04	14	697	134	169
Mata natural	0,50	0,34c	0,22	0,12	11	494	108	398
Pastagem	0,52	0,37bc	0,27	0,10	13	496	106	398

(1) Limite de liquidez. (2) Limite de plasticidade. (3) Limite de contração. (4) Carbono orgânico. Letras iguais, na mesma coluna, para cada solo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

solo pelo preparo (Quadro 2) e da sua menor quantidade de areia (Quadro 1). Já para o LR, ocorreu o contrário, revelando um maior grau de compactação para o solo sob a condição de cultura anual, reflexo das operações de manejo do solo e do menor teor de carbono orgânico (Quadro 1). A condição de pastagem apresentou, em geral, valores de D_{si} maiores do que os da cultura anual e mata natural para a profundidade de 0-0,03 m para os três solos, evidenciando o efeito do pisoteio do gado na camada superficial.

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, em que a compactação

adicional ocorre. O ponto que divide essas duas regiões na curva de compressão do solo chama-se pressão de preconsolidação (σ_p) (Figura 1) (Holtz & Kovacs, 1981; Dias Junior & Pierce, 1995, 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 et al., 1997).

Assim, os parâmetros D_{si} , σ_p , Ds correspondentes a σ_p e m (Quadro 3), definem a posição e a forma das curvas de compressão do solo, as quais variam de acordo com a classe de solo, umidade e manejo, além de poderem ter sido influenciadas pela mineralogia (Assouline et al., 1997). Para um mesmo tipo de solo (Quadro 3), os valores médios de D_{si} , Ds , σ_p e m , em geral, foram estatisticamente diferentes, exceto os valores de m para o LV. Os valores de σ_p médios não foram estatisticamente diferentes para o mesmo tipo de solo. A não-significância deveu-se ao fato de ser a

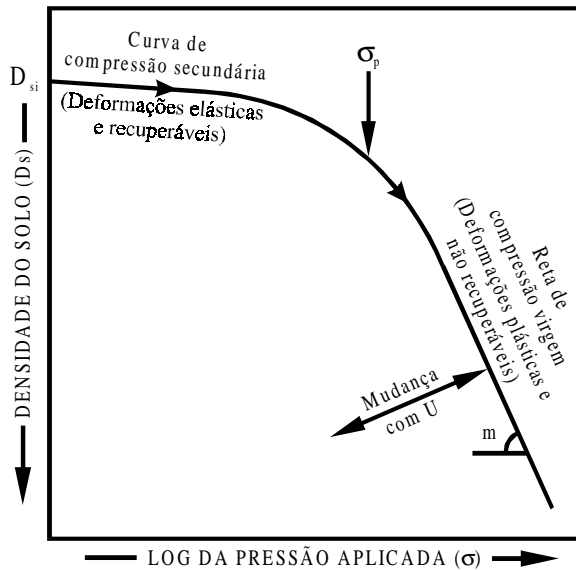


Figura 1. Exemplo de curva de compressão do solo, de acordo com Dias Junior (1994).

Quadro 2. Densidade do solo inicial (D_{si}) antes do ensaio de compressão para os três solos estudados

Solo	Cultura anual	Mata natural	Pastagem
Mg m ⁻³			
0-0,03 m			
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
0,27-0,30 m			
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).

variância dentro dos manejos nas duas profundidades para cada tipo de solo maior do que a variância entre os manejos.

Além disso, a análise de correlação de todas as condições de manejo na mesma profundidade mostrou que não houve correlações significativas entre os valores de σ_p e os de areia, silte e argila. Entretanto, houve correlação positiva entre m e o teor de argila ($p = 0,07$) e negativa com o teor de silte ($p = 0,05$), para o LR na profundidade de 0-0,03 m, e correlação negativa com o teor de argila ($p = 0,07$) e positiva com o teor de areia ($p = 0,06$), para o LE na profundidade de 0-0,03 m.

Neste trabalho, apenas as curvas de compressão para a condição LV - mata natural, profundidade de 0,27-0,30 m são apresentadas (Figura 2), tendo as outras condições apresentado comportamento semelhante, com aumento da densidade do solo e, conseqüentemente, redução de σ_p , em função da elevação da umidade. O comportamento das curvas de compressão corrobora com Larson et al. (1980); Culley & Larson (1987) e Dias Junior (1994). A importância dessas observações prende-se à ocorrência de variações dos parâmetros que definem a curva de compressão do solo tanto para solos de clima temperado (Larson et al., 1980; Culley & Larson, 1987; 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.

Neste estudo, a umidade do solo foi o principal fator regulador do comportamento compressivo do solo, conforme pode ser verificado na figura 2. De acordo com Larson et al. (1980), à medida que a umidade do solo aumenta, as curvas de compressão são geralmente deslocadas para a região de maior densidade do solo, sendo as retas de compressão virgem aproximadamente paralelas umas às outras. Nas condições em que foi realizado este estudo, tal deslocamento das curvas de compressão do solo para a região de maior densidade do solo com o aumento da umidade não ocorreu para as pressões aplicadas menores do que 100 kPa, aproximadamente (Figura 2a). Este fato pode ser atribuído aos diferentes valores das D_{si} , as quais determinaram o ponto de partida da curva de compressão do solo, mostrando o efeito do manejo na mesma, o que dificultou a visualização do efeito da umidade.

Para verificar somente o efeito da umidade na curva de compressão do solo, os valores das densidades do solo do final de cada estágio de pressão aplicada foram normalizados, ou seja, foram divididos pela D_{si} , eliminando o efeito do manejo no ponto de partida da curva de compressão do solo (Figura 2b). Dessa forma, as curvas de compressão do solo deslocaram-se para a região de maiores densidades, à medida que a umidade aumentou, conforme observação de Larson et al. (1980), mas sem que ocorresse o paralelismo entre as retas de compressão virgem.

Kondo (1998) observou que, em geral, para umidades compreendidas na faixa de friabilidade, as curvas de compressão do solo são coincidentes ou apresentam as retas de compressão virgem aproximadamente paralelas, indicando uma deformação similar para determinada pressão aplicada. As curvas de compressão obtidas por Kondo (1998) em umidade maiores do que o LP apresentam baixa σ_p e, conseqüentemente, baixa capacidade de suporte de carga. No presente estudo, porém, as curvas de compressão foram obtidas em umidades menores do que o LP. As retas de compressão virgem não foram paralelas e a curva de compressão

Quadro 3. Densidade do solo inicial (D_{si}), pressão de preconsolidação (σ_p), densidade do solo na pressão de preconsolidação (D_{σ_p}) e índice de compressão (m) dos três solos estudados (média de 15 determinações)

Condição	D_{si} Mg m ⁻³	σ_p kPa	D_{σ_p} Mg m ⁻³	m
Latossolo Vermelho-Amarelo				
0-0,03 m				
Cultura anual	1,00 c	249 ^{ns}	1,12 c	0,29 ^{ns}
Mata natural	1,18 b	253 ^{ns}	1,28 b	0,31 ^{ns}
Pastagem	1,23 ab	340 ^{ns}	1,34 ab	0,31 ^{ns}
0,27-0,30 m				
Cultura anual	1,00 c	270 ^{ns}	1,08 c	0,32 ^{ns}
Mata natural	1,23 b	330 ^{ns}	1,29 b	0,31 ^{ns}
Pastagem	1,29 a	300 ^{ns}	1,37 a	0,26 ^{ns}
Latossolo Roxo				
0-0,03 m				
Cultura anual	1,01 b	294 ^{ns}	1,09 ab	0,29 ab
Mata natural	0,71 d	340 ^{ns}	0,86 c	0,39 a
Pastagem	1,05 ab	359 ^{ns}	1,16 a	0,30 ab
0,27-0,30 m				
Cultura anual	1,11 a	394 ^{ns}	1,16 a	0,25 b
Mata natural	0,89 c	271 ^{ns}	1,02 b	0,33 ab
Pastagem	1,02 b	310 ^{ns}	1,10 a	0,30 ab
Latossolo Vermelho-Escuro				
0-0,03 m				
Cultura anual	0,98 d	288 ^{ns}	1,08 c	0,27 b
Mata natural	1,05 c	313 ^{ns}	1,18 b	0,37 a
Pastagem	1,04 c	326 ^{ns}	1,18 b	0,32 ab
0,27-0,30 m				
Cultura anual	0,94 d	308 ^{ns}	1,06 c	0,29 b
Mata natural	1,21 a	340 ^{ns}	1,30 a	0,29 b
Pastagem	1,17 b	361 ^{ns}	1,27 a	0,28 b

Letras iguais, na mesma coluna, para cada solo não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%. ^{ns} não-significativo pelo teste F a 5%.

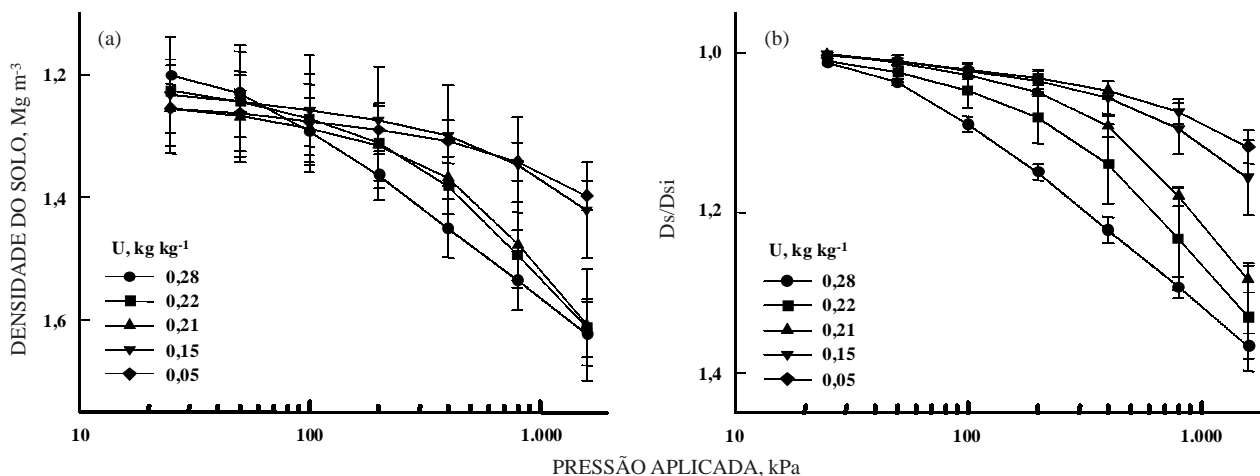


Figura 2. Curvas de compressão (a) e curvas de compressão normalizadas (b) para o Latossolo Vermelho-Amarelo sob mata natural, na profundidade de 0,27-0,30 m, médias de três repetições (as barras de erro representam o desvio-padrão da média).

secundária ficou mais evidenciada, mostrando um aumento da σ_p com a redução da umidade (Figura 2). Todavia, em qualquer condição, se pressões maiores do que σ_p forem aplicadas aos solos para qualquer umidade, a probabilidade de o processo da compactação ocorrer é grande, em decorrência da destruição da estrutura do solo.

Embora os valores médios de σ_p não sejam diferentes estatisticamente, a pastagem apresentou os maiores valores de pressão de preconsolidação na camada de 0-0,03 m para os três tipos de solos, evidenciando uma tendência de maior capacidade de suporte de carga causado pelo pisoteio do gado. Já a cultura anual para esta profundidade apresentou os menores valores de σ_p , evidenciando o efeito da destruição da estrutura do solo pelo preparo (Quadro 3).

Índice de compressão do solo (m)

Dada a variação do índice de compressão (m) com a umidade (Figura 2), considerou-se, para este estudo, o valor m como uma função da umidade, conforme proposto por Dias Junior (1994), sendo a forma geral desta relação a seguinte:

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

em que m é o índice de compressão (Mg m^{-3}); a, b e c

são parâmetros ajustados por meio do uso de regressão e U a umidade gravimétrica do solo (kg kg^{-1}). Os coeficientes de determinação (R^2) variaram entre 0,14 e 0,80 (Figuras 3, 4 e 5). Apesar de algumas dessas relações apresentarem R^2 não-significativo, observa-se que o LP fornece uma idéia razoável da umidade onde o solo esteja mais suscetível à compactação, por ser esse valor próximo à umidade que confere um índice de compressão máximo ($m_{\text{máx}}$) aos solos (Figuras 3, 4 e 5 e Quadro 1 e 4).

O significado prático dessa observação é que, pela 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. Entretanto, este conceito não estabelece níveis de pressões suportados pelo solo nesta faixa de umidade, o que pode levar à aplicação de pressões além da sua capacidade de suporte de carga.

Considerando m como uma medida da suscetibilidade do solo à compactação, observa-se que o solo sob mata natural na camada superficial é o mais suscetível à compactação, por apresentar, em geral, os maiores valores de $m_{\text{máx}}$ para as condições deste estudo (Quadro 4).

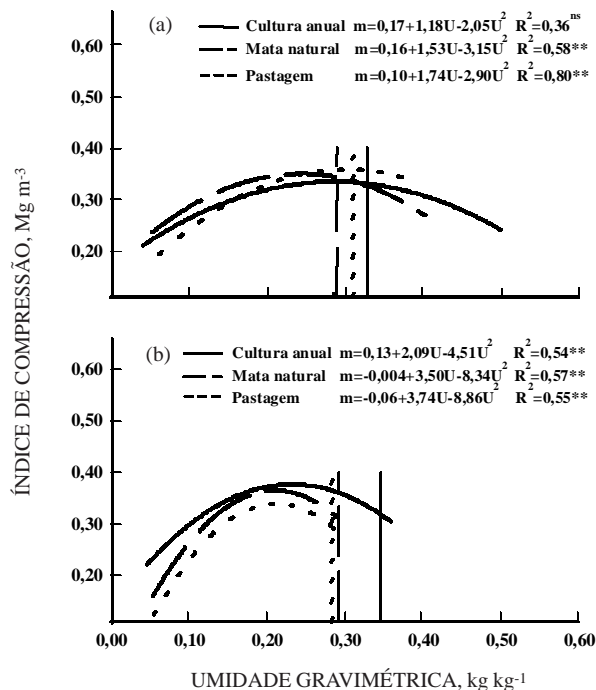


Figura 3. Relação entre o índice de compressão e a umidade gravimétrica para o Latossolo Vermelho-Amarelo sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem, nas profundidades de 0-0,03 m (a) e 0,27-0,30 m (b), com n = 15 (as linhas verticais representam os respectivos limites de plasticidade, com três repetições).

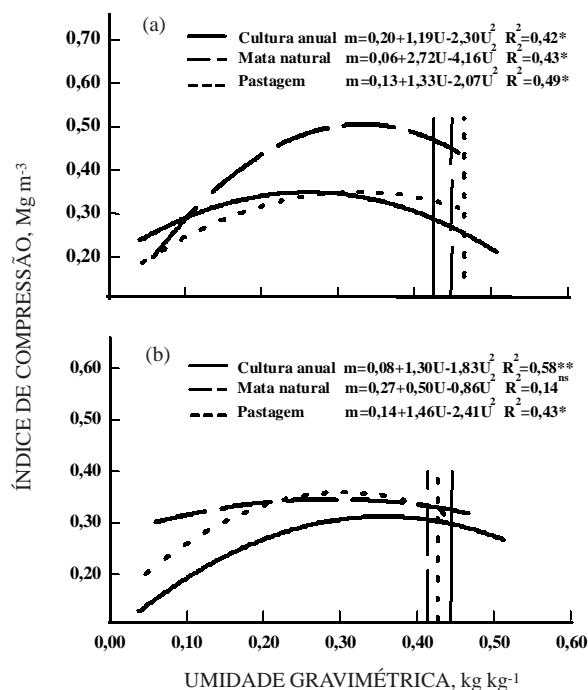


Figura 4. Relação entre o índice de compressão e a umidade gravimétrica para o Latossolo Roxo sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem, nas profundidades de 0-0,03 m (a) e 0,27-0,30 m (b), com n = 15 (as linhas verticais representam os respectivos limites de plasticidade, com três repetições).

Quadro 4. Umidades máximas ($U_{\text{máx}}$) e índices de compressão máximos ($m_{\text{máx}}$) para os três solos estudados

Condição	LV		LR		LE	
	$m_{\text{máx}}^{(1)}$	$U_{\text{máx}}^{(1)}$	$m_{\text{máx}}^{(1)}$	$U_{\text{máx}}^{(1)}$	$m_{\text{máx}}^{(1)}$	$U_{\text{máx}}^{(1)}$
	Mg m ⁻³	kg kg ⁻¹	Mg m ⁻³	kg kg ⁻¹	Mg m ⁻³	kg kg ⁻¹
0-0,03 m						
Cultura anual	0,33 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,35*	0,26*	0,29*	0,25*
Mata natural	0,35**	0,24**	0,51*	0,33*	0,43**	0,23**
Pastagem	0,36**	0,30**	0,35*	0,32*	0,40**	0,33**
0,27-0,30 m						
Cultura anual	0,38**	0,23**	0,31**	0,36**	0,33 ^{ns}	0,24 ^{ns}
Mata natural	0,36**	0,21**	0,35 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,32*	0,26*
Pastagem	0,34**	0,21**	0,36*	0,31*	0,36**	0,26**

(1) Valores obtidos a partir das equações de regressão (Figuras 3, 4 e 5). *, ** e ^{ns} significativos a 5, 1% e não-significativo, respectivamente.

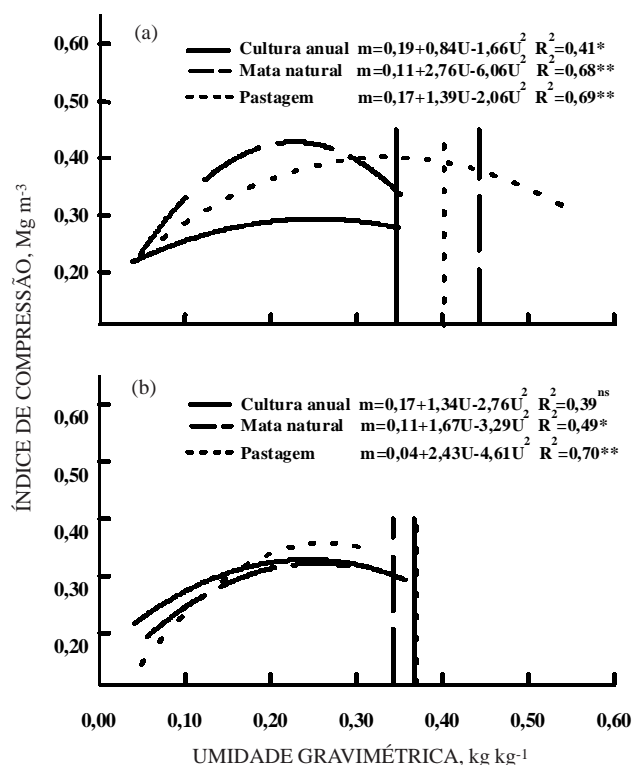


Figura 5. Relação entre o índice de compressão e a umidade gravimétrica para o Latossolo Vermelho-Escuro sob as condições de cultura anual, mata natural e pastagem, nas profundidades de 0-0,03 m (a) e 0,27-0,30 m (b), com n = 15 (as linhas verticais representam os respectivos limites de plasticidade, com três repetições).

CONCLUSÕES

Para as condições de execução do trabalho, foram possíveis as seguintes conclusões:

1. Variações nas propriedades físicas e mecânicas do solo, induzidas pelo manejo e pela textura, alteraram o seu comportamento compressivo, o qual foi avaliado por meio das mudanças no índice de compressão e na pressão de preconsolidação.

2. A umidade alterou a forma das curvas de compressão do solo, tendo o seu aumento correspondido a um aumento da densidade do solo, enquanto a D_{s_i} controlou a posição das curvas em relação ao eixo da densidade do solo.

3. Dada a proximidade dos valores do LP e dos valores da umidade correspondentes ao índice de compressão máximo ($m_{\text{máx}}$), o limite de plasticidade (LP) poderá ser usado como a umidade máxima na qual as operações motomecanizadas não deverão ser realizadas, concordando com Hillel (1982).

LITERATURA CITADA

- ALVARENGA, R.C.; FIGUEIREDO, A.F.; OLIVEIRA, W. & FREIRE, J.C. Armazenamento de água em um Podzólico Vermelho-Amarelo sob pastagem e cultivo anual. *Ci. Prat.*, 7:48-57, 1983.
- ASSOULINE, S.; TAVARES-FILHO, J. & TESSIER, D. Effect of compaction on soil physical and hydraulic properties: experimental results and modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:390-398, 1997.
- BARNES, K.K.; CARLETON, W.M.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R.I. & VANDEN BERG, G.E. *Compaction of agricultural soils*. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1971. 471p.
- 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. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 34:909-913, 1991.

- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, ASA/SSSA, 1986. pt.1. p.363-375. (Agronomy Monography, 9)
- BOWLES, J.A. *Engineering properties of soils and their measurements*. 3.ed. New York, McGraw-Hill, 1986. 218p.
- CARPENEDO, V. *Compressibilidade de solos em sistemas de manejo*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. 106p. (Tese de Doutorado)
- CASAGRANDE, A. The determination of the pre-consolidation load and its practical significance. In: *CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING*, Cambridge, 1936. *Proceeding*. Cambridge, 1936. v.3, p.60-64.
- CULLEY, J.L.B. & LARSON, W.E. Susceptibility to compression of a clay loam Haplaquoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:562-567, 1987.
- DIAS JUNIOR, M.S. *Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic*. East Lansing, Michigan State University, 1994. 114p. (Tese de Doutorado)
- DIAS JUNIOR, M.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 DOS RECURSOS NATURAIS EM ÁREA DE EXPLORAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR*, 1., Aracaju, 1997, Palestras. Aracaju, EMBRAPA-CPATC, 1997. p.67-81.
- DIAS JUNIOR, M.S. & PIERCE, F.J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. *Soil Technol.*, 8:139-151, 1995.
- DIAS JUNIOR, M.S. & PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:175-182, 1996.
- GEE, G.W. & BAUDER, J.W. Particle size analysis. KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, ASA/SSSA, 1986. pt.1, p.383-411. (Agronomy Monography, 9)
- GROHMANN, F. & QUEIROZ NETO, J.P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. *Bragantia*, 25:421-431, 1966.
- GUPTA, S.C.; HADAS, A.; VOOHEES, 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, Research Report, Binational Agric. Res. Development, University of Minnesota, 1985. 178p.
- HILL, R.L. & MEZA-MONTALVO, M. Long-term wheel traffic effects on soil physical properties under different tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:865-870, 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. 733p.
- KONDO, M.K. *Compressibilidade de três Latossolos sob diferentes usos*. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1998. 105p. (Tese de Mestrado)
- LARSON, W.E.; BLAKE, G.R.; ALLMARAS, R.R.; VOORHEES, W.B. & GUPTA, S.C. *Mechanics and related processes in structured agricultural soils*. Dordrecht, 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 Sci. Soc. Am. J.*, 44:450-457, 1980.
- LEBERT, M. & HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. *Soil Till. Res.*, 19:274-286, 1991.
- LEONARDS, G.A. *Foundation engineering*. New York, McGraw-Hill Book Company, 1962. 1136p.
- MORAES, W.V. *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. *Experientia*, 13:201-234, 1972.
- ODELL, R.T.; THORNBURN, T.H. & McKENSIE, L.J. Relationships of Atterberg limits to some other properties of Illinois soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 24:297-300, 1960.
- OLIVEIRA, M.; CURI, N. & FREIRE, J.C. Relações massa/volume em Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa da região de Lavras (MG) sob pastagem e cultivo anual. *Ci. Prát.*, 7:66-74, 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. *Ci. Prát.*, 5:40-47, 1981.
- ROSA Jr., E.J. *Efeito de sistemas de manejo e tempo de uso sobre características físicas e químicas de dois solos de Ponta Porã*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1984. 89p. (Tese de Mestrado)
- SIGMA PLOT. Scientific Graphing Software. Versão 4.0, San Rafael, Jandel Corporation, 1997. não paginado.
- SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. & CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:91-95, 1986.
- SILVA, R.B. *Efeito da adsorção de fósforo em parâmetros físicos e na compressibilidade de solos da micro-região dos Campos da Mantiqueira*, MG. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1998. 109p. (Tese de Mestrado)
- 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 Till. Res.*, 41:53-73, 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., eds. *Mechanics and related processes in structured agricultural soils*. Dordrecht, NATO Applied Sciences, Kluwer Academic Publishers, 1989. v.172. p.205-221.
- SOWERS, G.F. Consistency. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. pt. 1. Madison, American Society of Agronomy, 1965. 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. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 36:1713-1719, 1993.
- TAYLOR, H.M. Effects of 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., eds. *Compaction of agricultural soils*. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1971. p.292-305.
- 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., eds. *Compaction of agricultural soils*. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1971. p.225-240.
- 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., eds. *Compaction of agricultural soils*. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1971. p.126-153.