

SEÇÃO I - FÍSICA DO SOLO

COMPRESSIBILIDADE DE AGREGADOS DE UM LATOSSOLO AMARELO DA AMAZÔNIA EM RESPOSTA AO POTENCIAL DA ÁGUA DO SOLO⁽¹⁾

João Tavares Filho⁽²⁾, Michel Grimaldi⁽³⁾ & Daniel Tessier⁽⁴⁾

RESUMO

Normalmente a utilização agrícola dos solos é realizada com máquinas e implementos pesados que lhes causam compactação, responsável por afetar a disponibilidade de ar e de água para as plantas. O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento de agregados de Latossolo Amarelo da Amazônia sob compressão mecânica, submetidos a quatro níveis de umidade. Amostras de solo, úmidas e indeformadas, coletadas sob floresta, no horizonte A, a 10 cm de profundidade, e no horizonte B, a 150 cm de profundidade, foram utilizadas neste trabalho. No laboratório, essas amostras foram fragmentadas e peneiradas para obtenção de agregados de 2 a 3 mm de diâmetro, os quais foram colocados em equilíbrio com umidade de quatro potenciais matriciais para, após essa etapa, sofrerem uma compressão uniaxial com pressões de 32 a 1.000 kPa. Os resultados mostraram que a maior compressibilidade dos agregados, tanto para o horizonte A como para o B, ocorreu para o potencial matricial -32 kPa (umidade de 0,38 kg kg⁻¹), enquanto a menor ocorreu para os potenciais -1 kPa e -1.000 kPa (umidade de 0,32 e 0,30 kg kg⁻¹, respectivamente), indicando que esse solo não deve ser trabalhado com umidades próximas a 0,38 kg kg⁻¹. A maior redução de volume dos agregados, tanto para o horizonte A como para o horizonte B, foi obtida para pressões mecânicas inferiores a 400 kPa, indicando que esses solos são bastante sensíveis à compactação, principalmente os agregados do horizonte A, possivelmente por terem melhores condições estruturais decorrentes do maior teor de matéria orgânica.

Temas de indexação: compressão edométrica, índice de vazios, porosidade total, compressão de solo, compactação de solo.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em junho de 2003 e aprovado em maio de 2005.

⁽²⁾ Professor da Universidade Estadual de Londrina – UEL. Campus Universitário, CCA/Agronomia, Caixa Postal 6001, CEP 86051-990 Londrina (PR). E-mail: tavares@uel.br

⁽³⁾ Pesquisador do IRD - Institut de Recherche pour le Developpement 32, Avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy Cedex. E-mail: michel.grimaldi@bondy.ird.fr

⁽⁴⁾ Pesquisador do INRA - Institut Nacional de Recherche Agronomique. Centre de Recherche de Versailles - Grignon (Science du Soil). RD10. 78026 Versailles Cedex. E-mail: tessier@versailles.inra.fr

SUMMARY: AGGREGATE COMPRESSIBILITY OF AN AMAZON OXISOL IN RESPONSE TO WATER POTENTIAL

The agricultural use of soils usually relies on the use of heavy machinery that cause soil compaction, affecting the amount of air and water available for plants. The present study was carried out in the year 2000 and aimed at studying the performance of aggregates of an Amazon Oxisol under mechanical compression and that were subjected to varying degrees of matric potential. Humid and undisturbed tropical forest soil samples were collected from the A horizon (10 cm deep) and B horizon (150 cm deep). In the laboratory, the samples were broken into fragments and sieved to obtain 2 to 3 mm aggregates, which were placed in equilibrium under four matric potentials. Thereafter, they were exposed to uni-dimensional compression with pressures varying from 32 to 1.000 kPa. The highest compressibility of the aggregates for horizon A as well as for horizon B was observed for a matric potential of -32 kPa (soil moisture of 0.38 kg kg⁻¹), and the lowest for the potentials of -1 kPa and -1.000 kPa (soil moistures of 0.32 and 0.30 kg kg⁻¹, respectively), indicating that the soil should not be managed when moisture approximates 0.38 kg kg⁻¹. The largest reduction in aggregate volume occurred under a mechanical pressure below 400 kPa. This indicates that these soils are quite prone to compaction, specially the aggregates of the A horizon (10 cm), possibly because of better structural conditions owing to the higher organic matter content.

Index terms: edometric assay, empty index, total porosity, soil compression, soil compaction.

INTRODUÇÃO

A Amazônia Brasileira é uma vasta área de 3.000.000 km², essencialmente recoberta por uma floresta densa, úmida e que se mantém verde todo o ano. No centro dessa área, dentro da região de Manaus, a progressão da desflorestação é importante, notadamente sobre os solos do tipo Latossolo Amarelo que cobrem extensos platôs com declive suave. Esses solos amarelos, muito argilosos e cauliniticos, ocupam perto de 10 % da superfície Amazoniana.

Para a utilização agrícola desses solos, uma desflorestação total é normalmente realizada, utilizando meios mecânicos pesados, principalmente para a derrubada de árvores com correntões ou para seu corte. Com isso, modificações muito rápidas de propriedades de solos são observadas, notadamente de ordem química e biológica (Chauvel et al., 1987), mas também físicas. Estas afetam principalmente a estrutura do solo, como observado por Chauvel et al. (1987), Chauvel et al. (1991) e Grimaldi et al. (1993). A degradação física do solo é importante para a fertilidade do solo, visto que condiciona a disponibilidade de ar e água para as plantas, assegurando, ainda, o transporte de elementos nutritivos em solução, além de influenciar a infiltração e distribuição da água dentro do solo que tem, por sua vez, papel importante no controle da erosão hídrica.

Os equipamentos pesados usados para desflorestar, bem como as práticas culturais que se distinguem pela frequência e intensidade das pressões

mecânicas exercidas sobre o solo, degradam esses Latossolos em diferentes intensidades (Grimaldi et al., 1993). Segundo Kondo & Dias Júnior (1999a), um dos grandes entraves à mecanização intensiva de um solo refere-se à sua susceptibilidade à compactação, que se torna crítica em condições de umidade elevada.

Dentre os trabalhos realizados em laboratório sobre esse tema, Faure (1978) e Guerif (1982) estudaram o adensamento de materiais pedológicos submetidos à compactação dinâmica e à estática. Esses autores mostraram a influência, nesse processo, de fatores, tais como: intensidade das forças mecânicas, teor de água do material, teor de argila e matéria orgânica sobre o estado físico do solo considerado macroscopicamente. Carpenedo (1994) estudou a variação do conteúdo de água nas tensões de -6, -100 e -300 kPa em três solos do Rio Grande do Sul e concluiu que a compressibilidade do solo foi influenciada pelo sistema de manejo, pelas tensões de retenção da água e pelo tipo de solo.

Kondo & Dias Júnior (1999b) estudaram a compressibilidade de três Latossolos da região de Lavras (MG) e mostraram que o incremento do teor de água do solo provocou-lhes a redução da capacidade de suporte, independentemente do tipo de manejo a que haviam sido submetidos. Os autores afirmaram que o teor de água do solo foi o principal fator regulador do comportamento compressivo desses solos.

Silva et al. (2000) estudaram a susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo sob sistemas de

manejo convencional e plantio direto e graus de umidade de saturação inicial e concluíram que a deformação do solo apresentou comportamento diferenciado para cada solo. Secco (2003), estudando os estados de compactação de um Latossolo Vermelho distrófico (LV) e de um Latossolo Vermelho distroférrico (LVd), sob plantio direto, concluiu que o LV foi mais susceptível à compactação quando a umidade inicial de saturação por água era de 58 %, enquanto para o LVd a maior susceptibilidade ocorreu quando esse valor estava em 65 %.

Figueiredo et al. (2000) estudaram o efeito de sistemas de manejo do solo na umidade crítica de compactação e na densidade máxima de um Latossolo Roxo e concluíram que a umidade crítica corresponde a 90 % do limite de plasticidade e a 90 % da água retida a -10 kPa, que é praticamente igual à água retida a -33 kPa. Sala & Tessier (1993) e Tavares Filho (1995) mostraram, trabalhando com agregados argilosos, que é o potencial matricial da água no solo, mais que o teor de água do material, que determina mudanças de comportamento à compactação, quando submetido a pressões mecânicas estáticas.

O presente trabalho situa-se dentro da continuidade desses diferentes trabalhos e tem como objetivo estudar o comportamento de agregados de Latossolo Amarelo sob compressão mecânica, quando submetido à níveis de umidade correspondentes a diferentes potenciais matriciais.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se, para este estudo, amostras de solo coletadas sob floresta situada na região Amazônica, próximo à cidade de Manaus, entre os paralelos 0–8 ° Sul e meridianos 54–66 ° Oeste. O clima dessa região é tropical úmido, com uma pluviometria anual que varia de 1.200 e 2.400 mm, sendo a média anual de 2.075 mm (Lucas et al., 1984). O solo amostrado foi um Latossolo Amarelo álico textura argilosa

(Lucas et al., 1984; Chauvel et al., 1987). A primeira amostra foi coletada no horizonte A, na profundidade de 10 cm, e a segunda amostra no horizonte B, na profundidade de 150 cm. Esse solo é constituído essencialmente por caulinita (Quadro 1).

Segundo Sala (1991), para interpretar corretamente a compactação de um solo decorrente da pressão mecânica, é necessária uma boa caracterização de seu estado hídrico. Portanto, o modo de preparo da amostra de solo utilizada é um fator importante a ser controlado. O protocolo experimental consistiu em preparar agregados, macroscopicamente homogêneos, obtidos a partir de amostras de solo indeformadas – blocos de solo – sob vários potenciais matriciais de água, para submetê-los, em seguida, a pressões mecânicas de intensidade crescente.

Os blocos de solo foram coletados úmidos ($0,22 \pm 0,02 \text{ kg kg}^{-1}$ de água) e, no laboratório, fragmentados com precaução e manualmente. Seguiu-se peneiramento para obtenção de agregados de 2 a 3 mm, visando à utilização do dispositivo proposto por Sala & Tessier (1993) (Figura 1). Essa dimensão de agregado foi escolhida e padronizada, uma vez que, após o processo de peneiramento a seco das amostras de solo fragmentadas, observou-se uma concentração de agregados nas peneiras de 2 e 3 mm para as duas amostras de solos trabalhadas, refletindo a estrutura grumulosa predominante na superfície e microagregada em profundidade, como observado por Chauvel et al. (1987).

Os agregados assim obtidos foram colocados em equilíbrio com água, nos potenciais de -1, -10, -32 e -100 kPa no dispositivo desenvolvido por Tessier & Berrier (1979) (Figura 1a), que funciona segundo o mesmo princípio que o aparelho de Richards (1947). Após uma semana, até atingirem o equilíbrio com a umidade nos potenciais matriciais, os agregados foram pesados úmidos e após secagem a 105 °C. O volume úmido dos agregados foi medido pela técnica proposta por Monnier et al. (1973) para determinação de seus índices de vazios, água e ar, em estado natural, sem compactação.

Quadro 1. Características físicas e químicas das amostras dos horizontes A (10 cm) e B (150 cm) do Latossolo Amarelo sob floresta amazônica

Característica	Horizonte A (10 cm)	Horizonte B (150 cm)
Argila (g kg ⁻¹)	850	910
Areia total (g kg ⁻¹)	120	60
Silte (g kg ⁻¹)	30	30
Densidade de partículas (Mg m ⁻³)	2,64	2,60
Matéria orgânica (g dm ⁻³)	29,0	6,0
pH (em água)	5,0	5,0
CTC (cmol _e dm ⁻³)	3,0	3,0
Superfície específica (m ² g ⁻¹)	80	84

Após essa primeira etapa, uma nova bateria de agregados foi submetida aos mesmos procedimentos descritos no parágrafo anterior e, após atingirem o equilíbrio, foram compactados com pressão uniaxial variando de 32 a 1.000 kPa. Para verificar qual a condição de potencial matricial e pressão mecânica, obtinha-se a maior compressão dos agregados.

Na segunda fase, foi aplicada a pressão mecânica sobre os agregados, utilizando-se o dispositivo proposto por Sala & Tessier (1993) (Figura 1b), com vistas em avaliar a variação de volume e, ao mesmo tempo, controlar o conjunto de propriedades determinantes das características mecânicas (estado estrutural inicial, valores de potencial hídrico e pressão mecânica). Foi, então, colocado dentro do tubo um pistão (Figura 1b), dividindo o tubo em duas câmaras, uma alta e outra baixa, onde foram colocados os agregados. A pressão exercida na câmara alta atuava sobre o pistão, que a transmitia sobre os agregados de solo de forma que o aparelho funcionasse como uma câmara de ensaio de compressão edométrica. A pressão uniaxial usada neste trabalho variou de 32 a 1.000 kPa, por se acreditar ser essa faixa suficiente para cobrir a faixa de pressão exercida no solo pelas máquinas agrícolas.

Rusanov (1991) relatou que o preparo do solo com trator de esteira exercia uma pressão em torno de 150 kPa, enquanto a do trator com pneus podia variar de 180 a 200 kPa. Já Carpenedo (1994) afirmou que, normalmente, as pressões médias aplicadas sobre a superfície do solo pelos pneus dos tratores e colhedoras automotrizes estavam entre 100 e 200 kPa, enquanto as carretas agrícolas exerciam pressões que podiam chegar a valores próximos de 600 kPa.

As pressões foram aplicadas em seqüência, tendo sido o equilíbrio atingido quase que instantaneamente para cada pressão. Mesmo assim, esperou-se 3 min

em cada estágio (cada pressão aplicada), para obter a certeza de que 90 % de deformação máxima foi alcançada para cada pressão aplicada (Holtz & Kovacs, 1981). Efetuado o ensaio, as curvas de compressão do solo foram obtidas marcando-se a pressão aplicada no eixo das abscissas em escala logarítmica, e o *índice de vazios* (e), em escala decimal, no eixo das ordenadas (Holtz & Kovacs, 1981).

Vale ressaltar que, para cada potencial matricial e pressão avaliados, buscou-se relacionar as diferentes fases do solo (sólida, líquida e gasosa). Assim, os resultados, em vez de serem expressos em porosidade total, foram expressos em relação ao volume da fase sólida, pois, segundo Tessier (1984), essa referência é mais apropriada aos resultados obtidos sobre materiais cuja massa volumétrica da fase sólida é diferente. Dessa forma, é possível comparar resultados de materiais que apresentam diferentes massas volumétricas da fase sólida.

Assim, para exprimir o volume de vazios, utilizou-se o *índice de vazios* (e), que é dado pela relação *volume de vazios / volume de sólidos*; para o volume de água, utilizou-se o *índice de água* (θ), que é dado pela relação *volume de água / volume de sólidos*, e, para o volume de ar, utilizou-se o *índice de ar* (a), que é dado pela relação *volume de ar / volume de sólidos*, ou simplesmente pela diferença entre o índice de vazios e o índice de água. Quanto maior o índice de vazios, mais poroso é o solo e, portanto, menor é sua densidade. Esses índices foram calculados a partir das medidas seguintes:

- a altura da amostra dentro do tubo (h) e seu raio ($r = 2$ cm) permitiram calcular o volume dos agregados e sua evolução de acordo com a pressão mecânica;
- as massas (úmida (M_u) e seca (M_s)) e o empuxo exercido pela amostra dentro do querosene (M_q) constituíram a massa volumétrica do querosene, $\delta = 0,782$ g cm⁻³ (método proposto por Monnier et al., 1973);
- as densidades de partícula, determinadas pelo método do picnômetro, consideradas para o horizonte A e B, foram, respectivamente, de 2,64 e 2,60 kg dm⁻³.

Os resultados assim calculados foram apresentados em valores médios de três repetições, juntamente com os desvios-padrão obtidos por potencial matricial e pressão aplicada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comportamento dos agregados antes da compressão edométrica

Os resultados dos índices de vazios, de água e de ar e a curva característica de umidade dos agregados (Figura 2) são média de três repetições, com um desvio-padrão inferior a 0,03, para os índices, e

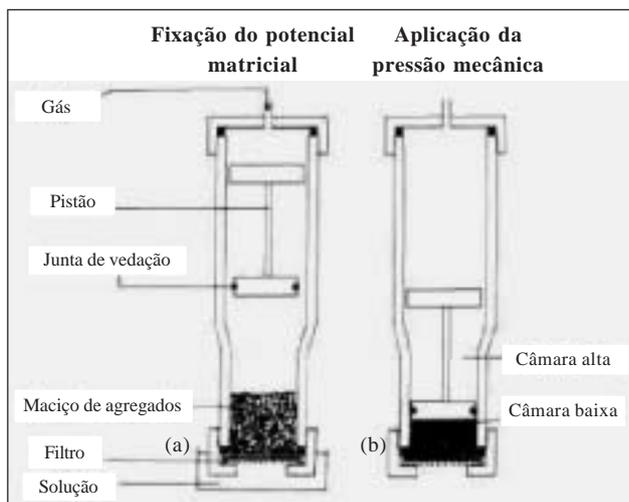


Figura 1. Dispositivo utilizado para o trabalho: (a) fixação do potencial matricial (Tessier & Berrier, 1979) e (b) aplicação de uma pressão mecânica uniaxial (Sala & Tessier, 1993).

inferior a 0,06, para a curva característica. Isso indica boa exatidão das análises laboratoriais, boa homogeneidade dos dados e, portanto, confiabilidade para trabalhar com os dados médios apresentados.

Comparando-se os agregados do horizonte A com os do horizonte B (Figura 2), verificou-se que: (a) os índices de vazios (e) e de água (θ) foram sistematicamente maiores para os agregados do horizonte B; (b) o índice de ar (a) diminuiu regularmente entre os potenciais -1.000 e -1 kPa, tornando-se muito pequeno em -1 kPa, quando os agregados estavam quase que saturados por água, enquanto, para o potencial -1.000 kPa, o índice de ar foi pequeno para os agregados dos dois horizontes do solo estudado. Segundo esses resultados, os agregados do horizonte B apresentaram maior capacidade de retenção de água e um volume de vazios maior que os agregados do horizonte A, o que pode ser confirmado pela análise da curva de característica dos maciços de agregados (Figura 2).

A umidade é sistematicamente mais elevada nos agregados do horizonte B (Figura 2), principalmente para os potenciais matriciais maiores que -32 kPa, nos quais a umidade do solo é dependente da distribuição dos poros e, por consequência, influenciada pela estrutura do solo (Mathieu & Pielain, 1998), indicando que o volume de poros de tamanho superior a 5 μm é mais importante no horizonte B do que no horizonte A.

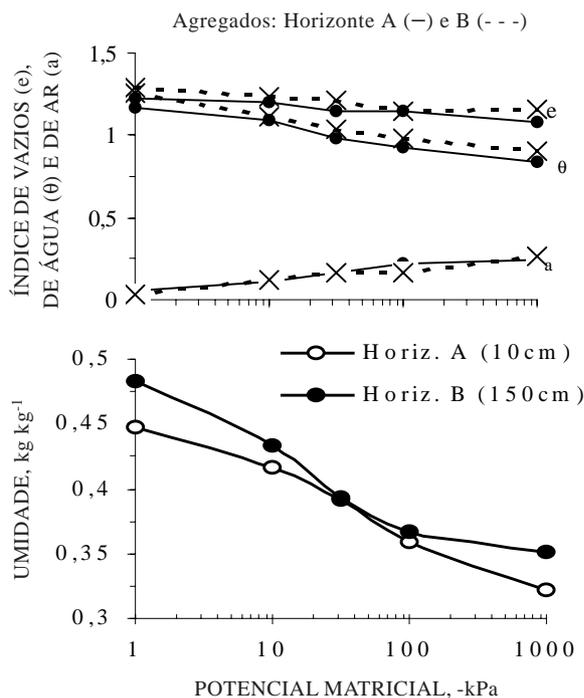


Figura 2. Índices de vazios (e), de água (q) e de ar (a) e curva característica de umidade dos agregados de 2 a 3 mm de diâmetro, dos horizontes A e B do Latossolo Amarelo sob floresta amazônica.

Esse resultado está de acordo com os apresentados por Chauvel et al. (1987) que, analisando lâminas delgadas de amostras desse solo no microscópio ótico observaram, no horizonte B, na profundidade de 1,50 m, a existência de finas fissuras (30 μm) delimitando os microagregados argilosos. Para os potenciais menores que -32 kPa, observou-se uma retenção de água pelos agregados do horizonte B.

Sabe-se que, nesses potenciais, a umidade do solo é influenciada pela adsorção pelas partículas do solo, ou seja, é influenciada pela textura do solo e pela superfície específica (Mathieu & Pielain, 1998). Dessa forma, a maior umidade do horizonte B, para os potenciais mais baixos, reflete os resultados mostrados no quadro 1, onde se pode observar maior quantidade de argila e maior superfície específica no horizonte B, logo maior capacidade de adsorção de água.

Comportamento dos agregados sob compressão edométrica

O comportamento dos agregados sob compressão edométrica, cujos resultados são média de três repetições, está apresentado na figura 3. O desvio-padrão variou de 0,04 a 0,06, para os dois horizontes, indicando boa precisão nas análises laboratoriais, homogeneidade dos dados e, portanto, confiabilidade para trabalhar com os dados médios apresentados.

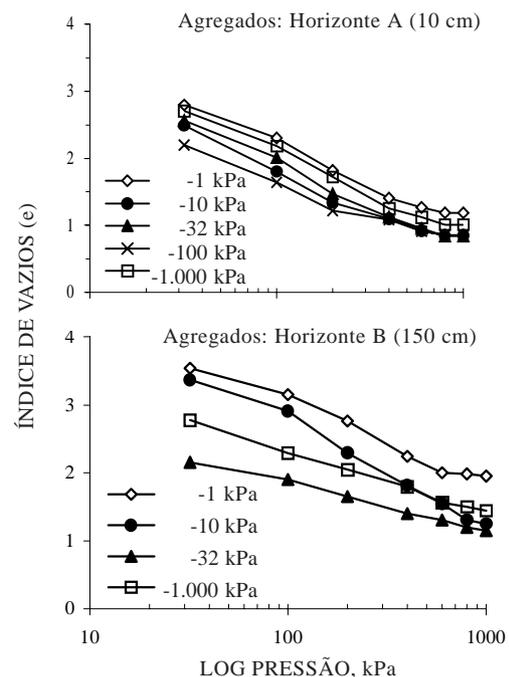


Figura 3. Evolução do índice de vazios (e) dos agregados dos horizontes A e B do Latossolo Amarelo, considerando a pressão mecânica (kPa) aplicada para níveis de umidade correspondentes aos potenciais matriciais de -1, -10, -32, -100 e -1.000 kPa.

Observou-se que a maior redução de volume dos agregados foi obtida para pressões mecânicas inferiores a 400 kPa (Figura 3). Grimaldi et al. (1993) mostraram, em um estudo de campo, que esses solos mostraram-se bastante sensíveis à compactação, provavelmente pelo baixo teor de óxidos de Fe que conferem efeito cimentante à microestrutura do solo, aumentando sua resistência à compactação. A menor redução de volume dos agregados (menor compressão dos agregados) correspondeu ao potencial hídrico mais elevado (-1 kPa) e ao potencial mais baixo (-1.000 kPa). É entre os potenciais -10 e -100 kPa (umidade de 0,32 e 0,30 kg kg⁻¹, respectivamente) para os agregados do horizonte A, e, para o potencial -32 kPa (umidade de 0,38 kg kg⁻¹), para os agregados do horizonte B, que ocorreu a maior redução de volume (maior compressão do solo) para a pressão mecânica final de 1.000 kPa.

Esses resultados estão de acordo com os apresentados por Sala (1991), Sala & Tessier (1993) e Tavares Filho (1995), que também verificaram, trabalhando com diferentes materiais argilosos, que, em torno do potencial de -32 kPa, ocorreu a maior compressão desses materiais. Figueiredo et al. (2000) também relataram que a umidade crítica (0,29 kg kg⁻¹) para compactação de Latossolo Roxo correspondeu a 90 % da água retida a -10 kPa, praticamente igual à água retida a -33 kPa.

Questiona-se, então, a razão de terem sido esses materiais argilosos, assim como os agregados de solo utilizados nesses estudos mais sensíveis à compressão dentro dessa faixa de potencial situado em torno de -32 kPa. Entre -10 e -100 kPa, o tamanho máximo de poros cheios de água variou de 15 a 1,5 µm, sendo, portanto, de tamanho suficiente para que parte do espaço poral entre agregados esteja repleto de água. Contribuem, assim, para aproximar os agregados pela tração exercida sobre suas paredes (Tessier et al., 1992; Sala & Tessier, 1993), além de que os agregados encontram-se com uma umidade na qual sua capacidade de suporte torna-se menor, em virtude de a água atuar como lubrificante entre as partículas, reduzindo o atrito ao deslocamento. O rearranjo das partículas do solo deixa os agregados do solo mais macios, alterando-lhes o estado de consistência e tornando-os mais susceptíveis à compactação (Secco, 2003).

Outrosim, quando os poros, em sua maioria, com tamanho de 150 µm a -1 kPa estão cheios de água, os agregados tornam-se pouco compressíveis, como foi mostrado por Faure (1978) e, para o caso do solo mais seco, como para o potencial -1.000 kPa, a água preenche somente o espaço poral entre cristais de argila e as forças capilares não podem mais contribuir para a reorganização dos agregados. Nessa situação, maior parece ser a capacidade de suporte dos agregados por estarem as partículas mais coesas (Secco, 2003), visto que a umidade não

é suficiente para reduzir o atrito ao deslocamento e o rearranjo das partículas do solo, deixando o solo (os agregados) menos susceptível à compactação.

Esses resultados indicam também que os agregados do horizonte A são mais densos que os do horizonte B, tanto antes da aplicação da pressão mecânica (Figura 2) como após (Figura 3), indicando que a compactação acentua ainda mais as diferenças de compacidade entre esses dois horizontes. No horizonte A, para a pressão final de 1.000 kPa, chega-se a um índice de vazios em torno de 0,80 para o potencial matricial -32 kPa, enquanto para o mesmo potencial, o horizonte B apresenta um índice de vazios de 1,15, para a mesma pressão final.

Comparando os valores de índice de vazios dos agregados (0,80, para o horizonte A, e 1,15, para o horizonte B), após compressão edométrica, com os dos agregados antes da compressão edométrica (1,15, para o horizonte A, e 1,21, para o horizonte B, para o potencial matricial de -32 kPa) (Figura 2), verificou-se que a compressão diminuiu o volume de poros intra-agregados do horizonte A, enquanto, no horizonte B, isso não aconteceu, embora apresentasse um maior volume de poros com tamanho superior a 5 µm como visto anteriormente; os poros entre agregados teriam quase que desaparecido pela coalescência dos agregados.

Como visto anteriormente, os agregados do horizonte B apresentaram maior capacidade de retenção de água, quando comparados com os do horizonte A; logo, considerando as mesmas condições de potencial matricial e pressão mecânica aplicada, quanto maior a umidade de um material, menor sua compressibilidade (Faure, 1978). Esses resultados evidenciam, ainda, que as pressões mecânicas aplicadas nesses agregados do horizonte B não foram suficientes para extrair-lhes a água que parece estar fortemente retida e que o horizonte A, possivelmente por ter maior teor de matéria orgânica, propiciou melhores condições estruturais tornando o solo mais susceptível à compactação.

CONCLUSÕES

1. A maior compressibilidade dos agregados, tanto para o horizonte A como para o B, ocorreu para o potencial matricial -32 kPa (umidade de 0,38 kg kg⁻¹), enquanto a menor ocorreu para os potenciais -1 e -1.000 kPa (umidade de 0,32 e 0,30 kg kg⁻¹, respectivamente), indicando que esse solo não deve ser trabalhado com umidade em torno de 0,38 kg kg⁻¹.

2. A maior redução de volume dos agregados, tanto para o horizonte A como para o B, foi obtida para pressões mecânicas inferiores a 400 kPa, indicando que esses solos mostraram-se bastante sensíveis à compactação, quando expostos ao trabalho mecânico.

3. Os agregados do horizonte A (10 cm) apresentaram sensibilidade maior à compressão que os agregados do horizonte B (150 cm), possivelmente por terem melhores condições estruturais graças ao maior teor de matéria orgânica.

LITERATURA CITADA

- CARPENEDO, V. Compressibilidade de solos em sistemas de manejo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. 106p. (Tese de Doutorado)
- CHAUVEL, A.; GRIMALDI, M. & TESSIER, D. Changes in porespace distribution following deforestation and revegetation. An example from the central Amazon basin, Brazil. *For. Ecol. Manag.*, 38:259-271, 1991.
- CHAUVEL, A.; GUILLAUMET, J.L. & SCHUBART, H.O.R. Importance et distribution des racines et des êtres vivants dans un "Latossol" argileux sous forêt amazonienne. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 24:19-48, 1987.
- FAURE, A. Comportement des sols au compactage : rôle de l'argile et conséquences sur l'arrangement des grains. Grenoble, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1978. 137p. (Thèse de Doctorat)
- FIGUEIREDO, L.H.A.; DIAS JÚNIOR, M.S. & FERREIRA, M.M. Umidade crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Roxo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:487-493, 2000.
- GRIMALDI, M.; SARRAZIN, M.; CHAUVEL, A.; LUIZAO, F.; NUNES, N.; RODRIGUEZ, M. R.L.; AMBLARD, P. & TESSIER, D. Effets de la déforestation et des cultures sur la structure des sols argileux d'Amazonie brésilienne. *Cah. Agric.*, 2:36-47, 1993
- GUERIF, J. Compactage d'un massif d'agrégats: effet de la teneur en eau et de la pression appliquée. *Agronomie*, 2:287-294, 1982.
- HOLTZ, D. & KOVACS, W.D. An introduction to geotechnical engineering. New Jersey, Prentice-Hall, 1981. 733p.
- KONDO, M.K. & DIAS JÚNIOR, M.S. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três Latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:497-506, 1999a.
- KONDO, M.K. & DIAS JÚNIOR, M.S. Estimativa do efeito do uso e da umidade do solo sobre a compactação adicional de três Latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:773-782, 1999b.
- LUCAS, Y.; CHAUVEL, A.; BOULET, R.; RANZANI, G. & SCATOLINI, L. Transição "Latossolo - Podzóis" sobre a Formação Barreiras na região de Manaus, Amazônia. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:325-335, 1984.
- MATHIEU, C. & PIELAIN, F. Analyse physique des sols: Méthodes choisies. Paris, Lavoisier Tec & Doc, 1998. 275p.
- MONNIER, G.; STENGEL P. & FIES, J.C. Une méthode de mesure de la densité apparente de petits agglomérats terreux. Application à l'analyse des systèmes de porosité du sol. *Ann. Agron.*, 24:533-545, 1973.
- RICHARDS, L.A. Pressure membrane apparatus - construction and use. *Agric.Eng.*, 28:451-454, 1947.
- RUSANOV, V.A. Effects of wheel and track traffic on the soil on crop growth and yield. *Soil Till. Res.*, 19:121-131, 1991.
- SALA, J.H. Comportement des massifs d'agrégats sous contrainte hydrique, puis oedométrique. Application à la Kaolinite de Saint-Austell et à l'horizon B du sol de Versailles. Versailles, INRA - Institut National de la Recherche Agronomique, 1991. 61p. (Mémoire de D.E.A. de Pédologie)
- SALA, J.H. & TESSIER, D. Importance de l'état énergétique de l'eau sur l'amplitude au tassement de matériaux argileux non saturés. Paris, *Critical Revue Academic Science*. 1993. T.1, p.231-236.
- SECCO, D. Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003, 108p. (Tese de Doutorado)
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:239-249, 2000.
- TAVARES FILHO, J. Organisation et comportement des Latosols du Paraná (Brésil). Influence de leur mise en valeur. Nancy, Université de Nancy I, 1995. 229p. (Tese de Doutorado)
- TESSIER, D. & BERRIER, J. Utilisation de la microscopie électronique à balayage dans l'étude du sol. Observation de sols humides soumis à différents pF. *Sci. Sol.*, 1:67-82, 1979.
- TESSIER, D. Etude expérimentale de l'organisation des matériaux argileux. Hydratation, gonflement et structuration au cours de la dessiccation et de la réhumectation. Paris, Université de Paris VII, 1984. 361p. (Tese de Mestrado)
- TESSIER, D.; LAJUDIE, A. & PETIT, J.C. Relation between the macroscopic behavior of clays and their microstructural properties. *Appl. Geochem.*, 1:151-161, 1992.