

CAPACIDADE DE SUPORTE E COMPRESSIBILIDADE DE UM ARGISSOLO, INFLUENCIADAS PELO TRÁFEGO E POR PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO⁽¹⁾

Henrique Debiasi⁽²⁾, Renato Levien⁽³⁾, Carlos Ricardo Trein⁽³⁾, Osmar Conte⁽²⁾ & Michael Mazurana⁽⁴⁾

RESUMO

Uma das medidas mais efetivas na prevenção da compactação do solo é a aplicação de pressões inferiores à sua capacidade de suporte de carga, estimada pela tensão de pré-consolidação (σ_p). Visando a quantificar o efeito de plantas de cobertura de inverno e do tráfego de rodados de trator sobre a σ_p e sobre o índice de compressibilidade (IC), vem sendo realizado, desde 2002, um experimento em Eldorado do Sul (RS), em Argissolo Vermelho distrófico franco-argilo-arenoso. Os tratamentos, sob semeadura direta, abrangem três coberturas de inverno (pousio, aveia preta e aveia preta + ervilhaca, substituída em 2006 por nabo forrageiro) e duas condições de tráfego (com ou sem tráfego de rodados de trator). No verão, foram semeados milho e soja, em rotação anual. Amostras de solo indeformadas, visando à determinação de algumas propriedades físicas e da σ_p e do IC, foram coletadas, em junho e novembro de 2006, nas camadas de 0,03-0,06 e 0,12-0,15 m, e equilibradas a diferentes tensões de água. Independentemente da época de avaliação e do tráfego, o pousio resultou nos maiores valores de σ_p e menores de IC na camada de 0,03-0,06 m. Com menor teor de água no solo, as diferenças na σ_p entre o pousio e as plantas de cobertura tenderam a diminuir. A realização de sete tráfegos em cinco anos aumentou a σ_p apenas na superfície do solo, mas não afetou o IC. O uso de plantas de cobertura de inverno, aliado à ausência de tráfego, ao reduzir a

⁽¹⁾ Trabalho apresentado no XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007 (Gramado, RS).

⁽²⁾ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Avenida Bento Gonçalves, 7712, Bairro Agronomia, CEP 91501-970, Porto Alegre (RS). E-mail: henridebiasi@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor adjunto, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia UFRGS. E-mail: renatole@ufrgs.br

⁽⁴⁾ Agronomando UFRGS. E-mail: m.mazu@bol.com.br

densidade do solo e aumentar a macroporosidade, diminuiu a capacidade de suporte de carga e aumentou a susceptibilidade da superfície do solo à compactação.

Termos de indexação: compactação do solo, tensão de pré-consolidação, índice de compressibilidade, manejo do solo.

SUMMARY: BEARING CAPACITY AND COMPRESSIBILITY OF ARGISOL (PALEUDULT) AS AFFECTED BY TRAFFIC AND WINTER COVER CROPS

*One of the most effective practices in preventing soil compaction is to apply stresses below the bearing capacity of the soil, often estimated by the pre-compression stress (σ_p). To evaluate the effects of cover crops and tractor traffic on σ_p and compression index (CI), a field experiment was initiated in 2002 on sandy clay loam Paleudult, in Southern Brazil (Rio Grande do Sul State). Treatments under no-tillage involved winter fallow and two winter cover crops (black oats and black oats + vetch, which was substituted in 2006 by oilseed radish - *Raphanus sativus* L.) in the plots and two traffic conditions (with and without wheel-tractor traffic) in the subplots. Undisturbed soil cores were sampled in June and November 2006 to determine soil physical properties as well as σ_p and CI by uniaxial compression tests in an oedometer. Before oedometer tests, soil cores were equilibrated at different water tensions. Regardless of time and traffic conditions, winter fallow showed the highest σ_p value and the lowest CI value at 0.03-0.06 m. As the soil became drier, differences in σ_p between winter fallow and cover crops were reduced. In five years, seven wheel-tractor passages increased σ_p only in the surface layer (0.03-0.06 m), without altering CI. The use of cover crops and absence of traffic reduced the soil bearing capacity and increased soil susceptibility to compaction due to the reduction in soil bulk density and increase of macropores.*

Index terms: soil compaction, pre-compression stress, compression index, soil management.

INTRODUÇÃO

A compactação constitui uma das principais causas da degradação do solo. O aumento no grau de compactação do solo é acompanhado por incrementos na sua densidade e resistência mecânica, bem como por reduções na porosidade total, macroporosidade, capacidade de infiltração de água, aeração e condutividade hidráulica (Dias Junior & Pierce, 1996). Essas modificações podem diminuir a produtividade das culturas e aumentar as perdas de nutrientes, as emissões de gases causadores do efeito estufa e a poluição dos recursos hídricos (Lipiec et al., 2003). A compactação prejudica o desempenho das máquinas agrícolas, diminuindo a qualidade do trabalho e aumentando a força de tração exigida pelos equipamentos de mobilização do solo (Tullberg, 2000).

A estratégia mais eficaz para a prevenção da compactação envolve a aplicação de tensões externas que não excedam a capacidade de suporte do solo, a qual pode ser estimada pela tensão de pré-consolidação - σ_p (Alakuku et al., 2003). A σ_p é obtida a partir da curva de compressão do solo, que relaciona o índice de vazios com o logaritmo da carga aplicada. Em solos já submetidos a tensões externas, a curva

de compressão é dividida em dois segmentos (Dias Junior & Pierce, 1996): um curvo, denominado curva de compressão secundária, em que as deformações são elásticas (reversíveis); e outro linear, chamado de reta de compressão virgem, em que as deformações correspondentes são plásticas (irreversíveis). A σ_p é a tensão que separa esses dois segmentos, sendo um indicador da máxima carga à qual o solo foi submetido (Veiga et al., 2007). A tangente do ângulo de inclinação da reta de compressão virgem corresponde ao índice de compressibilidade (IC), que mede a susceptibilidade do solo à compactação (Dias Junior & Pierce, 1996).

A densidade do solo (D_s) inicial, os teores de argila e de água e a estrutura são os principais atributos de solo que afetam a σ_p e o IC. Em solos mais argilosos e, ou, mais densos, os valores de σ_p são mais elevados, o que pode ser atribuído à maior força de fricção e de coesão entre as partículas (Imhoff, 2002). A σ_p diminui de acordo com o incremento do teor de água do solo, pois o aumento da espessura do filme de água que envolve as partículas, reduz a coesão e o atrito entre elas (Imhoff, 2002). Já os valores do IC diminuem com o aumento na D_s (Braidá, 2004) e com a redução no teor de argila (Imhoff, 2002). Em geral, o IC

responde de forma quadrática ao incremento no teor de água do solo (Dias Junior & Pierce, 1996; Braida, 2004), mas relações não-significativas entre estas propriedades também têm sido encontradas (Imhoff, 2002).

Existe pouca informação a respeito dos efeitos produzidos pelas plantas de cobertura sobre a capacidade de suporte de carga e a susceptibilidade do solo à compactação. É possível, porém, que esta prática afete a σ_p e o IC, uma vez que as plantas de cobertura atuam na estruturação do solo, formando e estabilizando agregados de maior tamanho (Wohlenberg et al., 2004), o que ocorre graças ao aporte de resíduos orgânicos e exsudatos radiculares e à ação mecânica das raízes (Oades, 1993). Por um lado, a resistência à deformação tende a ser maior em solos agregados (Veiga et al., 2007), assim como a resistência dos agregados à ruptura aumenta com o incremento do teor de matéria orgânica do solo - MOS (Imhoff, 2002). Em contrapartida, a formação de agregados maiores, ao aumentar a proporção de macroporos e, eventualmente, reduziu a D_s , pode diminuir a capacidade de suporte de carga do solo (Rücknagel et al., 2007). Além disso, as diferenças no IC e na σ_p ocasionadas pelas plantas de cobertura podem ser minimizadas pelo tráfego, em virtude da provável destruição da estrutura do solo. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito das plantas de cobertura de inverno e do tráfego de

rodados de trator sobre a capacidade de suporte de carga e compressibilidade de um Argissolo.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental localiza-se na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Eldorado do Sul, região central do Estado do Rio Grande do Sul. A região apresenta precipitação pluvial média anual de 1440 mm e o clima é subtropical com verões úmidos e quentes (Cfa). O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico, de textura superficial franco-argilo-arenosa (Quadro 1). O experimento, sob semeadura direta, foi instalado no inverno de 2002 em uma área de campo natural degradado, adotando-se o delineamento de blocos ao acaso e quatro repetições. Os tratamentos principais constam de três coberturas de inverno (aveia preta, aveia preta + ervilhaca e pousio), dispostas sempre sobre as mesmas parcelas (4,5 x 20 m). No inverno de 2006, o tratamento aveia preta + ervilhaca foi substituído por nabo forrageiro. Dentro de um bloco, cada cobertura de inverno ocupa duas parcelas, propiciando assim a semeadura do milho e da soja em rotação anual. Em 2004, toda a área permaneceu em pousio em decorrência de uma forte estiagem.

Quadro 1. Principais características físicas e químicas da área experimental, determinadas em junho de 2006

Característica	Camada (m)		
	0,00 a 0,06	0,06 a 0,12	0,00 a 0,12
pH em água	5,5	5,2	5,4
P (mg dm ⁻³)	10,7	3,4	7,0
K (mg dm ⁻³)	318	199	258
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4,5	3,0	3,8
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,1	1,5	1,8
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,2	0,1
CTC (cmol _c dm ⁻³)	10,8	9,0	9,9
Saturação por bases (%)	67	57	62
Areia (g kg ⁻¹)	529	492	510
Silte (g kg ⁻¹)	215	220	218
Argila (g kg ⁻¹)	256	288	272
Limite de liquidez (kg kg ⁻¹)	n.d.	n.d.	0,23
Limite de plasticidade (kg kg ⁻¹)	n.d.	n.d.	0,14
Limite de contração (kg kg ⁻¹)	n.d.	n.d.	0,08

n.d. – não determinado.

A semeadura das plantas de cobertura de inverno e das culturas de verão foi mecanizada e sob tráfego controlado, ou seja, a passagem dos rodados do trator ocorreu sempre nas mesmas zonas dentro da parcela. Isso originou os tratamentos “com tráfego” e “sem tráfego”, dispostos nas subparcelas. Até novembro de 2006, foram realizados sete tráfegos de rodados de trator. A cada parcela corresponderam duas passadas contíguas da semeadora-adubadora (2,25 x 20 m). As demais operações foram realizadas com a passagem do trator fora das parcelas. Para a semeadura de inverno, a semeadora-adubadora foi equipada com onze linhas de semeadura espaçadas de 0,17 m, constituídas por um sulcador do tipo disco duplo desencontrado para a deposição do adubo e da semente, atuando a uma profundidade média de 0,03 m. Na semeadura da soja e do milho, a semeadora-adubadora foi equipada com três e cinco linhas espaçadas de 0,45 e 0,90 m, respectivamente. Cada linha era composta por um disco de corte de palha e por sulcadores do tipo haste e disco duplo desencontrado para a deposição do adubo e da semente, respectivamente. A mobilização na linha de semeadura atingiu uma profundidade média de 0,09 m. Para tracionar a semeadora-adubadora, foi utilizado um trator 4x2 TDA, com potência máxima no motor de 53 kW, massa total de 3835 kg (1530 kg sobre o eixo dianteiro e 2305 kg sobre o traseiro) e pneus traseiros 18.4-30 R1 e dianteiros 12.4-24 R1, com pressão de inflação de 95 e 110 kPa, respectivamente. A pressão de contato dos pneus dianteiros e traseiros com solo, determinada pelo método de O'Sullivan et al. (1999), foi de 115 e 120 kPa, respectivamente.

Amostras de solo indeformadas foram coletadas nas entrelinhas das culturas de verão em junho e novembro de 2006, utilizando-se anéis de 0,025 m de altura e 0,063 m de diâmetro. Em junho, a amostragem restringiu-se às áreas não trafegadas, sendo coletados quatro anéis por parcela, dois na camada de 0,03 - 0,06 m e dois na de 0,12 - 0,15 m. No laboratório, as amostras foram divididas em dois grupos de 48 amostras e saturadas. As amostras de um dos grupos foram equilibradas à tensão de 6 kPa em mesa de tensão para determinação da macroporosidade e, posteriormente, a 33 kPa, em panela de Richards. O outro grupo foi dividido em quatro subgrupos de doze amostras, igualmente distribuídas entre profundidades e tratamentos, que foram submetidas às tensões de 6, 100, 300 e 500 kPa. Em novembro, foram coletados dois anéis na zona não trafegada de todas as parcelas, um em cada profundidade estudada. Foram amostrados ainda mais dois anéis por parcela (um em cada profundidade), extraídos da área sem tráfego em metade das repetições e da área com tráfego na outra metade. Todos os anéis oriundos da área trafegada e um anel por profundidade e por tratamento proveniente da zona sem tráfego foram equilibrados a 6 kPa e, em seguida, a 33 kPa. As amostras restantes foram divididas em quatro grupos de seis anéis, distribuídos de forma a contemplar todas as profundidades e tratamentos, e então equilibradas nas tensões de 6, 100, 500 e 1000 kPa. Nos locais onde

os anéis foram retirados, em ambas as épocas e profundidades, foram coletadas também amostras de solo para a determinação do teor de MOS, pelo método de Walkley-Black modificado (Tedesco et al., 1995).

Após estabilização nas diferentes tensões de água, as amostras foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial, executado em uma prensa oedométrica marca TESTOP, onde foram aplicadas cargas estáticas de 12,5; 25; 50; 100; 200; 400; e 800 kPa. A duração de cada carregamento foi de 5 min, tempo suficiente para a ocorrência de 90 % da deformação máxima, conforme determinado em pré-testes. Encerrado o ensaio, as amostras foram secas em estufa a 105 ° C por 48 h, permitindo assim o cálculo da D_s , umidade gravimétrica (U_g), macroporosidade, porosidade total e índice de vazios. A partir da deformação observada aos cinco minutos e do índice de vazios inicial (e_i), calculou-se o índice de vazios após a aplicação de cada carga (e_f). As curvas de compressão foram obtidas plotando-se os valores de e_f no eixo das ordenadas e o logaritmo da pressão aplicada no das abscissas. A σ_p foi calculada por meio do método de Pacheco Silva, descrito na NBR 12007/90 (ABNT, 1990). O IC correspondeu à tangente do ângulo de inclinação da reta de compressão virgem, sendo determinado de acordo com a mesma norma.

Os dados foram submetidos à análise da variância segundo dois modelos. Para a área sem tráfego, utilizou-se um esquema trifatorial com parcelas subdivididas no tempo e quatro repetições (blocos), em que os fatores considerados foram as coberturas de inverno, as culturas de verão antecedentes à amostragem e as épocas de avaliação. O outro modelo, usado para a segunda época de avaliação, consistiu em um trifatorial com parcelas subdivididas no espaço e duas repetições (blocos), com o fator época de avaliação sendo substituído pela condição de tráfego. Posteriormente, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Modelos de capacidade de suporte de carga do solo (MCSCS) foram ajustados para cada cobertura de inverno e camada, pelo programa SigmaPlot® 9.0 (Systat software, Inc.), utilizando-se a equação desenvolvida por Dias Junior (1994): $\sigma_p = 10^{(a + bU_g)}$, em que: σ_p = tensão de pré-consolidação (kPa); U_g = teor de água do solo no momento da realização do ensaio (kg kg^{-1}); e a e b são os parâmetros de ajuste.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Independentemente da época de avaliação e considerando a superfície do solo (0,03-0,06 m) da área não trafegada, os valores da σ_p para as amostras equilibradas a uma tensão de água de 33 kPa foram significativamente superiores para o pousio (PI) em comparação aos da aveia preta + ervilhaca/nabo forrageiro (AEN) e da aveia preta (AP), as quais não diferiram entre si (Quadro 2). Na camada de 0,12-0,15 m, as médias da σ_p foram cerca de duas vezes

maiores em relação à de 0,03-0,06 m, mas as diferenças entre as coberturas de inverno não foram significativas. Considerando que a U_g à tensão de 33 kPa não diferiu entre as coberturas de inverno (Quadro 2), a diminuição na σ_p ocasionada pelos tratamentos AEN e AP na superfície do solo pode ser atribuída à redução da D_s e ao aumento da porosidade total ocasionado por eles (Quadro 3), o que também se restringiu à camada superficial. Essa inferência é respaldada pelo fato de os valores da σ_p terem se relacionado de forma significativa e positiva com a D_s (Figura 1a).

Reduções da σ_p em função da diminuição da D_s têm sido constatadas em trabalhos como os realizados por Braida (2004) e Rücknagel et al. (2007), sendo atribuídas às menores forças de coesão e atrito entre as partículas do solo nessas condições (Imhoff, 2002). Para uma mesma D_s , a σ_p diminui à medida que aumenta o espaço poroso interagregados (Rücknagel et al., 2007), que é constituído principalmente por macroporos. Conforme o quadro 3, a redução da D_s e o aumento da porosidade total em virtude do uso de plantas de cobertura de inverno deveram-se ao incremento na macroporosidade, já que a

microporosidade não foi alterada (média = 0,28 m³ m⁻³). Assim, tal fato também pode ter colaborado para que a σ_p fosse reduzida pela AEN e AP.

Os tratamentos AEN e AP promoveram aumento significativo no teor de MOS na superfície do solo, o que não se repetiu para a camada de 0,12-0,15 m (Quadro 3). Esse fato, aliado à ação do sistema radicular das plantas de cobertura de inverno, possivelmente tenha resultado na formação de agregados mais estáveis, resultado já relatado para o mesmo tipo de solo por Conceição (2006). Da mesma forma, a resistência dos agregados à ruptura torna-se maior à medida que o teor de MOS aumenta (Imhoff, 2002). Isso revela que a σ_p poderia ter sido maior nos tratamentos AEN e AP, o que não se confirmou. Para Braida (2004), a MOS exerce dois efeitos contrários sobre a resistência do solo à compactação, um relacionado com o aumento da coesão entre as partículas minerais e outro com a mudança no arranjo das mesmas, com redução da D_s . Nesse trabalho, o efeito de redução da D_s ocasionada pela MOS predominou sobre o aumento da resistência dos agregados, resultando na diminuição da σ_p .

Quadro 2. Tensão de pré-consolidação (σ_p), índice de compressibilidade (IC) e teor de água à tensão de 33 kPa (U_g), de acordo com as coberturas de inverno, tráfego, época de avaliação (junho e novembro de 2006) e profundidade de amostragem

Camada	Tratamento	σ_p		IC		U_g	
		Jun.	Nov.	Jun.	Nov.	Jun.	Nov.
		kPa				kg kg ⁻¹	
Coberturas de inverno ⁽¹⁾							
0,03-0,06	AEN ⁽²⁾	51 b	60 b	0,43 a	0,38 a	0,16 a	0,16 a
	AP	42 b	63 b	0,43 a	0,36 a	0,16 a	0,16 a
	PI	76 a	86 a	0,36 b	0,30 b	0,16 a	0,15 a
	Média	56 B	70 A	0,41 A	0,35 A	0,16 A	0,16 A
0,12-0,15	AEN ⁽²⁾	156 a	137 a	0,24 a	0,22 a	0,13 a	0,14 a
	AP	152 a	141 a	0,24 a	0,23 a	0,14 a	0,14 a
	PI	142 a	131 a	0,23 a	0,21 a	0,13 a	0,13 a
	Média	150 A	136 A	0,24 A	0,22 A	0,13 A	0,14 A
Tráfego ⁽³⁾							
0,03-0,06	Sem	n.d. ⁴	69 b	n.d.	0,37 a	n.d.	0,16 a
	Com	n.d.	101 a	n.d.	0,35 a	n.d.	0,15 a
	Média	n.d.	85	n.d.	0,36	n.d.	0,16
0,12-0,15	Sem	n.d.	128 a	n.d.	0,22 a	n.d.	0,14 a
	Com	n.d.	123 a	n.d.	0,23 a	n.d.	0,14 a
	Média	n.d.	126	n.d.	0,22	n.d.	0,14

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, dentro de cada fator e variável, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5 %. ⁽¹⁾ Comparação entre as coberturas, independentemente da profundidade e da época de amostragem, foi realizada considerando a área sem tráfego de rodados de trator. ⁽²⁾ AEN = aveia preta + ervilhaca (2002 a 2005) e nabo forrageiro (2006); AP = aveia preta; PI = pousio durante o inverno. ⁽³⁾ Os valores apresentados correspondem a médias entre as coberturas de inverno. ⁽⁴⁾ n.d. – não determinado.

Quadro 3. Densidade do solo (Ds), porosidade total (VPT), macroporosidade (VMA) e teor de matéria orgânica do solo (MOS), em função das coberturas de inverno, tráfego, época de avaliação (junho e novembro de 2006) e profundidade de amostragem

Camada	Tratamento	Ds		VPT		VMA		MOS		
		Jun.	Nov.	Jun.	Nov.	Jun.	Nov.	Jun.	Nov.	
m		Mg m ⁻³		m ³ m ⁻³		m ³ m ⁻³		g kg ⁻¹		
Coberturas de inverno ⁽¹⁾										
0,03-0,06	AEN ⁽²⁾	1,28 b	1,29 b	0,47 a	0,49 a	0,19 a	0,22 a	38,3 a	33,1 a	
	AP	1,26 b	1,32 b	0,49 a	0,47 a	0,21 a	0,21 a	38,2 a	31,4 a	
	PI	1,42 a	1,45 a	0,42 b	0,42 b	0,13 b	0,15 b	31,8 b	28,1 b	
	Média	1,32 A	1,35 A	0,46 A	0,46 A	0,18 A	0,19 A	36,1 A	30,9 B	
0,12-0,15	AEN ⁽²⁾	1,58 a	1,60 a	0,37 a	0,37 a	0,09 a	0,09 a	18,8 a	19,0 a	
	AP	1,56 a	1,59 a	0,37 a	0,38 a	0,10 a	0,11 a	18,9 a	19,0 a	
	PI	1,56 a	1,60 a	0,37 a	0,37 a	0,10 a	0,10 a	18,2 a	18,0 a	
	Média	1,57 A	1,60 A	0,37 A	0,37 A	0,10 A	0,10 A	18,6 A	18,7 A	
Tráfego ⁽³⁾										
0,03-0,06	Sem	n.d. ⁽⁴⁾	1,34 b	n.d.	0,48 a	n.d.	0,21 a	n.d.	n.d.	
	Com	n.d.	1,43 a	n.d.	0,44 b	n.d.	0,17 b	n.d.	n.d.	
	Média	n.d.	1,38	n.d.	0,46	n.d.	0,19	n.d.	n.d.	
0,12-0,15	Sem	n.d.	1,59 a	n.d.	0,37 a	n.d.	0,11 a	n.d.	n.d.	
	Com	n.d.	1,60 a	n.d.	0,37 a	n.d.	0,10 a	n.d.	n.d.	
	Média	n.d.	1,60	n.d.	0,37	n.d.	0,10	n.d.	n.d.	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, dentro de cada fator e variável, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5 %. ⁽¹⁾ Comparação entre as coberturas, independentemente da profundidade e da época de amostragem, foram realizadas considerando a área sem tráfego de rodados de trator. ⁽²⁾ AEN = aveia preta + ervilhaca (2002 a 2005) e nabo forrageiro (2006); AP = aveia preta; PI = pousio durante o inverno. ⁽³⁾ Os valores apresentados correspondem a médias entre as coberturas de inverno. ⁽⁴⁾ n.d. – não determinado.

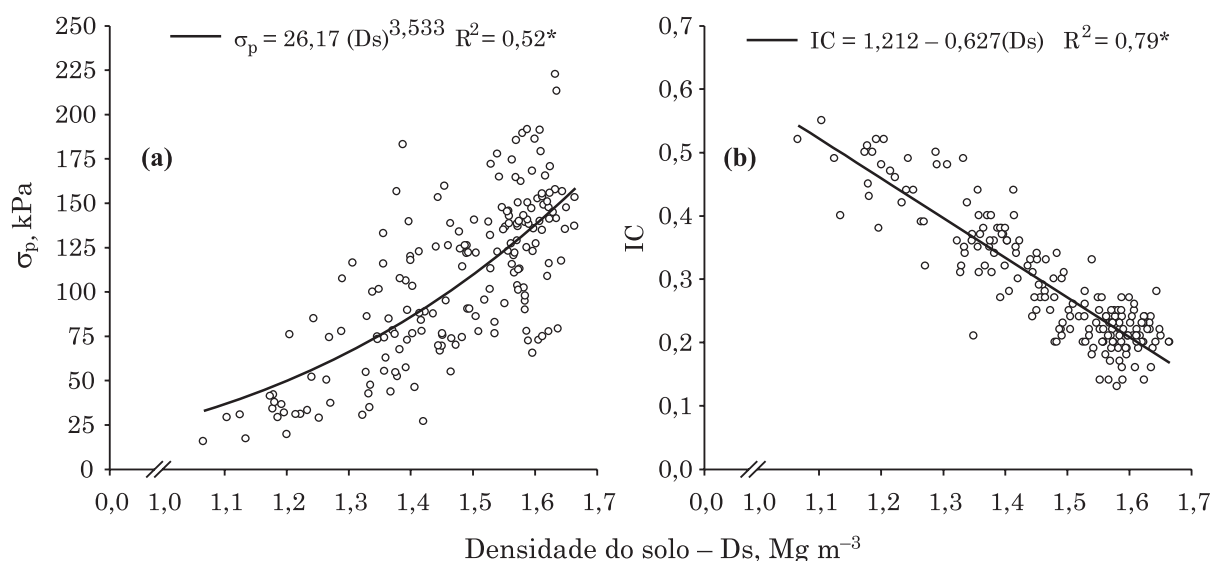


Figura 1. Tensão de pré-consolidação – σ_p (a) e índice de compressibilidade – IC (b) de acordo com a densidade do solo, em todos os tratamentos e camadas avaliados.* - Modelo estatisticamente significativo 5 %.

A realização de sete tráfegos de rodados de trator em cinco anos aumentou significativamente a σ_p na camada de 0,03-0,06 m (Quadro 2). Esse comportamento corrobora os maiores valores de D_s e menores de porosidade total e macroporosidade observados nesse tratamento (Quadro 3), bem como com o fato da σ_p refletir a história de tensões aplicadas ao solo (Veiga et al., 2007). A interação tráfego x coberturas de inverno não foi significativa, indicando que, na superfície do solo da área trafegada, a σ_p também foi maior para o PI. Isso se deve ao fato de não ter sido significativa a interação para a D_s , porosidade total e macroporosidade, evidenciando que as plantas de cobertura propiciaram uma melhor estrutura do solo, mesmo após sete tráfegos. Na camada de 0,12-0,15 m, a σ_p não foi influenciada pelo tráfego. Provavelmente, as tensões aplicadas pelos rodados nessa profundidade foram inferiores à capacidade de suporte de carga do solo, ou seja, à σ_p . Essa explicação é suportada pelo emprego, neste trabalho, de um trator leve, o que diminui a compactação em subsuperfície (Alakuku et al., 2003). Botta et al. (2006), trabalhando em um solo siltoso dos Pampas argentinos, também concluíram que, com oito tráfegos de um trator semelhante ao utilizado neste trabalho, o solo não compactou a profundidades maiores do que 0,10 m.

Os valores da σ_p na superfície do solo foram mais elevados em novembro de 2006 comparativamente a junho do mesmo ano (Quadro 2). Essas diferenças não podem ser atribuídas à D_s , à porosidade total ou à macroporosidade do solo, já que essas propriedades não foram afetadas pela época de amostragem (Quadro 3). O único atributo que variou foi o teor de MOS, que diminuiu de junho a novembro (Quadro 3), devido, possivelmente, à decomposição da fração particulada da MOS, a qual é mais dinâmica do que a associada aos minerais (Conceição, 2006). Porém, é pouco provável que esse seja o fator determinante do aumento da σ_p pois, sob uma mesma D_s , a σ_p não varia (Imhoff, 2002) ou diminui (Braida, 2004) com a redução no teor de MOS. Uma possível explicação para esse resultado envolve o processo de “*age hardening*”, definido como sendo o aumento na resistência do solo à deformação no decorrer do tempo, mantendo-se constante a D_s (Dexter, 1988). O sistema radicular das coberturas de inverno, ao unir mecanicamente as partículas do solo, é outro fator que pode ter colaborado para que a σ_p fosse maior na segunda avaliação.

Os modelos de capacidade de suporte de carga do solo (MCSCS) para as camadas de 0,03-0,06 e 0,12-0,15 m são apresentados nas figuras 2a e 2b, respectivamente. Verificou-se que a variação da σ_p em função da U_g ajustou-se ao modelo proposto por Dias Junior (1994) para todas as profundidades e coberturas de inverno ($p < 0,01$), à exceção do tratamento AEN na camada de 0,12-0,15 m. A falta de ajuste desse tratamento ao modelo citado anteriormente pode ser

justificada pela grande variabilidade observada nos valores de σ_p para este tratamento, mesmo sob valores semelhantes de U_g . Na superfície do solo (Figura 2a), observa-se que a curva ajustada para o PI foi deslocada para cima em relação às demais coberturas. Isso significa que a σ_p foi maior para o PI em toda a faixa de U_g estudada, e não somente na correspondente à tensão de 33 kPa (Quadro 2). No entanto, o coeficiente de regressão foi menor para o PI, indicando que as diferenças na σ_p entre as coberturas diminuem à medida que o solo seca e vice-versa. Contrariamente, Braida (2004), estudando um Argissolo mais arenoso (155 g kg⁻¹ de argila) que o utilizado neste trabalho (Quadro 1), concluiu que, sob maiores teores de água, as diferenças na σ_p entre amostras mais e menos densas diminuem. Segundo o autor, o recobrimento das partículas pela água elimina o efeito do maior número de pontos de contato observado no solo mais denso, igualando assim os valores da σ_p .

Neste trabalho, acredita-se que, sob baixos teores de água no solo, o menor número de pontos de contato nos tratamentos AEN e AP tenha sido compensado pelo aumento na resistência em cada um deles, em virtude do incremento na tensão sob a qual a água é retida. Tal afirmação apóia-se no fato de o PI ter atingido menores valores de U_g (Figura 2a), evidenciando que as amostras referentes às plantas de coberturas deveriam ter sido equilibradas a tensões mais negativas para chegarem aos mesmos valores de U_g . Os maiores teores de MOS observados para a AEN e a AP (Quadro 3) justificam o aumento na força de retenção da água em condições de baixa U_g para esses tratamentos.

A exemplo da σ_p , o IC não foi alterado de forma significativa pela cultura de verão antecessora às avaliações (dados não apresentados). Na camada de 0,03-0,06 m e nas duas épocas de avaliação, a susceptibilidade do solo à compactação, estimada pelo IC, foi significativamente inferior para o PI em relação aos tratamentos AEN e AP, os quais não diferiram entre si (Quadro 2). Tal fato é justificado pelos maiores valores de D_s e menores de porosidade total e macroporosidade apresentados pelo tratamento PI (Quadro 3), os quais predominaram sobre o possível aumento na estabilidade e resistência à ruptura dos agregados proporcionados pelo maior teor de MOS (Quadro 3) e pelo sistema radicular das plantas de cobertura de inverno. Esse argumento é reforçado considerando que o IC diminuiu linearmente à medida que a D_s aumentou (Figura 1b). A diminuição da susceptibilidade do solo à compactação, em razão do aumento da D_s , foi relatada por Imhoff (2002), sendo resultante do aumento do número de pontos de contato entre as partículas e agregados do solo, o que dificulta a movimentação relativa das mesmas. Em todos os tratamentos, o IC foi menor na camada de 0,12-0,15 m, o que também pode ser explicado pela maior D_s e menor porosidade total e macroporosidade nessa camada (Quadro 3).

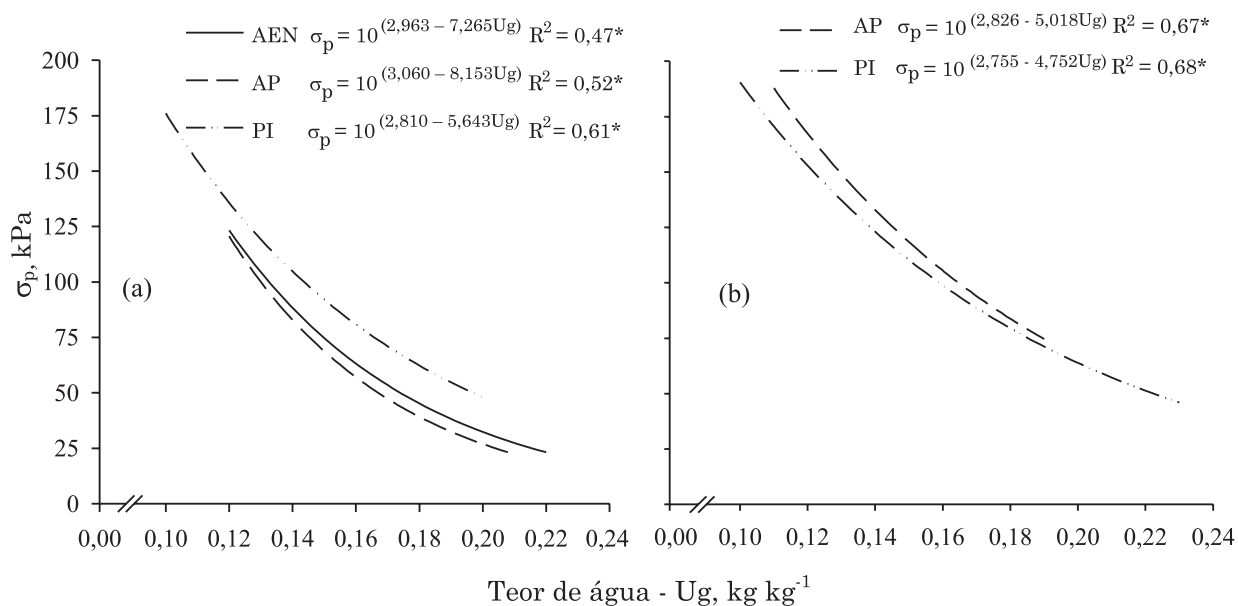


Figura 2. Modelos de capacidade de suporte de carga do solo de acordo com as coberturas de inverno, para as camadas de 0,03-0,06 m (a) e 0,12 a 0,15 m (b), nas áreas não trafegadas. AEN = aveia preta + ervilhaca (2002 a 2005) e nabo forrageiro (2006); AP = aveia preta; PI = pousio durante o inverno. * - Modelo estatisticamente significativo a 5 %.

O IC não foi afetado pela época de avaliação e pelo tráfego, em ambas as camadas de solo amostradas (Quadro 2). Considerando que os valores de Ds foram maiores na superfície da área trafegada, esperava-se que o IC fosse maior na zona não trafegada. Possivelmente, o aumento da Ds, originado do tráfego, tenha sido de magnitude insuficiente para gerar diferenças no IC. Efeitos significativos do tráfego sobre o IC também não foram detectados por Cepik (2006). Análises de regressão demonstraram ainda que o IC não foi influenciado pela Ug (dados não apresentados). Esses resultados assemelham-se aos obtidos Imhoff (2002), porém contradizem os encontrados por Braida (2004). É provável que a não-significância da relação IC x Ug esteja relacionada com a pequena amplitude de variação da Ug entre as amostras de solo utilizadas nesse trabalho.

CONCLUSÕES

1. Independentemente do tráfego e da época de avaliação, o emprego de plantas de cobertura de inverno, sob a semeadura direta, diminuiu a capacidade de suporte de carga e aumentou a susceptibilidade à compactação do Argissolo estudado, o que se limitou à camada superficial do solo.

2. As diferenças entre o pousio e as plantas de cobertura com relação à tensão de pré-consolidação diminuíram à medida que o teor de água do solo decresceu.

3. O tráfego aumentou a capacidade de suporte de carga na superfície do solo, sem alterar a susceptibilidade do solo à compactação adicional.

LITERATURA CITADA

- ALAKUKKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W.C.T.; TIJINK, F.G.J.; van der LINDEN, J.P.; PIRES, S.; SOMMER, C. & SPOOR, G. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: A review. Part 1. Machine/soil interactions. *Soil Till. Res.*, 73:145-160, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Ensaio de adensamento unidimensional: NBR 12007. Rio de Janeiro, 1990. 13p.
- BOTTA, G.F.; JORA JURIA, D.; ROSATTO, H. & FERRERO, C. Light tractor traffic frequency on soil compaction in the Rolling Pampa region of Argentina. *Soil Till. Res.*, 86:9-14, 2006.
- BRAIDA, J.A. Acúmulo de resíduos vegetais na superfície e de matéria orgânica no solo e suas implicações no comportamento mecânico do solo sob plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 106p. (Tese de Doutorado)
- CONCEIÇÃO, P.C. Agregação e proteção física da matéria orgânica em dois solos do sul do Brasil. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 138p. (Tese de Doutorado)
- CEPIK, C.T.C. Parâmetros de solo e máquinas em semeadura direta com doses de cobertura e configurações de deposição de fertilizante. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 104p. (Tese de Doutorado)

- DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. *Soil Till. Res.*, 11:199-238, 1988.
- 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. & PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:175-182, 1996.
- IMHOFF, S. Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2002. 94p. (Tese de Doutorado)
- LIPIEC, J.; ARVIDSSON, J. & MURER, E. Review of modeling crop growth, movement of water and chemicals in relation to topsoil and subsoil compaction. *Soil Till. Res.*, 73:145-170, 2003.
- OADES, J.M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma*, 56:377-400, 1993.
- O'SULLIVAN, M.F.; HENSHALL, J.K. & DICKSON, J.W. A simplified method for estimating soil compaction. *Soil Till. Res.*, 49:325-335, 1999.
- RÜCKNAGEL, J.; HOFMANN, B.; PAUL, R.; CHRISTEN, O. & HÜLSBERGEN, K.J. Estimating precompression stress of structured soils on the basis of aggregate density and dry bulk density. *Soil Till. Res.*, 92:213-220, 2007.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TULLBERG, J.N. Wheel traffic effects on tillage draught. *J. Agric. Eng. Res.*, 75:375-382, 2000.
- VEIGA, M.; HORN, R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from Southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. *Soil Till. Res.*, 92:104-113, 2007.
- WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:891-900, 2004.

