



## Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo

João A. Braidá<sup>1</sup>, José M. Reichert<sup>2</sup>, Dalvan J. Reinert<sup>2</sup> & Milton da Veiga<sup>3</sup>

### RESUMO

O acúmulo de matéria orgânica pode aumentar a resistência do solo à compactação, diminuindo sua magnitude ou seus efeitos. O objetivo do presente trabalho foi estudar as implicações do acúmulo de matéria orgânica no solo sobre sua susceptibilidade à compactação medida pelo coeficiente de compressão. Buscou-se estabelecer relações entre o teor de carbono orgânico e o coeficiente de compressão do solo. Utilizaram-se amostras de solo coletadas em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Nitossolo Vermelho distrófico latossólico, ambos contendo ampla variação do teor de carbono orgânico (CO). As amostras, com umidade equilibrada em quatro tensões de água, foram submetidas ao ensaio de adensamento uniaxial confinado, mediante cargas normais de 12,5, 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa e se determinando o coeficiente de compressão plástica; definiram-se, também, o teor de carbono orgânico, a densidade do solo, a porosidade e o grau de saturação com água das amostras. O teor de carbono orgânico afeta o coeficiente de compressão do solo; no entanto, a magnitude e o tipo de efeito são dependentes da textura do solo e de seus efeitos sobre a retenção de água, a coesão e a densidade do solo.

**Palavras-chave:** matéria orgânica do solo, estrutura do solo, coeficiente de compressão do solo, mecânica do solo

## Organic carbon content and susceptibility to compaction of Hapludalf and Hapludox soils

### ABSTRACT

Organic matter accumulation can increase soil resistance to compaction, decreasing the compaction magnitude or its effects. The objective of this study was to establish the effect of soil organic matter accumulation on the compressibility index, which corresponds to soil susceptibility to compaction. The study was performed using samples collected from a Hapludalf and a Hapludox soils in southern Brazil, both having a significant variation in soil organic carbon (SOC) content. Soil compressibility tests were performed under confined conditions, in a uniaxial apparatus by using normal loads of 12.5, 25, 50, 100, 200, 400, 800 and 1600 kPa, and the compressibility index (Cc) was calculated. Soil organic carbon content, bulk density, porosity and water saturation degree were determined too. Results show that soil organic matter content affects the soil compressibility index, however the magnitude and type of effect are dependent upon soil texture and effects associated to soil water retention, cohesion, and bulk density.

**Key words:** soil organic matter, soil structure, soil compaction, soil mechanics

<sup>1</sup> UTFPR, Campus Pato Branco, Via do Conhecimento, km 01, CP 501, CEP 85501-970, Pato Branco, PR. Fone: (46) 3220-2542. E-mail: [braidá@utfpr.edu.br](mailto:braidá@utfpr.edu.br)

<sup>2</sup> Departamento de Solos/UFMS. Av. Roraima, nº 1000, Bairro Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria, RS. Fone: (55) 3220-8918. E-mail: [reichert@smail.ufsm.br](mailto:reichert@smail.ufsm.br); [dalvan@ccr.ufsm.br](mailto:dalvan@ccr.ufsm.br)

<sup>3</sup> EPAGRI, Estação Experimental de Campos Novos, BR 282, km 342, Trevo, CP 106, CEP 89620-000, Campos Novos, SC. Fone: (49) 3541-0748. E-mail: [milveiga@epagri.rct-sc.br](mailto:milveiga@epagri.rct-sc.br)

## INTRODUÇÃO

O acúmulo de matéria orgânica no solo pode aumentar a resistência do solo à compactação ou reduzir seus efeitos, em virtude de aumentar o intervalo de umidade em que o solo pode sofrer tráfego, aumentar a resistência do solo à deformação e por diminuir a resistência à penetração das raízes quando o solo está seco (Soane, 1990; Zhang, 1994; Zhang et al., 2005; Braidá et al., 2006).

O efeito da matéria orgânica sobre a resistência do solo pode estar relacionado ao seu efeito determinante na formação e estabilização de agregados do solo, conforme relatado por Tisdall & Oades (1982) e Silva et al. (2006), corroborado pelas observações de Baumgartl & Horn (1991) e Horn et al. (1993), ao demonstrarem que a resistência do solo tende a aumentar com o desenvolvimento da estrutura, uma vez que os parâmetros da resistência ao cisalhamento (coesão –  $c$  e ângulo de atrito interno –  $\phi$ ) de agregados individuais são sempre maiores que os da massa do solo e, quanto mais agregado é o solo mais negativa é a tensão capilar em um mesmo teor de água e, portanto, menor é a atenuação da carga aplicada sobre ele.

Entretanto, deve-se considerar que o acúmulo de matéria orgânica pode estar associado a dois efeitos contraditórios sobre a resistência do solo, que são o aumento da força de ligação entre as partículas minerais e a mudança no arranjo das partículas (porosidade e densidade do solo) (Ekwue, 1990; Horn & Lebert, 1994; Zhang, 1994, Trannin et al., 2008). O balanço entre esses dois efeitos que, por sua vez, depende da origem, do estado de decomposição e do status químico da matéria orgânica, irá determinar o efeito sobre a resistência do solo. De fato, a matéria orgânica pode aumentar ou reduzir a resistência do solo, dependendo do seu efeito conjunto sobre a densidade, os parâmetros de cisalhamento, a tensão capilar e o grau de saturação de água (Zhang et al., 1997). Quando predominam os efeitos de redução da densidade por aumento da porosidade, a resistência à compressão diminui. Por outro lado, a matéria orgânica aumenta a resistência do solo à compressão, quando predominam os efeitos de: aumento dos parâmetros de cisalhamento; aumento da tensão capilar com aumento da coesão aparente; redução do efeito da água na redução da fricção entre partículas; redução da densidade por efeito de diluição; e aumento da elasticidade do solo.

Enquanto Ekwue (1990) observou que a adição de turfa reduziu a resistência ao cisalhamento, mas o aumento do teor de matéria orgânica em solo sob pastagem resultou em aumento da mesma, Ekwue & Stone (1995) constataram que a adição de material orgânico reduziu a resistência do solo em baixa umidade e a aumentou em alta umidade. Arvidsson (1998) e Ihmoff et al. (2004) notaram que o coeficiente de compressão não foi afetado pelo teor de carbono orgânico do solo, ao passo que Pereira et al. (2007) observaram uma correlação positiva entre o coeficiente de compressão e o teor de matéria orgânica do solo, significando que a mesma tornou o solo mais susceptível à compressão. Stone & Ekwue (1996) verificaram aumento da compressibilidade com a incorporação de lodo de esgoto ao solo e Braidá et al. (2008)

observaram associação entre o aumento do teor de carbono orgânico e o aumento da elasticidade do solo.

Ante esta diversidade de resultados e se considerando a grande capacidade da matéria orgânica humificada em promover a estruturação e influenciar o comportamento do solo, entende-se necessário ampliar os estudos do comportamento compressivo de solos que sofreram enriquecimento com matéria orgânica, razão pela qual se propôs, no presente trabalho, estudar as implicações do acúmulo de matéria orgânica no solo sobre sua susceptibilidade à compactação, medida pelo coeficiente de compressão plástica, além de estabelecer relações entre o teor de carbono orgânico do solo e seu coeficiente de compressão plástica.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado a partir de amostras coletadas em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico de textura franco-arenosa e em um Nitossolo Vermelho distrófico latossólico de textura argilosa, ambos com ampla variação no teor de matéria orgânica. O Argissolo foi amostrado em um experimento cujos tratamentos se constituíram de combinações de doses de esterco líquido de suínos e plantas de cobertura, conduzido no sistema plantio direto, instalado na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, no município de Santa Maria, RS (Aita et al., 2006). O Nitossolo foi amostrado em um experimento no qual estavam sendo avaliadas combinações de sistemas de manejo do solo e de resíduos culturais e insumos orgânicos, na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI, no município de Campos Novos, SC (Veiga et al., 2007).

A compressibilidade do solo foi avaliada em amostras com estrutura preservada, coletadas em anéis metálicos (0,02 m de altura e 0,055 m de diâmetro) nos dois sítios descritos acima, na camada superficial (0 a 0,05 m de profundidade), cuja caracterização física média é apresentada na Tabela 1. O Nitossolo foi amostrado em dezembro de 2001, durante o oitavo cultivo de verão do experimento, em parcelas correspondentes aos seguintes tratamentos:

1. Semeadura direta com adubação química;
2. Semeadura direta com aplicação de cama de aviário;
3. Preparo convencional com adubação química;
4. Preparo convencional com aplicação de cama de aviário;
5. Preparo convencional após a remoção dos resíduos culturais, com adubação química;
6. Preparo convencional após a remoção dos resíduos culturais, com aplicação de cama de aviário;
7. Preparo convencional após a queima dos resíduos culturais, com adubação química;
8. Preparo convencional após a queima dos resíduos culturais, com aplicação de cama de aviário.

Inicialmente, coletaram-se 12 amostras por tratamento que, no laboratório, foram divididas em 4 conjuntos de 24 amostras e, então, colocadas para saturar com água durante

**Tabela 1.** Granulometria, densidade de partículas, densidade do solo e teor de carbono orgânico da camada superficial (0 a 0,05 m) de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Nitossolo Vermelho distrófico latossólico

Propriedade		Argissolo	Nitossolo
Granulometria (g kg <sup>-1</sup> )	Argila	155	787
	Silte	216	185
	Areia fina	459	18
	Areia grossa	170	10
Densidade de partículas (Mg m <sup>-3</sup> )		2,58	2,80
Densidade do solo (Mg m <sup>-3</sup> )		1,30	1,06
Carbono orgânico (g kg <sup>-1</sup> )		11,3	26,0

24 h; depois, cada conjunto foi submetido a uma das seguintes tensões de água: 6 kPa, na mesa de tensão; 100 e 500 kPa, em placas cerâmicas; e > 500 kPa, secando-as ao ar. Cerca de 8 meses após a primeira coleta mais 8 amostras foram coletadas na parcela em que se observou o maior teor de carbono orgânico e que corresponde ao tratamento plantio direto com adubação química, e 4 amostras na parcela com o menor teor de carbono orgânico (convencional após a retirada dos resíduos e com adubação química), com o objetivo de ampliar o número de pontos com valores extremos de carbono; assim se chegou a 27 amostras por tensão de água utilizada.

Antes da semeadura do quinto cultivo de verão no experimento, em novembro de 2002, coletaram-se 12 amostras no Argissolo, em parcelas correspondentes aos seguintes tratamentos e situações:

1. Aveia sem adição de esterco líquido de suíno;
2. Aveia + 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de esterco líquido de suíno;
3. Aveia + ervilhaca + 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de esterco líquido de suíno;
4. Aveia + ervilhaca + 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de esterco líquido de suíno;
5. Área de pousio ao lado do experimento.

Já no laboratório, as amostras foram saturadas com água durante 24 h e então equilibradas nas quatro tensões já referidas para o Nitossolo; assim, três amostras de cada tratamento de campo foram equilibradas em cada uma das tensões de água.

Para a avaliação da compressibilidade, as amostras foram submetidas ao ensaio de adensamento em uma prensa de compressão uniaxial, com aplicações sequenciais de cargas estáticas de 12,5, 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa, com tempo de carregamento de 5 min. Com base no deslocamento vertical, medido na prensa após a aplicação de cada uma das cargas, calcularam-se os correspondentes índices de vazios e densidades da amostra de solo, com os quais se obtiveram as curvas de compressão para só então se determinar o coeficiente de compressão (Cc) de cada uma delas, conforme método de Casagrande (Holtz & Kovacs, 1981).

Para cada amostra e com base nas pesagens e medições feitas na prensa de compressão uniaxial se calcularam, ainda, a densidade inicial (Ds<sub>i</sub>), a densidade final (Ds<sub>f</sub>), o grau de saturação inicial (GS<sub>i</sub>), a porosidade total inicial (Pt<sub>i</sub>) e a final (Pt<sub>f</sub>); além disso se determinou, para estimar o conteúdo de matéria orgânica do solo, o teor de carbono orgânico, pelo método descrito por EMBRAPA (1997), em cada uma das amostras submetidas ao ensaio de adensamento uniaxial. Na Tabela 2 são apresentados os valores médios e os valores extremos do teor de carbono orgânico, da densidade e do índice de vazios do solo observados nos conjuntos de amostras, para cada um dos solos, submetidos a cada tensão de água.

A análise estatística para comparação entre tensões de água, seguiu o modelo de delineamento inteiramente casualizado. A complementação da análise de variância, quando significativa, foi realizada aplicando-se o teste DMS (diferença mínima significativa) com 5% de significância ou a análise de regressão, conforme o caso; quando o ajuste das equações foi significativo, o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) das equações ajustadas foi estimado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios para umidade gravimétrica, grau de saturação e coeficiente de compressibilidade para os dois solos em estudo, em função da tensão de água em que as amostras foram equilibradas, são apresentados na Tabela 3.

A tensão de água nas amostras produziu variação significativa sobre o Cc do solo, mas se observou, para ambos os

**Tabela 2.** Valores médios e extremos do teor de carbono orgânico, densidade do solo e índice de vazios das amostras utilizadas em cada uma das tensões de água

Solo/tensão	Carbono Orgânico – g kg <sup>-1</sup>		Densidade do solo – Mg m <sup>-3</sup>		Índice de vazios	
	Valor médio	Valores extremos	Valor médio	Valores extremos	Valor médio	Valores extremos
			Nitossolo			
6 kPa	22,7	17,1 – 34,8	1,044	0,901 – 1,207	1,697	1,323 – 2,112
100 kPa	24,7	19,7 – 30,0	1,075	0,958 – 1,218	1,621	1,302 – 1,927
500 kPa	24,9	19,7 – 38,9	1,050	0,931 – 1,274	1,678	1,201 – 2,012
> 500 kPa	24,4	19,9 – 29,1	1,089	0,948 – 1,215	1,587	1,308 – 1,958
			Argissolo			
6 kPa	14,5	8,7 – 20,4	1,311	1,130 – 1,510	0,976	0,702 – 1,280
100 kPa	10,6	5,9 – 16,5	1,312	1,100 – 1,540	0,977	0,667 – 1,345
500 kPa	15,4	7,8 – 25,3	1,276	0,972 – 1,453	1,052	0,773 – 1,650
> 500 kPa	13,3	9,5 – 28,8	1,318	0,922 – 1,551	0,980	0,661 – 1,793

**Tabela 3.** Umidade gravimétrica (Ug), grau de saturação com água (Gs) e coeficiente de compressibilidade (Cc) de um Nitossolo Vermelho distrófico latossólico e de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico arênico, em função da tensão de água da amostra

Solo/tensão	Ug (g g <sup>-1</sup> )	Gs (%)	Cc
Nitossolo			
6 kPa	0,416 a <sup>(1)</sup>	69,4 a	0,44 c
100 kPa	0,309 b	54,3 b	0,62 b
500 kPa	0,286 c	48,1 c	0,69 a
> 500 kPa	0,274 c	49,1 c	0,61 b
Argissolo			
6 kPa	0,240 A	65,0 A	0,28 B
100 kPa	0,136 B	36,6 B	0,35 AB
500 kPa	0,105 C	25,8 C	0,39 A
> 500 kPa	0,014 D	3,7 D	0,27 B

<sup>1</sup> Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste DMS a 5%. Letras minúsculas para comparação entre médias do Nitossolo e maiúsculas para o Argissolo

solos, que a maior susceptibilidade à compressão, expressa pelo coeficiente de compressibilidade, aconteceu quando as amostras foram equilibradas na tensão de 500 kPa (Tabela 3). É importante destacar que os valores de umidade gravimétrica média na tensão de água de 500 kPa, 0,105 e 0,286 g g<sup>-1</sup> (Tabela 3), respectivamente para os Argissolo e Nitossolo, são muito semelhantes aos valores da umidade crítica média, determinada por Braidá et al. (2006), através do ensaio Proctor Normal, para esses dois solos: 0,109 e 0,283 g g<sup>-1</sup>, respectivamente.

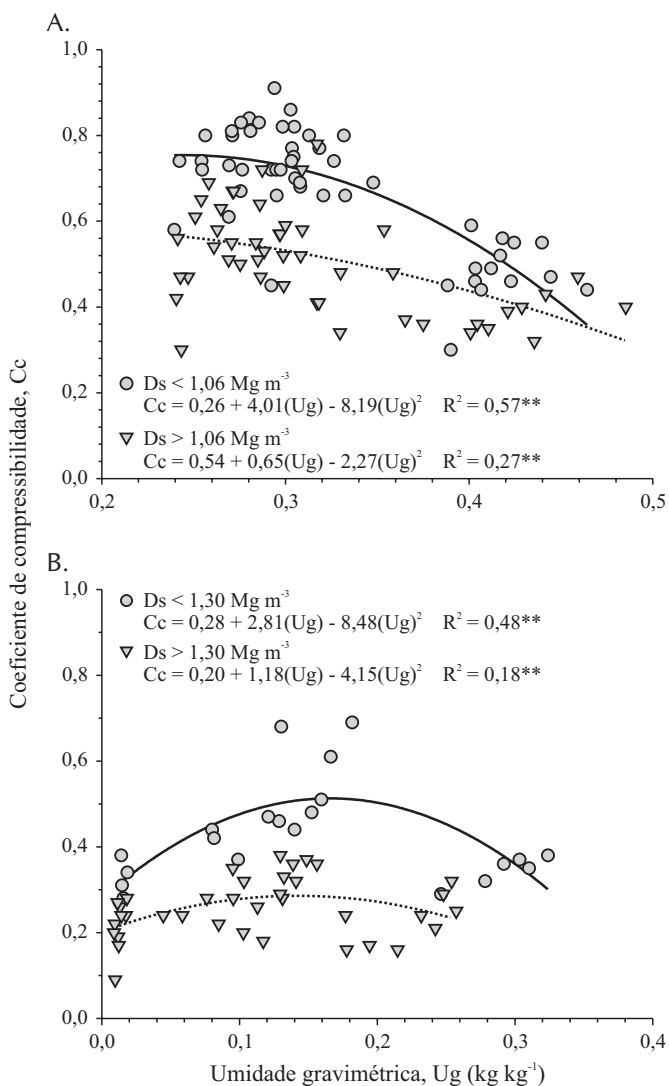
Na Figura 1 é apresentada a relação Cc e Ug para os dois solos. Considerando-se que quanto mais denso o solo menor é a compressibilidade em um mesmo teor de água, as amostras foram separadas em dois grupos de densidade: > 1,06 Mg m<sup>-3</sup> e ≤ 1,06 Mg m<sup>-3</sup>, para o Nitossolo (1,06 Mg m<sup>-3</sup> foi o valor médio observado com todas as amostras do Nitossolo); > 1,30 Mg m<sup>-3</sup> e ≤ 1,30 Mg m<sup>-3</sup> para o Argissolo (1,30 Mg m<sup>-3</sup> foi o valor médio observado com todas as amostras do Argissolo). De maneira geral, a relação Cc vs Ug é quadrática, havendo uma umidade em que a compressibilidade é máxima. Isso ocorre porque, à medida que o solo vai se umedecendo, a compressibilidade cresce pois a água reduz a coesão e o atrito entre as partículas sólidas; porém, depois de atingir um valor máximo, a compressibilidade decresce porque o excesso de água permite o surgimento de pressões neutras e, assim, a deformação ocorre apenas com a expulsão da água do meio poroso; nesta fase a compressibilidade é determinada pela condutividade hidráulica do solo (Dias Junior, 1994). No Nitossolo, para os maiores teores de água estudados os dois grupos de densidade apresentam Cc semelhante (Figura 1A), em razão, provavelmente, de neste solo argiloso a condutividade hidráulica, mesmo nas amostras de menor densidade, ser muito baixa.

A relação entre o Cc e o teor CO do Nitossolo é apresentada na Figura 2, onde se observa que esta relação foi dependente da tensão de água e da densidade das amostras; é provável que isto ocorra tendo em vista que o efeito da matéria orgânica sobre a resistência do solo é dependente de seus efeitos conjuntos sobre a densidade do solo, os parâmetros

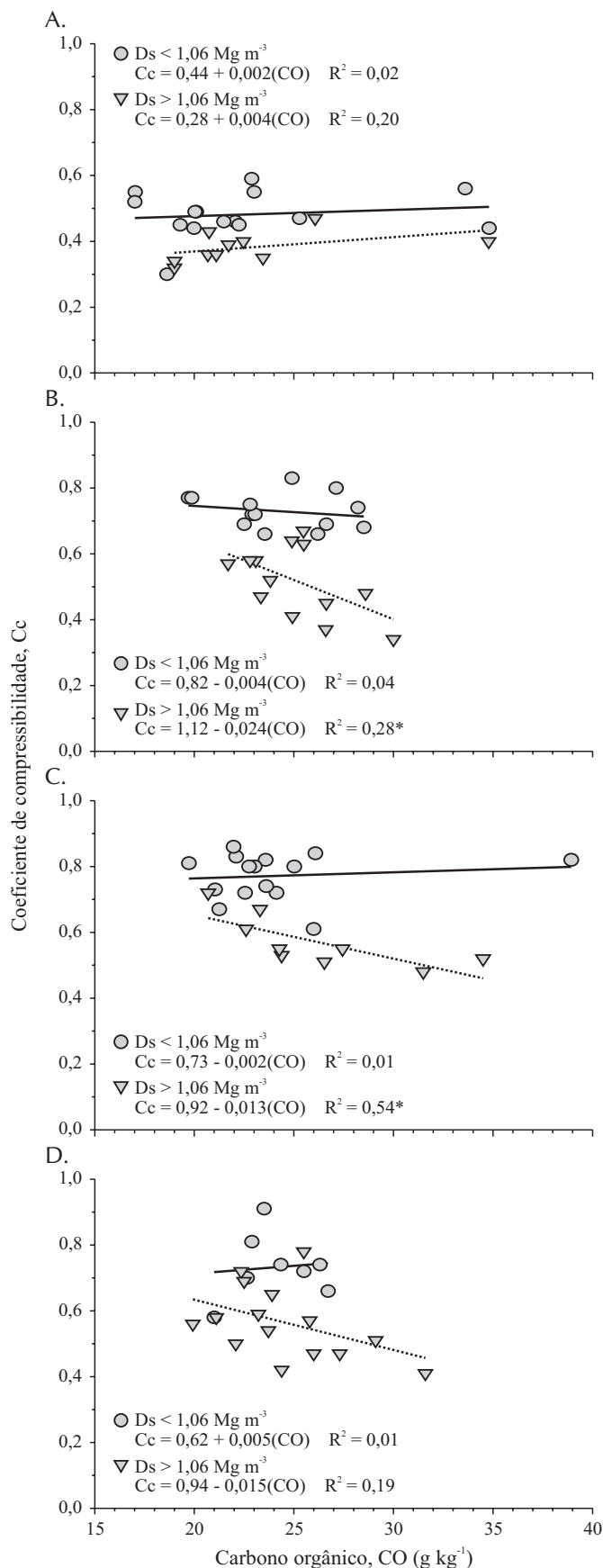
de cisalhamento, a tensão capilar e o grau de saturação com água (Zhang et al., 1997).

No grupo de menor densidade a variação do Cc no Nitossolo independe da variação do CO, enquanto no grupo de maior densidade, com as tensões de água de 100 e 500 kPa, o Cc se torna menor com o incremento de CO (Figura 2). Deve-se considerar que a resistência do solo à deformação é uma função do número de pontos de contato entre as partículas sólidas e da resistência destes pontos de contato (Horn & Lebert, 1994); assim, nas amostras de menor densidade a porosidade do solo seria o fator determinante da resistência à compactação, especialmente porque uma porosidade maior significa um número menor de pontos de contatos entre as partículas minerais e, com isto, mesmo que a matéria orgânica aumente a resistência dos pontos de contato, este efeito fica prejudicado pelo reduzido número de pontos de contato existentes.

Observa-se, nas amostras mais densas equilibradas nas tensões de 100 e 500 kPa (Figura 2B e 2C), que o aumento do teor de CO no Nitossolo resultou em redução no Cc do



**Figura 1.** Coeficiente de compressibilidade como função da umidade gravimétrica do solo para duas classes de densidade, (A) Nitossolo e (B) Argissolo



**Figura 2.** Coeficiente de compressibilidade em função do teor de carbono orgânico e da densidade do solo ( $D_s$ ), de um Nitossolo Vermelho distrófico latossólico submetido a quatro tensões de água: (A) 6 kPa; (B) 100 kPa; (C) 500 kPa; e (D) > 500 kPa

solo. Tal comportamento pode ser justificado pela capacidade da matéria orgânica em estabelecer e fortalecer ligações entre as partículas minerais, em função do seu elevado número de cargas superficiais e elevada área superficial específica; desta forma, o incremento em MO resultaria em aumento da força das ligações e em provável aumento do número das mesmas, entre as partículas minerais e, pelo efeito aditivo dessas ligações, em aumento da resistência do solo à deformação.

Nas amostras mais úmidas isto não se manifesta porque a compressibilidade pode estar sendo limitada pela condutividade hidráulica do solo; então, para este solo argiloso, nas amostras mais úmidas (6 kPa) a compressibilidade é muito limitada pelo elevado grau de saturação inicial, semelhante ao observado por Silva et al. (2002), impossibilitando a manifestação do efeito da matéria orgânica; entretanto, na medida em que o solo se tornou mais seco o grau de saturação diminuiu e a compressibilidade se tornou maior (Figura 2), permitindo a manifestação do efeito da matéria orgânica sobre a mesma. Por outro lado, se observa, na Figura 1A, para a faixa de umidade trabalhada com o Nitossolo, que a compressibilidade foi sempre decrescente com o aumento da umidade; deve-se considerar, então, a possibilidade de que o efeito da MO sobre a compressibilidade seja o resultado de seus efeitos sobre a retenção de água. Desta maneira, um aumento do teor de MO, por resultar em aumento da quantidade de água retida em uma mesma tensão, reduziria a compressibilidade por aumentar o grau de saturação do solo, levando-o a ter a compressibilidade limitada pela condutividade hidráulica, porém apesar da tendência de aumento da umidade gravimétrica associado ao aumento do teor de CO (Figura 3), esta relação só é significativa para as tensões de 6 e de 500 kPa. Deste modo se supõe que nem todo efeito da MO sobre a compressibilidade pode ser justificado por seus efeitos sobre a retenção de água.

Um terceiro aspecto que poderia explicar o efeito da MO sobre a compressibilidade observada no Nitossolo, seria a existência de um aumento de densidade do solo associado ao aumento do teor de CO. Apesar deste aumento não ser um efeito esperado da MO, tal fato poderia estar ocorrendo, haja vista que muitas das amostras mais densas deste solo foram obtidas em parcelas de plantio direto, sistema no qual o acúmulo de MO muitas vezes ocorre concomitantemente a um aumento da densidade do solo, resultado da inexistência de revolvimento do solo.

Observa-se, na Figura 4, que para todas as tensões de água estudadas o  $C_c$  decresceu linearmente com o aumento da densidade do solo; entretanto, quando se avaliou a relação entre o teor de CO e a densidade do solo separando as amostras por grupo de tensão e de densidade, verificou-se que, apesar da tendência de aumento da densidade associado ao aumento do teor de CO isto, mais uma vez, não mostrou significância estatística (Figura 5).

Portanto, o efeito da MO sobre a compressibilidade, observado para as amostras do Nitossolo com densidade maior que  $1,06 \text{ Mg m}^{-3}$  (Figura 2), não pode ser explicado totalmente por seus efeitos isolados, quer sejam os efeitos diretos sobre a coesão ou aqueles indiretos resultantes de

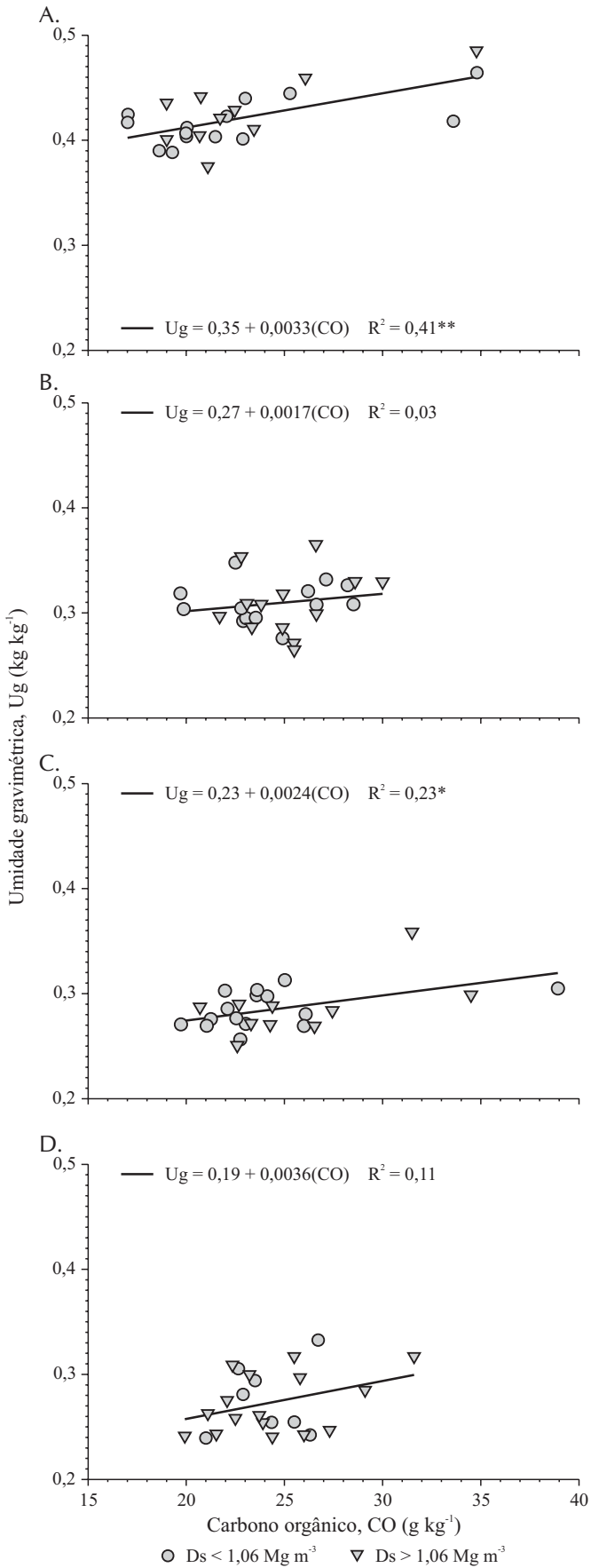


Figura 3. Umidade gravimétrica do solo em função do teor de carbono orgânico de um Nitossolo Vermelho distrófico latossólico submetido a quatro tensões de água. (A) 6 kPa; (B) 100 kPa; (C) 500 kPa; e (D) > 500 kPa

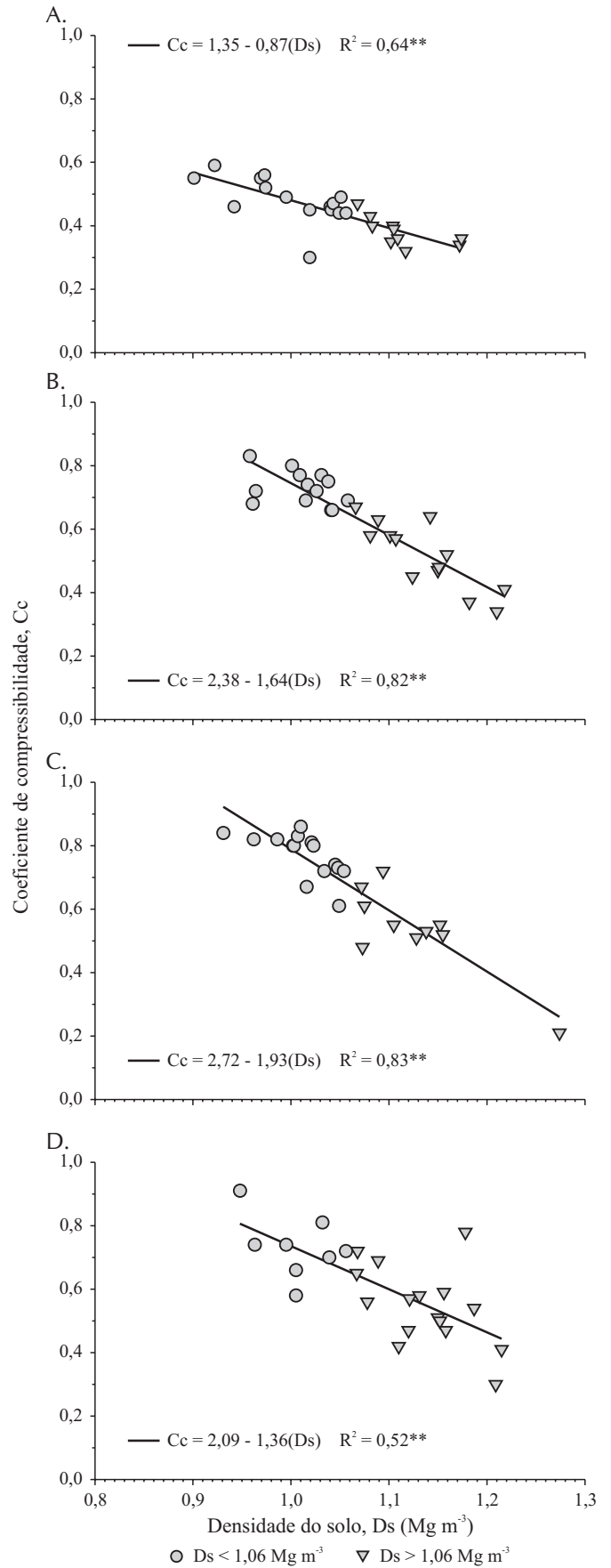
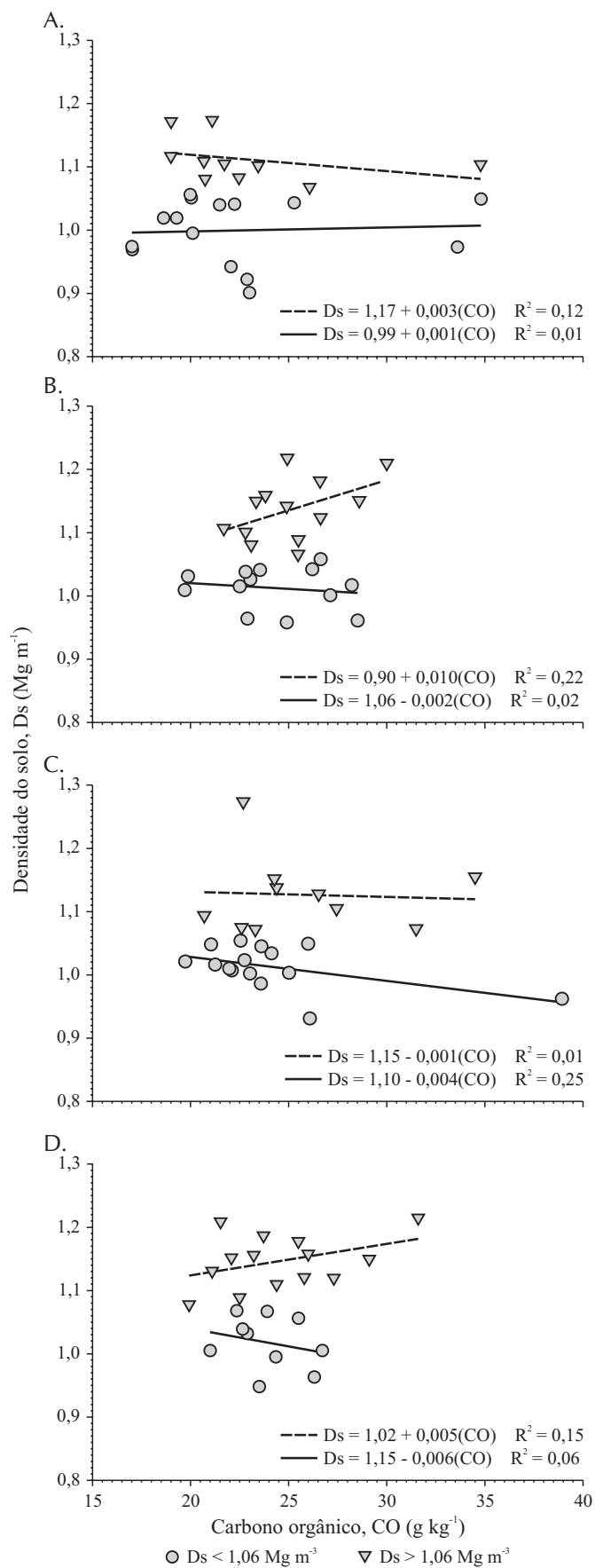


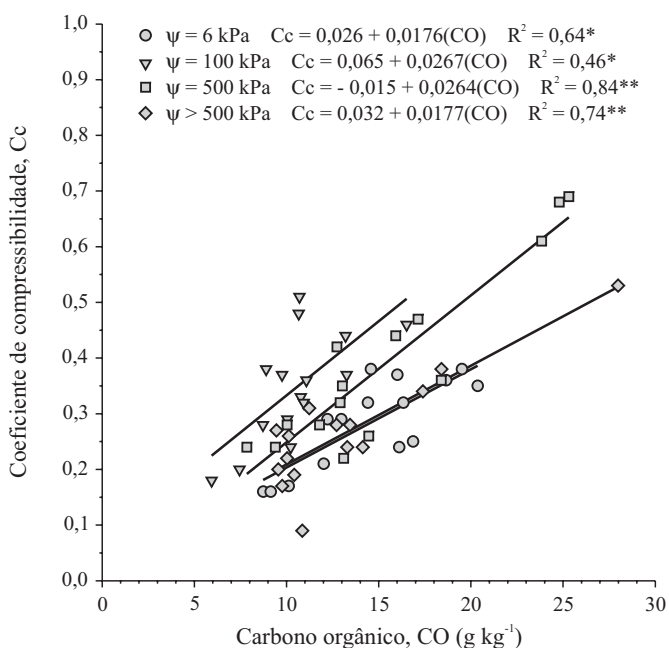
Figura 4. Coeficiente de compressibilidade do solo em função da densidade de um Nitossolo Vermelho distrófico latossólico submetido a quatro tensões de água. (A) 6 kPa; (B) 100 kPa; (C) 500 kPa; e (D) > 500 kPa



**Figura 5.** Densidade do solo em função do teor de carbono orgânico de um Nitossolo Vermelho distrófico latossólico submetido a quatro tensões de água. (A) 6 kPa; (B) 100 kPa; (C) 500 kPa; e (D) > 500 kPa

seus efeitos sobre a retenção de água ou sobre a densidade do solo.

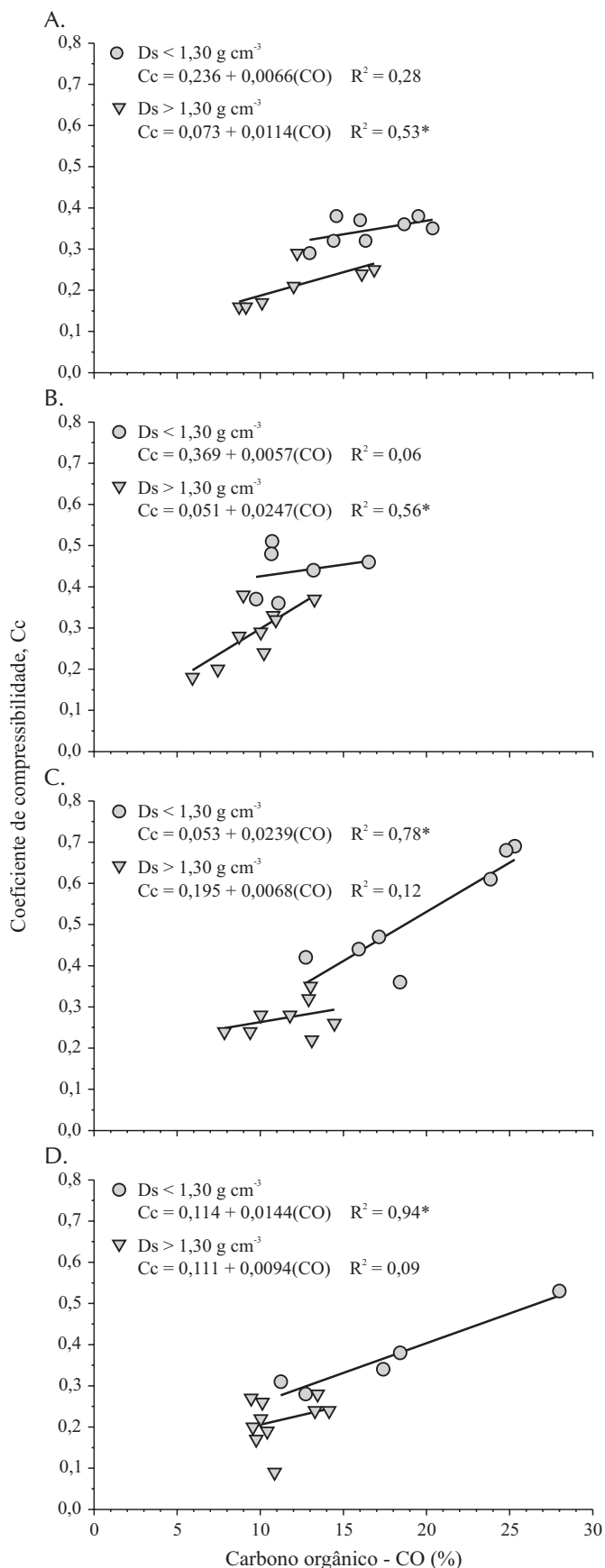
No caso do Argissolo (Figura 6), ao contrário do Nitossolo notou-se, independentemente da tensão da água das amostras, que o aumento do teor de carbono orgânico sempre está associado a um aumento da susceptibilidade do solo a compressão; ainda assim, para verificar se a densidade das amostras poderia estar afetando esta relação, adotou-se o mesmo procedimento usado com as amostras do Nitossolo, dividindo-as em dois grupos, conforme a densidade das mesmas (Figura 7). No entanto, isto não mudou a tendência, em nenhuma das condições de umidade estudadas, do incremento de CO aumentar a compressibilidade do solo, porque para este solo o incremento de matéria orgânica sempre esteve associado à diminuição da densidade do solo.



**Figura 6.** Coeficiente de compressibilidade como função do teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico submetido a quatro tensões de água ( $\psi$ )

Os valores médios de densidade do solo, carbono orgânico e coeficiente de compressibilidade, em função da classe de densidade das amostras para os dois solos estudados, são apresentados na Tabela 4, na qual se observa que, para o Argissolo, as amostras de menor densidade estão associadas a um teor médio maior de CO, enquanto para o Nitossolo se dá o contrário; portanto, para o Argissolo os efeitos do CO sobre a susceptibilidade a compressão parecem ser explicados unicamente por seus efeitos sobre a densidade do solo.

Além disso, não se espera, para solos arenosos como o Argissolo, que o efeito da matéria orgânica sobre a resistência dos pontos de contato entre as partículas minerais seja tão significativo quanto em solos argilosos como o Nitossolo, uma vez que as partículas de areia apresentam uma reatividade muito menor que a das partículas de argila, impedindo o desenvolvimento de ligações fortes entre elas e a matéria orgânica.



**Figura 7.** Coeficiente de compressibilidade em função do teor de carbono orgânico e da densidade do solo, de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico submetido a quatro tensões de água: (A) 6 kPa; (B) 100 kPa; (C) 500 kPa e (D) > 500 kPa

**Tabela 4.** Densidade do solo média ( $D_s$ ), teor de carbono orgânico médio (CO) e coeficiente de compressibilidade médio (Cc) em função da classe de densidade, para um Nitossolo Vermelho distrófico latossólico e um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico

Solo	Classe de densidade ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	Número de amostras	$D_s$ ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	CO (%)	Cc
Nitossolo	< 1,06	51	1,008	2,37	0,67
	$\geq 1,06$	49	1,130	2,46	0,51
Argissolo	< 1,30	21	1,195	1,66	0,42
	$\geq 1,30$	37	1,388	1,10	0,25

## CONCLUSÕES

1. O acúmulo de matéria orgânica no solo está associado a alterações da susceptibilidade à compactação do solo.
2. A magnitude e o tipo de efeito, no entanto, são dependentes da textura do solo e de efeitos associados sobre a retenção de água, coesão e densidade do solo.
3. Para o Argissolo de textura superficial arenosa, o enriquecimento de carbono orgânico resulta em aumento da susceptibilidade à compactação.
4. Para o Nitossolo de textura argilosa, quando a densidade é menor que  $1,06 \text{ Mg m}^{-3}$  a compressibilidade é independente do teor de carbono orgânico, enquanto para densidades maiores e umidades correspondentes a tensões de 100 e 500 kPa, o incremento de carbono orgânico está associado a uma redução da compressibilidade.

## AGRADECIMENTOS

Os autores registram seu agradecimento aos colegas Milton da Veiga e Carla Maria Pandolfo, pesquisadores da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI, e a Celso Aita e Sandro José Giacomini, professores do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, que cederam seus experimentos para a coleta das amostras de solo utilizadas neste estudo.

## LITERATURA CITADA

- Aita, C.; Port, O.; Giacomini, S. J. Dinâmica do nitrogênio no solo e produção de fitomassa por plantas de cobertura no outono/inverno com o uso de dejetos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.5, p.901-910, 2006.
- Arvidsson, J. Influence of soil texture and organic matter content on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory experiments. *Soil & Tillage Research*, v.49, n.1, p.159-170, 1998.
- Baumgartl, T.; Horn, R. Effect of aggregate stability on soil compaction. *Soil & Tillage Research*, v.19, n.3, p.203-213, 1991.



- Braida, J. A.; Reichert, J. M.; Reinert, D. J.; Sequinato, L. Elasticidade do solo em função da umidade e do teor de carbono orgânico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.2, p.477-485, 2008.
- Braida, J. A.; Reichert, J. M.; Veiga, M.; Reinert, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.4, p.605-614, 2006.
- Dias Junior, M. S. Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic. East Lansing: Michigan State University, 1994. 114p. Tese Doutorado
- Ekwue, E. I. Organic matter effects on soil strength properties. *Soil & Tillage Research*, v.16, n.3, p.289-297, 1990.
- Ekwue, E. I.; Stone, R. J. Organic matter effects on the strength properties of compacted agricultural soils. *Transactions of the ASAE*, v.38, n.2, p.357-365, 1995.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 1997. 212p.
- Holtz, R. D.; Kovacs, W. D. An introduction to geotechnical engineering. New Jersey : Prentice-Hall, 1981. 733p.
- Horn, R.; Lebert, M. Soil compactability and compressibility. In: Soane, B. D.; Ouwerkerk, C. van. *Soil compaction in crop production*. Amsterdam: Elsevier. 1994. 662p.
- Horn, R.; Taubner, H.; Wuttke, M.; Baumgartl, T. Soil physical properties related to soil structure. *Soil & Tillage Research*, v.30, n.2, p.187-216, 1993.
- Imhoff, S.; Da Silva, A. P.; Fallow, D. Susceptibility to compaction, load support capacity, and soil compressibility of a Hapludox. *Soil Science Society of America Journal*, v.68, n.1, p.17-24, 2004.
- Pereira, J. O.; Fossez, P. de; Richard, G. Soil susceptibility to compaction by wheeling as a function of some properties of a silty soil as affected by the tillage system. *European Journal of Soil Science*, v.58, p.34-44, 2007.
- Silva, A. J. N. da; Cabeda, M. S. V.; Carvalho, F. G. de. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.3, p.579-585, 2006.
- Silva, V. R.; Reinert, D. J.; Reichert, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. II – grau de saturação em água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, n.1, p.9-15, 2002.
- Soane, B. D. The role of organic matter in soil compactability: a review of some practical aspects. *Soil & Tillage Research*, v.16, n.2, p.179-201, 1990.
- Stone, R. J.; Ekwue, E. I. Soil compressibility as influenced by sewage sludge incorporation. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.64, n.3, p.227-235, 1996.
- Tisdall, J. M.; Oades, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, v.33, n.2, p.141-163, 1982.
- Trannin, I. C. de B.; Siqueira, J. O.; Moreira, F. M. S. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.3, p.223-230, 2008.
- Veiga, M. da; 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 & Tillage Research*, v.92, n.1, p.104-113, 2007.
- Zhang, B.; Horn, R.; Hallett, P. D. Mechanical resilience of degraded soil amended with organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, v.69, n.3, p.864-871, 2005.
- Zhang, H. Organic matter incorporation affects mechanical properties of soil aggregates. *Soil & Tillage Research*, v.31, n.2, p.263-275, 1994.
- Zhang, H.; Hartge, K. H.; Ringe, H. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactability. *Soil Science Society of America Journal*, v.61, n.1, p.239-245, 1997.