

SEÇÃO I - FÍSICA DO SOLO

PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO NA INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA⁽¹⁾

André da Costa⁽²⁾, Jackson Adriano Albuquerque⁽³⁾, Álvaro Luiz Mafra⁽⁴⁾ & Franciani Rodrigues da Silva⁽⁵⁾

RESUMO

A qualidade do solo no sistema de integração agricultura-pecuária depende do sistema de manejo do solo e da pastagem. A pesquisa foi realizada em Santa Catarina em um Cambissolo Húmico aluminico, em área com pastagem nativa pastejada por nove anos, dessecada em maio de 2003 para semear pastagem anual de inverno e cultivo de milho no verão. O experimento, conduzido no delineamento com parcelas subdivididas, consistiu da combinação de sistemas de manejo da pastagem e de sistemas de preparo do solo para o cultivo de verão, com os seguintes tratamentos: azevém sem pastejo e dessecado ao final do ciclo e milho em semeadura direta; azevém sem pastejo, roçado e removido ao final do ciclo e milho em semeadura direta; azevém pastejado e milho em semeadura direta; azevém pastejado e milho em preparo convencional; e azevém pastejado e milho em preparo reduzido. O pastejo foi realizado durante dois períodos de 14 e 10 dias, com carga animal de 6,0 Mg ha⁻¹. Amostras de solo foram coletadas em diferentes épocas para determinações físicas e do teor total de C de compostos orgânicos (COT). O preparo do solo com arado ou escarificador foi o fator que mais modificou as propriedades do solo, reduziu o teor de COT, a estabilidade dos agregados, a densidade e a umidade e aumentou a porosidade total, a macroporosidade e a capacidade de aeração do solo, comparado ao sistema de plantio direto, no qual os efeitos do manejo da pastagem não modificaram as propriedades físicas do solo. A transição de pastagem nativa pastejada para o sistema de integração agricultura-pecuária no sistema de plantio direto preserva melhor a qualidade física do solo em relação ao preparo convencional, e o preparo reduzido tem desempenho intermediário.

Termos de indexação: pisoteio, compactação, pastagem, estrutura do solo, preparo do solo.

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo do primeiro autor, na Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Recebido para publicação em abril de 2007 e aprovado em outubro de 2008.

⁽²⁾ Estudante de Doutorado do Curso de Manejo do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC). Bolsista da CAPES. E-mail: costa2@bol.com.br

⁽³⁾ Professor Doutor do Departamento de Solos, CAV/UDESC. Pesquisador do CNPq. E-mail: jackson@cav.udesc.br

⁽⁴⁾ Professor Doutor do Departamento de Solos, CAV/UDESC. E-mail: a2alm@cav.udesc.br

⁽⁵⁾ Engenheira-Agrônoma, Mestre em Ciência do Solo, CAV/UDESC. E-mail: francianiagro@yahoo.com.br

SUMMARY: SOIL PHYSICAL PROPERTIES IN CROP-LIVESTOCK MANAGEMENT SYSTEMS

*The soil quality of a crop-livestock system can change according to the pasture and soil management. This research was carried out in Otacilio Costa, Santa Catarina State, southern Brazil, on a Humic Cambisol previously used with native grass pasture for 9 years, desiccated in May 2003, for use with ryegrass (*Lolium multiflorum*) pasture in the winter and corn in the summer. A split plot design was used, consisting of pasture management systems and soil tillage systems prior to the summer crop, with the following treatments: ungrazed ryegrass, desiccated at the end of the cycle followed by corn under no-tillage; ungrazed ryegrass, mowed and removed at the end of the cycle followed by corn under no-tillage; grazed ryegrass followed by corn under no-tillage; grazed ryegrass followed by corn under conventional tillage; and grazed ryegrass followed by corn under reduced tillage. Animal grazing consisted of two periods of 14 and 10 days, with an animal weight of 6.0 Mg ha⁻¹. Soil samples were collected on different dates for analyses of soil physical and total organic carbon. Soil tillage with plow or disking was the factor that influenced soil physical properties most, reducing organic carbon content, aggregate stability, bulk density and soil moisture, and increased total porosity, macroporosity and soil aeration capacity, compared to the no-tillage system. Under no-tillage, the effects of pasture management caused no modification of the soil physical properties. By converting from native grassland to an integrated crop-livestock system under no-tillage soil physical conditions were better preserved than under conventional tillage, while reduced tillage had a moderate performance.*

Index terms: animal trampling, compaction, pasture, soil structure, soil tillage.

INTRODUÇÃO

A integração agricultura-pecuária para produção de grãos na primavera/verão e cultivo de pastagens para o gado no outono/inverno é prática comum no sul do Brasil. A semeadura das culturas de inverno e verão é realizada tanto no sistema de plantio direto (SPD) como no sistema de preparo convencional. Na última década, a área utilizada com o sistema de integração agricultura-pecuária cresceu proporcionalmente à adoção do sistema de plantio direto, pois este último viabilizou a exploração de novas áreas agrícolas. De um total de 44 Mha em produção agrícola no País, ele é utilizado em 25,5 Mha, nas mais diversas regiões, tipos de solos, clima, topografia e culturas (Bacaltchuk, 2005).

O sistema de plantio direto, além de não revolver o solo, mantém os resíduos vegetais na superfície, aumenta o teor de matéria orgânica (Bayer & Mielniczuk, 1997), a estabilidade dos agregados (Campos et al., 1995) e preserva a qualidade da estrutura do solo (Carpenedo & Mielniczuk, 1990), com reflexo na redução da erosão hídrica e da poluição do ambiente.

Apesar dos benefícios do PD, existem estudos que indicam aumento da compactação dos solos cultivados nesse sistema (Carter et al., 1999), o que pode comprometer a produtividade das culturas ao longo dos anos. Essa tendência é observada principalmente em lavouras onde se adota o sistema de integração agricultura-pecuária sem critérios técnicos para o

manejo da pastagem, pois, quando o pisoteio é realizado em solo úmido e o pastejo for excessivo, o processo de compactação é potencializado (Tanner & Mamaril, 1959; Trein et al., 1991; Proffitt et al., 1993; Pietola et al., 2005), especialmente em solos argilosos (Albuquerque et al., 2001). O pisoteio afeta também a qualidade do solo em sistemas silvipastoris (Sharrow, 2007).

O efeito do manejo do solo nos atributos físicos é dependente da textura; segundo Tanner & Mamaril (1959), os mais suscetíveis à compactação são os mais argilosos, com redução sensível na produtividade das culturas. A redução foi observada mesmo em pastagens que estavam sendo manejadas adequadamente. Assim, o grau de compactação que um solo pode alcançar será maior quando o solo estiver sujeito ao manejo inadequado. Nesse sentido, Proffitt et al. (1995) sugerem, para evitar a degradação, a retirada dos animais da área quando a umidade estiver acima do limite de plasticidade.

Para amenizar a compactação pelo gado uma alternativa é ajustar a carga animal ao crescimento da pastagem, com a permanência de 1 t ha⁻¹ de matéria seca para evitar alterações na densidade do solo e na produtividade dos grãos, conforme observado por Silva et al. (2000) em um Argissolo arenoso e por Flores et al. (2007) em Latossolo Vermelho. A camada mais compactada pelo trânsito de animais é geralmente de 5 a 15 cm (Greenwood & McKenzie, 2001), e a pressão exercida sobre o solo pode chegar a 350 kPa (Proffitt et al., 1993).

Deve-se considerar que alterações nas propriedades físicas e químicas do solo podem levar à perda de sua qualidade e da capacidade dele de sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a sanidade vegetal e animal (Doran & Parkin, 1994). Portanto, seria benéfico se as áreas de campo nativo, ao serem convertidas para sistemas de cultivo com produção de grãos ou para agricultura e pecuária, tivessem a estrutura do solo preservada, o que depende fundamentalmente do sistema adotado para o manejo das pastagens e do solo.

Este trabalho objetivou avaliar o efeito dos sistemas de manejo da pastagem e de preparos do solo para o cultivo de verão nas propriedades físicas do solo, durante a transição de uma área de campo nativo pastejado para o sistema de integração agricultura-pecuária.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em Otacílio Costa, SC, no Planalto Catarinense, a 890 m de altitude. O solo é classificado como Cambissolo Húmico aluminico, com 337, 426 e 237 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente, na camada de 0 a 20 cm. O clima é do tipo mesotérmico úmido, Cfb, na classificação de Köppen. Em maio de 2003 foi realizada uma coleta de amostras do solo, composta de 10 subamostras coletadas com trado de rosca, para avaliar alguns atributos químicos do solo (Quadro 1).

A área originalmente coberta por mata de araucária foi arada pela primeira vez no início da década de 1980 e cultivada até 1994 com milho em preparo convencional e pousou no inverno. Depois disso, a pastagem nativa cresceu espontaneamente e foi utilizada com gado de corte de junho de 1994 a maio de 2003, época em que a área foi dessecada e

utilizada com pastagem anual de inverno de azevém, seguida de cultivo de milho no verão.

O experimento foi conduzido no ciclo 2003/2004, em delineamento de blocos ao acaso com parcelas de 10 x 10 m e 48 m² de área útil, com quatro repetições e envolvendo a combinação da utilização da pastagem de inverno e dos preparos do solo para a cultura de verão, totalizando cinco sistemas de manejo. Os tratamentos foram: azevém sem pastejo e dessecado ao final do ciclo e milho em sistema de plantio direto (PDdes); azevém sem pastejo, roçado e removido ao final do ciclo e milho em sistema de plantio direto (PDrem); azevém pastejado seguido de 13 dias de diferimento (sem pastejo do gado) e milho em sistema de plantio direto após a dessecação da pastagem (PDpast); azevém pastejado e milho em preparo convencional, com uma aração na camada de 0 a 15 cm, realizada 13 dias antes da semeadura do milho, seguida de duas gradagens leves sete dias antes da semeadura (PCpast); e azevém pastejado seguido de milho em preparo reduzido, com uma escarificação na camada de 0 a 10 cm, realizada 13 dias antes da semeadura do milho, seguida de duas gradagens leves sete dias antes da semeadura (PRpast).

A pastagem de azevém (*Lolium multiflorum*) foi estabelecida em maio de 2003, em linhas espaçadas de 17 cm, com semeadora com discos duplos desencontrados, a 2 cm de profundidade. A adubação foi em superfície, com 30, 120 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, aplicada logo após a semeadura, segundo recomendação da CQFS-RS/SC (1995). Foram aplicados aos 40 dias após a semeadura 3 t ha⁻¹ de calcário em superfície, que correspondeu à metade da dose necessária para elevar o pH para 5,5, e 110 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia, em conformidade com a mesma recomendação.

O pastejo foi realizado com bovinos de corte jovens e adultos, respectivamente com peso vivo médio de 140 e 380 kg por animal, com carga de 6,0 t ha⁻¹. Esse pastejo ocorreu durante dois períodos, 27/09 a 05/10 e 27/10 a 7/11, sendo retirados os animais da área quando a pastagem apresentava 8 cm de altura.

A produção de matéria seca do azevém antes da entrada dos animais para pastejo foi avaliada aos 118 e 153 dias após a semeadura (DAS), com corte das plantas a 3 cm de altura do solo, em amostras de 0,25 m². Antes do primeiro pastejo, a produção de matéria seca do azevém não diferiu entre os sistemas de manejo, com média de 2,7 t ha⁻¹, já que não havia o efeito dos tratamentos. Aos 153 DAS, os sistemas não pastejados (PDdes e PDrem) tinham produção de matéria seca média de 6,5 t ha⁻¹, aproximadamente quatro vezes maior que a dos sistemas pastejados (PDpast, PCpast e PRpast), com média de 1,6 t ha⁻¹. A matéria seca remanescente do azevém e dos resíduos da pastagem nativa dessecada foi determinada antes dos preparos para a semeadura do milho, aos 164 DAS do azevém no PRpast e PCpast e aos 172 DAS no PDdes, PDroc e PDpast. A matéria seca residual foi

Quadro 1. Atributos químicos do solo na área experimental nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm antes da semeadura do azevém, em maio de 2003. Otacílio Costa - SC

Atributo	Unidade	Camada	
		0 a 10	10 a 20
		———— cm ————	
pH água	-	5,4	5,6
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	5,7	6,2
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	3,2	3,5
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,6	0,0
K	mg dm ⁻³	140	67
P	mg dm ⁻³	4,1	3,8
COT ⁽¹⁾	g kg ⁻¹	35	37

⁽¹⁾ Carbono orgânico total.

maior no PD sem pastejo ($10,8 \text{ t ha}^{-1}$), e os sistemas com pastejo ou roçado foram similares entre si ($5,0 \text{ t ha}^{-1}$).

A semeadura do milho foi realizada em novembro de 2003, com trator de média potência, 80,9 kW (110 cv) e semeadora de quatro linhas espaçadas a 80 cm, com conjunto de discos duplos desencontrados para adubo e outro para semente, com duas rodas compactadoras em "V". A semeadora foi regulada para distribuir 60.000 sementes ha^{-1} do híbrido simples AS 1545. As adubações foram baseadas na análise de solo segundo recomendação da CQFS-RS/SC (1995) para milho com produtividade acima de 6.000 kg ha^{-1} . Foram aplicados na linha de plantio 23, 105 e 68 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente. Aos 35 e 60 DAS, foram aplicados em superfície 80 kg ha^{-1} de N na forma de uréia. Na figura 1 se apresentam os resultados da produtividade da cultura de milho obtidos na safra 2003/2004, onde se observa uma produtividade média de 8.700 kg ha^{-1} e uma amplitude de 800 kg ha^{-1} entre o sistema mais produtivo (PDdes, 9.000 kg ha^{-1}) e o sistema menos produtivo (PDpast, 8.200 kg ha^{-1}).

As coletas foram realizadas em diferentes estádios de desenvolvimento das plantas de milho: em dezembro de 2003, após a emergência (16 dias após a semeadura - DAS); em fevereiro de 2004, no pleno florescimento (88 DAS); e em maio de 2004, na colheita do milho (190 DAS). A amostragem de solo para as determinações físicas foi realizada na entrelinha do milho, nas camadas de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15 e 15 a 20 cm, coletando-se amostras com estrutura preservada em cilindros volumétricos e com estrutura alterada em leivas. Os atributos avaliados foram: estabilidade de agregados (EA), densidade do solo (Ds) e porosidade total (PT), nas três épocas de coleta; macroporosidade (volume de poros livres de água a 6 kPa), microporosidade (volume de água retida a 6 kPa), água prontamente disponível (água retida entre 10 e 100 kPa), capacidade de aeração (volume

de poros livres de água a 10 kPa) e capacidade de campo (água retida a 10 kPa), aos 88 e 190 DAS; e teor de COT, aos 190 DAS.

Os atributos físicos relacionados à densidade e porosidade foram determinados segundo Klute (1986), e o teor de COT, conforme Embrapa (1997). A estabilidade de agregados foi determinada por meio de agitação em água dos agregados entre 8,00 e 4,76 mm, conforme o método de Kemper & Chepil (1965), e expressa pelo diâmetro médio geométrico (DMG).

Para cada camada, os resultados foram avaliados pela análise da variância, no delineamento em blocos ao acaso com parcelas subdivididas. Os sistemas de manejo constituíram o fator na parcela principal e a época de coleta na subparcela, segundo sugerido por Steel & Torrie (1980). Quando houve diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado do teste de significância dos efeitos de sistema de manejo do solo, época de coleta das amostras e a interação sistema x época está no quadro 2. Os efeitos significativos foram mais frequentes na camada mais superficial, local onde os ciclos de umedecimento e secamento, o pisoteio, as operações de preparo e a semeadura são mais intensos.

O teor de COT diferiu entre os sistemas de manejo na camada de 0 a 10 cm (Figura 2). De 0 a 5 cm, nos três sistemas de manejo sob plantio direto, os teores de COT foram semelhantes (média de $34,4 \text{ g kg}^{-1}$) e superiores aos do preparo convencional ($28,1 \text{ g kg}^{-1}$). Na camada de 5 a 10 cm, o preparo convencional foi o sistema com maior teor de COT, enquanto o plantio direto pastejado teve o menor teor. As alterações devem-se à incorporação dos resíduos culturais e à mistura de diferentes camadas do solo pelo revolvimento, o que favorece a mineralização da matéria orgânica, além do consumo da pastagem no plantio direto pastejado. Maiores teores de COT nos sistemas conservacionistas, em comparação ao convencional, também foram encontrados por Campos et al. (1995) em Latossolo Vermelho, Bayer et al. (2000) em Argissolo Vermelho e Costa et al. (2003) em Latossolo Bruno. A intensidade da mobilização do solo no preparo reduzido faz com que esse sistema tenha teor de COT intermediário entre o PC e o PD.

A estabilidade dos agregados na camada de 0 a 5 cm foi maior no PDdes, PDroç e PDpast (média de 5,2 mm) em relação ao PCpast (4,7 mm) (Figura 3). Eltz et al. (1989), em Latossolo Bruno, e Castro Filho et al. (1998), em Latossolo Vermelho, também encontraram maior estabilidade de agregados no PD comparado ao PC, devido ao aumento do COT e ao não revolvimento do solo – principais causas dessa

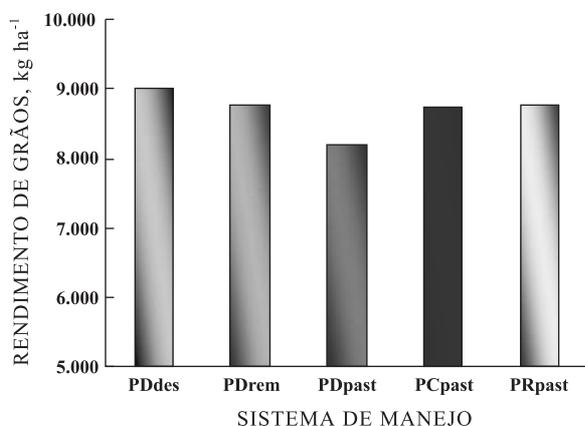


Figura 1. Rendimento de grãos de milho nos sistemas de manejo na integração lavoura-pecuária. Otacílio Costa - SC, 2003/2004.

Quadro 2. Significâncias ($p > F$) dos efeitos de sistema de manejo, época de coleta e a interação época x sistema para alguns atributos do Cambissolo Húmico, na integração agricultura-pecuária. Otacilio Costa - SC, 2003/2004

Camada	Causa de variação	Propriedade								
		COT ^(1, 2)	DMG	DS	PT	Macro	Micro	CA	CC	APD
0 a 5	Sistema	0,11	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,22
	Época		0,34	0,07	<0,01	0,11	0,03	0,22	0,09	<0,01
	Época x Sistema		0,14	0,13	0,12	0,48	0,14	0,48	0,34	0,05
5 a 10	Sistema	0,03	0,21	<0,01	0,01	0,03	0,54	0,02	0,39	0,12
	Época		1,00	0,20	0,09	0,53	0,13	0,71	0,30	<0,01
	Época x Sistema		0,71	0,92	0,11	0,16	0,28	0,18	0,72	0,80
10 a 15	Sistema	0,74	0,06	0,74	0,62	0,88	0,53	0,87	0,74	0,10
	Época		0,92	0,55	0,22	0,45	0,22	0,38	0,18	<0,01
	Época x Sistema		0,07	1,00	0,89	0,81	0,80	0,81	0,89	0,36
15 a 20	Sistema	0,65	0,41	0,75	0,71	0,26	0,65	0,21	0,54	<0,01
	Época		0,03	0,22	0,02	0,13	0,10	0,28	0,25	0,01
	Época x Sistema		0,75	0,69	0,26	0,35	0,34	0,32	0,35	0,48

⁽¹⁾ COT: carbono orgânico total do solo; DMG: diâmetro médio geométrico; DS: densidade do solo; PT: porosidade total; MACRO: macroporosidade; MICRO: microporosidade; CA: capacidade de aeração; CC: capacidade de campo; APD: água prontamente disponível. ⁽²⁾ Para carbono orgânico total a coleta foi realizada em apenas uma época.

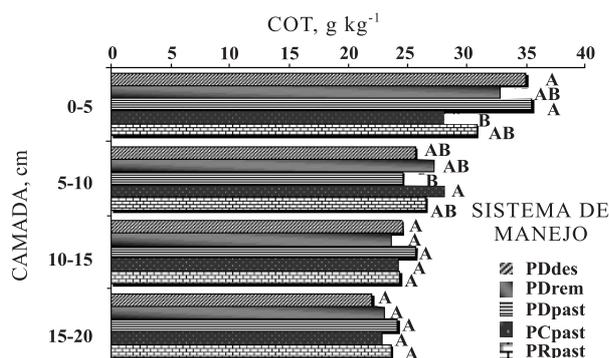


Figura 2. Carbono orgânico total (CO) do solo nos sistemas de manejo e camadas na integração agricultura-pecuária aos 190 dias após a semeadura (DAS) do milho. Otacilio Costa-SC, 2004. Letras maiúsculas comparam os sistemas de manejo em cada camada. Médias seguidas por letras iguais não diferem a 5 % (Tukey).

distinção. Outro fator que pode resultar em aumento da estabilidade dos agregados é a maior densidade e coesão das partículas em solos não mobilizados (Carpenedo & Mielniczuk, 1990).

Nos sistemas avaliados, o Cambissolo Húmico tem alta estabilidade de agregados, com DMG de 4,8 mm na média das quatro camadas avaliadas, o que indica que a gênese dos agregados é favorecida pelas pastagens, principalmente as perenes, e permanece estável mesmo após a introdução de cultura anual. Resultados que indicam alta estabilidade em sistemas

com pastagem perene foram relatados por Paladini & Mielniczuk (1991). A elevada estabilidade gerada por processos naturais resulta em maior porosidade do solo.

No PC, o menor teor de COT deve-se ao revolvimento com inversão e, ou, mistura de camadas de solo, o que pode ser constatado pelo maior teor de COT, de 5 a 10 cm. Além desse efeito, o revolvimento estimula a decomposição microbiana e reduz o teor de COT.

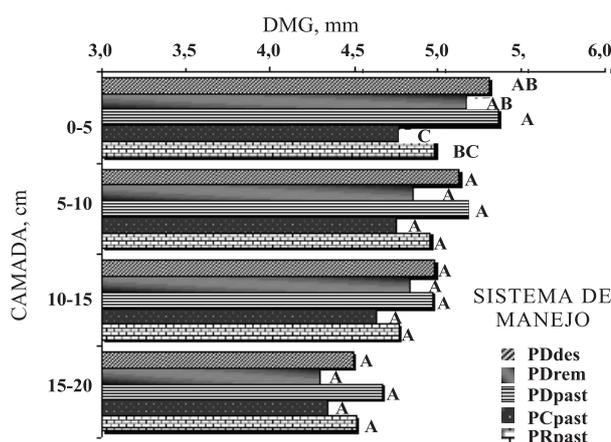


Figura 3. Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do solo nos sistemas de manejo e camadas, na integração agricultura-pecuária. Média das três épocas: 16, 88 e 190 DAS. Otacilio Costa - SC, 2003/2004. As médias dos sistemas de manejo em cada camada seguidas por letras iguais não diferem a 5 % pelo teste de Tukey.

Na média das camadas e sistemas, a densidade do solo foi de $1,09 \text{ kg dm}^{-3}$, estando abaixo do limite crítico, que é de $1,4 \text{ kg dm}^{-3}$, para solos de mesma classe textural franco-argiloso (Reichert et al., 2003) e também abaixo da densidade crítica para solos de textura argilosa, que é de $1,3 \text{ kg dm}^{-3}$ (Argenton et al., 2005). A baixa densidade do solo é atribuída à alta estabilidade dos agregados e à preservação da estrutura deste solo, utilizado com campo pastejado durante os nove anos anteriores ao experimento. Indica também que a utilização do pastejo sob condições controladas durante o inverno não compromete a qualidade física do solo – uma preocupação no sistema de integração agricultura-pecuária.

A densidade do solo (Ds) não diferiu entre os sistemas de plantio direto, independentemente do pastejo ou da remoção da palha, porém foi superior à do preparo reduzido pastejado na camada de 0 a 5 cm e à do preparo convencional pastejado na camada de 0 a 10 cm (Figura 4). Nas demais camadas, os sistemas têm igual Ds. Deve ser ressaltado que em todos os sistemas as amostras foram coletadas em região sob influência do rodado do trator e que o pastejo foi realizado em dois períodos curtos. Esses resultados corroboram os de Corsini & Ferraudo (1999) em estudo num Latossolo Roxo e de Secco et al. (2005) com Latossolo Vermelho, os quais relatam aumento da densidade sob PD em relação ao PC. Por sua vez, Eltz et al. (1989) e Costa et al. (2003), em Latossolo Bruno em Guarapuava (PR), e Albuquerque et al. (1995), em Latossolo Vermelho em Cruz Alta (RS), não observaram diferenças na Ds entre os sistemas PD e PC. A menor Ds no PC e PR deve-se ao revolvimento; na camada de 0 a 5 cm ela foi, em média, de $0,99 \text{ kg dm}^{-3}$ e manteve-se ao redor de $1,08 \text{ kg dm}^{-3}$ na de 5 a 20 cm.

O pisoteio animal num Nitossolo Háplico sob integração agricultura-pecuária aumentou a densidade no PD comparado ao PC (Albuquerque et al., 2001). Nos EUA, Daniel et al. (2002) relataram maior densidade em solos de pradaria, em função da carga animal utilizada na pastagem, enquanto Clark et al. (2004) não constataram diferença na densidade em quatro solos siltosos em áreas de resteva de milho, pastejadas ou não por bovinos. Flores et al. (2007) constataram que o pastejo em Latossolo Vermelho aumentou a densidade e reduziu a porosidade, porém não influenciou o rendimento da soja após o pastejo.

Conforme se pôde observar, o efeito da integração agricultura-pecuária na Ds em áreas sob os sistemas PD ou PC é variável, podendo ser mantidas as condições físicas do solo, desde que seguida de manejo adequado da pastagem (Spera et al., 2006); a manutenção da qualidade física do solo é necessária para manter elevada produtividade das culturas (Rezaei et al., 2006).

A porosidade total do solo (PT) foi alta, com variação de $0,60$ a $0,67 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. O revolvimento aumentou a PT com maior intensidade no PR na camada de 0 a

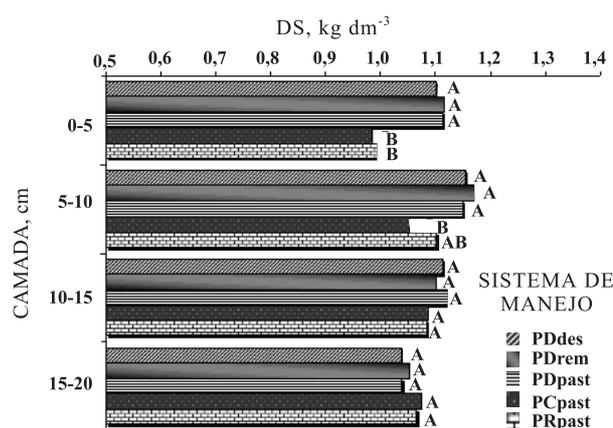


Figura 4. Densidade do solo (DS) nos sistemas de manejo e camadas na integração agricultura-pecuária. Média de três épocas: 16, 88 e 190 DAS. Otacílio Costa-SC, 2003/2004. Letras maiúsculas comparam os sistemas de manejo em cada camada. Médias seguidas por letras iguais não diferem a 5 % (Tukey).

5 cm e no PC de 5 a 10 cm (Figura 5). Assim como foi observado na densidade do solo, o manejo da pastagem no PD não alterou a PT, mas no PDdes foi observada a menor PT na camada de 5 a 10 cm, indicando sinais de compactação, que pode se tornar limitante às plantas, principalmente se forem utilizadas máquinas e equipamentos de maior peso a longo prazo.

O manejo do solo alterou a distribuição de tamanho de poros, e em todos os sistemas de manejo o volume de macroporos foi superior ao nível crítico para as trocas gasosas, que é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Xu et al., 1992). O menor volume de macroporos foi observado nos sistemas de PD, ao passo que a mobilização do solo aumentou o volume de macroporos na camada de 0 a 5 cm no PR e de 0 a 10 cm no PC (Figura 5). Nas camadas não mobilizadas pelos implementos nas operações de preparo e semeadura, o volume de macroporos não diferiu entre os sistemas de manejo do solo, concordando com as observações feitas num Latossolo Vermelho distrófico em Araruna, noroeste do Estado do Paraná (Tormena et al., 2002). Não houve efeito significativo do manejo da cultura de inverno no sistema de PD. O manejo do solo, ao alterar a sua densidade e a porosidade total, modificou também o volume de microporos, com redução de $0,51 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no PDdes para $0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no sistema com maior mobilização, o PCpast (Figura 5). Com o mesmo comportamento observado para os macroporos, a capacidade de aeração difere entre os sistemas, porém, como a tensão é superior (10 kPa) à utilizada para medir a macroporosidade (6 kPa), o volume de poros livres de água é superior.

A capacidade de aeração foi maior na camada de 0 a 5 cm no PCpast e no PRpast (média de $0,24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), em relação ao PD (média de $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Na camada

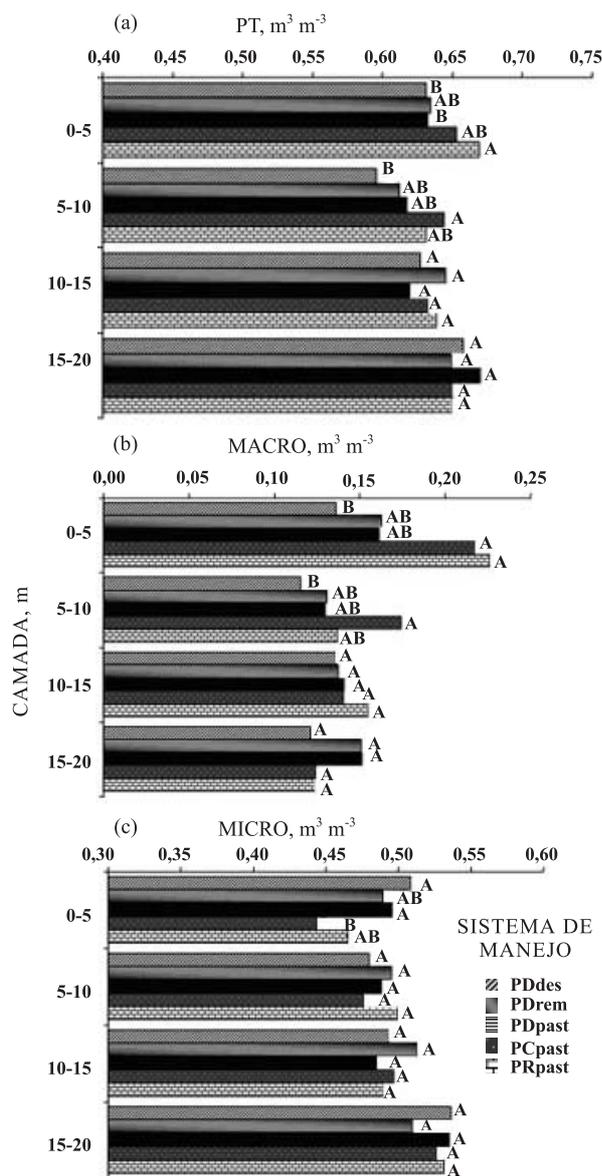


Figura 5. Porosidade total (a), macroporosidade (b) e microporosidade (c) nos sistemas de manejo e camadas, na integração agricultura-pecuária. Média de três épocas: 16, 88 e 190 DAS. Otacílio Costa - SC, 2003/2004. As médias dos sistemas de manejo em cada camada seguidas por letras iguais não diferem a 5 % pelo teste de Tukey.

de 5 a 10 cm, foi maior no PCpast ($0,19 m^3 m^{-3}$), enquanto nos outros sistemas variou de $0,13$ a $0,15 m^3 m^{-3}$.

Com as alterações na porosidade do solo, o manejo também modificou a retenção de água na capacidade de campo na camada mais superficial (Figura 6), com maior retenção nos sistemas de PD, mais compactados ($0,48 m^3 m^{-3}$), do que nos mobilizados PC e PR (média de $0,43 m^3 m^{-3}$). A CC foi alta (Hillel, 1998) em relação aos teores de argila e matéria orgânica desse Cambissolo Húmico.

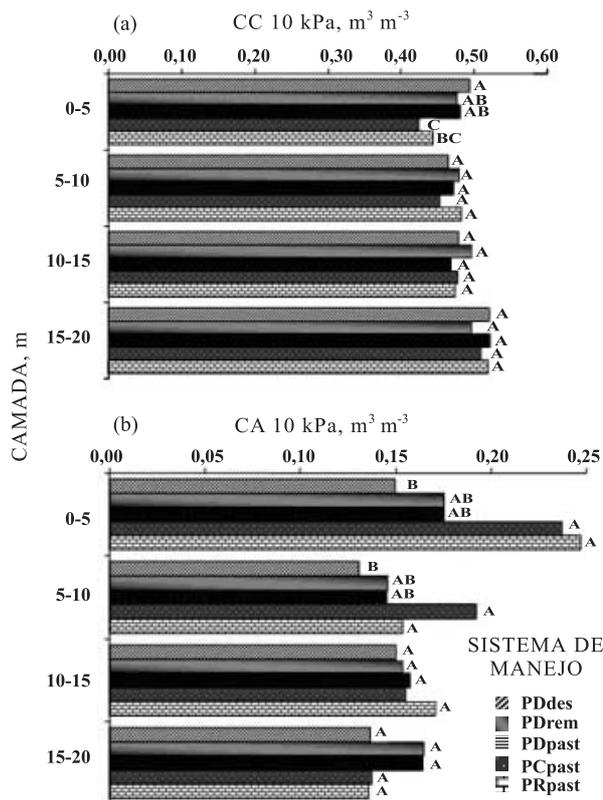


Figura 6. Capacidade de campo (CC) e capacidade de aeração (CA) a 10 kPa nos sistemas de manejo do solo e camadas, na integração agricultura-pecuária. Média de duas épocas, 88 e 190 DAS. Otacílio Costa-SC, 2003/2004. As médias dos sistemas de manejo em cada camada seguidas por letras iguais não diferem a 5 % pelo teste de Tukey.

As modificações na capacidade de campo alteraram a água prontamente disponível (APD), retida entre as tensões de 10 a 100 kPa, que variou de $0,050 m^3 m^{-3}$ no PDpast a $0,102 m^3 m^{-3}$ no PDdes (Quadro 3). De maneira geral, houve aumento da primeira para a segunda época em todas as camadas, possivelmente devido ao rearranjo da estrutura do solo após as operações de mobilização, com aumento da água retida na tensão de 10 kPa em maior grau do que na de 100 kPa (Figura 6). Entre os sistemas, foi observada diferença na camada de 15 a 20 cm, com maior teor de APD no PDdes e PDrem ($0,072 m^3 m^{-3}$) e menor no PRpast ($0,053 m^3 m^{-3}$). Os demais sistemas apresentaram teor intermediário. Essa diferença, apesar de parecer pequena ($0,02 m^3 m^{-3}$), significa aumento de 35 % e pode ser importante na nutrição das plantas de milho.

O efeito do manejo do solo sobre o total de poros e sua distribuição tem sido enfatizado em diversos estudos. Machado & Brum (1978), num Latossolo Vermelho em Santo Ângelo (RS), e Secco et al. (1997), num Latossolo Vermelho em Cruz Alta (RS), observaram redução da PT e da macroporosidade e

Quadro 3. Água prontamente disponível retida entre as tensões de 10 e 100 kPa, nos sistemas de manejo e camadas aos 88 e 190 dias após a semeadura (DAS) do milho, nas quatro camadas avaliadas na integração agricultura-pecuária. Otacílio Costa - SC, 2003/2004

Camada	Época	Sistema de manejo					Média
		PDdes	PDrem	PDpast	PCpast	PRpast	
cm				m ³ m ⁻³			
0 a 5	88 DAS	0,065 A b	0,072 A a	0,059 A a	0,076 A a	0,074 A a	0,069 <u>a</u>
	190 DAS	0,102 A a	0,087 A a	0,081 A a	0,080 A a	0,097 A a	0,089 <u>a</u>
	Média	0,083 <u>A</u>	0,079 <u>A</u>	0,070 <u>A</u>	0,078 <u>A</u>	0,085 <u>A</u>	0,079 <u>A</u>
5 a 10	88 DAS	0,074 A a	0,063 A a	0,058 A a	0,072 A a	0,069 A a	0,067 <u>b</u>
	190 DAS	0,092 A a	0,078 A a	0,083 A a	0,084 A a	0,082 A a	0,084 <u>a</u>
	Média	0,083 <u>A</u>	0,070 <u>A</u>	0,070 <u>A</u>	0,078 <u>A</u>	0,075 <u>A</u>	0,075 <u>A</u>
10 a 15	88 DAS	0,063 A a	0,065 A a	0,059 A a	0,065 A a	0,065 A a	0,063 <u>b</u>
	190 DAS	0,077 A a	0,087 A a	0,070 A a	0,083 A a	0,074 A a	0,078 <u>a</u>
	Média	0,070 <u>A</u>	0,076 <u>A</u>	0,065 <u>A</u>	0,074 <u>A</u>	0,069 <u>A</u>	0,071 <u>A</u>
15 a 20	88 DAS	0,069 A a	0,065 A a	0,050 A a	0,058 A a	0,054 A a	0,059 <u>b</u>
	190 DAS	0,078 A a	0,077 A a	0,071 A a	0,075 A a	0,052 A a	0,071 <u>a</u>
	Média	0,073 <u>A</u>	0,071 <u>A</u>	0,060 <u>AB</u>	0,067 <u>AB</u>	0,053 <u>B</u>	

Letras maiúsculas comparam sistemas de manejo em cada época e camada; maiúsculas sublinhadas comparam sistemas de manejo em cada camada na média das épocas; minúsculas comparam épocas em cada camada e sistema de manejo; e minúsculas sublinhadas comparam a época em cada camada na média dos sistemas de manejo. Médias seguidas por letras iguais não diferem a 5 % pelo teste de Tukey.

aumento da microporosidade no PC em relação ao PD, enquanto Eltz et al. (1989) e Costa et al. (2003), em Latossolo Bruno em Guarapuava (PR), e Albuquerque et al. (1995), em Latossolo Vermelho (RS), não observaram essas diferenças.

CONCLUSÕES

1. O manejo da pastagem anual de inverno no sistema de plantio direto, incluindo pastejo, roçada ou remoção do azevém, não modifica significativamente as propriedades físicas do solo. Já o revolvimento do solo com arado mais grade ou escarificador mais grade reduz o teor de COT, a estabilidade dos agregados, a densidade e a capacidade de campo e aumenta a porosidade total, a macroporosidade e a capacidade de aeração do solo, comparado ao sistema de plantio direto. As maiores diferenças são observadas entre o preparo convencional e o sistema de plantio direto.

2. A transição de campo nativo pastejado para o sistema de integração agricultura-pecuária no sistema de plantio direto preserva a qualidade física do solo quando comparado ao preparo convencional, enquanto o preparo reduzido tem desempenho intermediário.

LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: Efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. R. Bras. Ci. Solo, 19:115-119, 1995.
- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L. & ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. R. Bras. Ci. Solo, 25:717-723, 2001.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. & WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. R. Bras. Ci. Solo, 29:425-435, 2005.
- BACALTCHUK, B. Sistema de plantio direto na palha: A prática que diferencia a agricultura brasileira. B. Infor. Federação Bras. Plantio Direto na Palha, 19:2. Disponível em: http://www.febrapdp.org.br/boletim_19/informe_19_pagina_2.htm Acesso em: 28 maio 2005.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultivo. R. Bras. Ci. Solo, 21:105-112, 1997.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTINETO, L. & FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in Southern Brazil. Soil Till. Res., 53:101-109, 2000.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A. & NICOLÓDI, R. Avaliação temporal da umidade do solo como consequência do tipo e percentagem de cobertura vegetal. Ci. Rural, 24:459-463, 1994.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLÓDI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 19:121-126, 1995.

- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos submetidos a diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:99-105, 1990.
- CARTER, M.R.; ANGERS, D.A. & TOPP, G.C. Characterizing equilibrium physical condition near the surface of a fine sandy loam under conservation tillage in a humid climate. *Soil Sci.*, 164:101-110, 1999.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotação de culturas e métodos de preparo das amostras. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:527-538, 1998.
- CLARK, J.T.; RUSSELL, J.R.; KARLEN, D.L.; SINGLETON, P.L.; BUSBY W.D. & PETERSON, B.C. Soil surface property and soybean yield response to corn stover grazing. *Agron. J.*, 96:1364-1371, 2004.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – CFSRS/SC. Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Embrapa, 1995. 224p.
- CORSINI, P.C. & FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34:289-298, 1999.
- COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. & WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:527-535, 2003.
- DANIEL, J.A.; POTTER, K.; ALTOM, W.; ALJOE, H. & STEVENS, R. Long-term grazing density impacts on soil compaction. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 45:1911-1915, 2002.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (SSSA Special Publication, 35)
- ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G. & JASPER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno Álico. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:259-267, 1989.
- EMPRESA ARASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, P.C.F.; LEITE, J.G.B. & FRAGA, T.I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:771-780, 2007.
- GREENWOOD, K.L. & MCKENZIE, B.M. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: A review. *Austr. J. Exper. Agric.*, 41:1231-1250, 2001.
- HILLEL, D. *Environmental soil physics*. San Diego, Academic Press, 1998. 771p.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARCK, F.E., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.
- KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.635-662.
- MACHADO, J.A. & BRUM, A.C.R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 2:81-84, 1978.
- PALADINI, F.L.S. & MIELNICZUK, J. Distribuição do tamanho dos agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:135-140, 1991.
- PIETOLA, L.; HORN, R. & YLI HALLA, M. Effects of trampling by cattle on the hydraulic and mechanical properties of soil. *Soil Till. Res.*, 82:99-108, 2005.
- PROFFIT, A.P.B.; BENDOTTI, S. HOWELL, M.R. & ESATHAM, J. The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a red-brown earth. *Austr. J. Soil Res.*, 44:317-331, 1993.
- PROFFITT, A.P.B.; BENDOTTI, S. & McGARRY, D. A comparison between continuous and controlled grazing on a red duplex soil. I. Effects on soil physical characteristics. *Soil Till. Res.* 35:199-210, 1995.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ci. Amb.*, 2:29-48, 2003.
- REZAEI, S.A.; GILKES, R.J. & ANDREWS, S.S. A minimum data set for assessing soil quality in rangelands. *Geoderma*, 136:229-234, 2006.
- SECCO, D.; ROS, C.O.; FIORIN, J.E.; PAUTZ, C.V. & PASA, L. Efeito de sistemas de manejo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro. *Ci. Rural*, 27:57-60, 1997.
- SECCO, D.; ROS, C.O.; KOEFENDER, J. & FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:407-414, 2005.
- SHARROW, S.H. Soil compaction by grazing livestock in silvopastures as evidenced by changes in soil physical properties. *Agrofor. Syst.*, 71:215-223, 2007.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:191-199, 2000.
- SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. & TOMM, G.O. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. *Ci. Rural*, 36:1193-1200, 2006.
- STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. *Principles and procedures of statistics: A biometrical approach*. 2.ed. New York, McGraw-Hill Book Company, 1980. 633p.

- TANNER, C.B. & MARMARIL, C.P. Pasture soil compaction by animal traffic. *Agron. J.*, 51:329-331, 1959.
- TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S. & GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Sci. Agric.*, 59:795-801, 2002.
- TREIN, C.R.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo, na rotação aveia+trevo/milho, após pastejo intensivo. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:105-111, 1991.
- XU, X.; NIEBER, J.L. & GUPTA, S.C. Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:1743-1750, 1992.