

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line) 1981-0997

v.7, n.3, p.388-393, jul.-set., 2012

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

DOI:10.5039/agraria.v7i3a1227

Protocolo 1227 - 22/11/2010 • Aprovado em 22/12/2011

Silvio T. Spera¹

Henrique P. dos Santos^{2,5}

Renato S. Fontaneli³

Geizon Dreon⁴

1 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Embrapa Agrossilvipastoril, Rua dos Jacarandás, 2.639, Centro, CEP 78550-003, Sinop-MT, Brasil. Fone: (66) 3532-7625, Ramal 204. Fax: (66) 3531-9488.

E-mail: silvio.spera@embrapa.br

2 Embrapa Trigo, Rodovia BR 285, km 298, CEP 99001-970, Passo Fundo-RS, Brasil, Caixa Postal 451. Fone: (54) 3316-5800, Ramal 5823. Fax: (54) 3316-5801.

E-mail: henrique.santos@embrapa.br

3 Universidade de Passo Fundo (UPF), Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAMV), Rod. BR 285, KM S/N. CEP 99001-970, Passo Fundo-RS, Brasil. Caixa Postal: 566. Fone (54) 3316-8167. Fax: (54) 3316-8152.

E-mail: Renato.fontaneli@cnpq.embrapa.br

4 Bolsista de Iniciação Científica do CNPq

5 Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq

Efeito de sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto em alguns atributos físicos do solo

RESUMO

O uso do solo com sistemas de integração de lavoura com pecuária (ILP) pode favorecer a compactação da camada superficial, restringir o crescimento de raízes e o rendimento das culturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos físicos do solo sob um Latossolo Vermelho distrófico típico, em cinco sistemas de produção ILP: sistema I - trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; sistema II - trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; sistema III - pastagens perenes de estação fria (festuca + trevo branco + trevo vermelho + cornichão); sistema IV - pastagens perenes de estação quente (pensacola + aveia preta + azevém + trevo branco + trevo vermelho + cornichão) e sistema V - alfafa para feno. As áreas sob os sistemas III, IV e V retornaram ao sistema I a partir do verão de 1996 porém no verão de 2002, nos sistemas III, IV e V o que era lavoura retornou a pastagem e vice-versa. A densidade do solo foi maior no ano de 2000 em relação a 2002 enquanto na porosidade total ocorreu o inverso. Em 2000 e em 2005 a microporosidade foi maior na camada mais profunda, embora, em 2002 tenha ocorrido o contrário, evidenciando algum processo de compactação, tal como carga animal inadequada. Não houve diferenças entre os atributos físicos dos sistemas de produção com e sem integração de lavoura e pecuária.

Palavras-chave: densidade, pastagem perene, porosidade

Effect of crop production systems and pastures under no-tillage on some physical attributes of soil

ABSTRACT

The integration between grain crops and cattle-raising in some areas restrict the use of no-tillage system in clayey soils, due to soil surface compaction, which restricts root growth and limits grain yield. The objective of this study was to evaluate physical attributes of soil in a typical dystrophic Red Latosol (typic Haplorthox), in crop-livestock production systems. Five production systems were evaluated: system I - wheat/soybean, white oat/soybean, and common vetch/corn; system II - wheat/soybean, white oat/soybean, and grazed black oat + grazed common vetch/corn; system III - perennial cool season pastures (tall fescue + white clover + red clover + birdsfoot trefoil); system IV - perennial warm season pastures (bahia grass + black oat + ryegrass + white clover + red clover + birdsfoot trefoil); and system V - alfalfa as hay crop. The areas under systems III, IV, and V returned to system I after the summer of 1996. But, in the summer of 2002, in the systems III, IV and V of what was crop returned to pasture and what of was pasture returned to crops. Soil bulk density values were higher in 2000 than 2002, while the inverse was observed for the total porosity. In 2000 and 2005, the higher values of microporosity occurred in the deeper layer, however, in 2002, this was the inverse, spotlighting some compaction process, such as inadequate animal load. No differences were observed between physical attributes of the integrated and non-integrated crop and livestock systems.

Key words: density, perennial pasture, porosity

INTRODUÇÃO

No Sul do Brasil as áreas sob sistemas de produção com integração lavoura e pecuária destinadas ao pastejo, se restringem geralmente ao período de inverno-primavera, época que coincide com elevada precipitação pluvial e umidade no solo, o que pode favorecer o processo de compactação (Albuquerque et al., 2001). A compactação do solo é um processo de degradação do solo resultante do aumento da densidade, sendo acompanhada de aumento da resistência à penetração, da macroporosidade, da permeabilidade e da infiltração de água. Este processo é resultante de cargas (peso de máquinas, equipamentos, pisoteio do gado e impacto de gotas de chuva) aplicadas na superfície do solo (Silva et al., 2000; Secco, 2003; Spera et al., 2006).

Comumente, a compactação é causada pelo tráfego de máquinas por ocasião da semeadura, dos tratos culturais, da colheita e do transporte (Oliveira et al., 2000) e pelo pisoteio de animais em áreas sob pastejo com superlotação (Albuquerque et al., 2001; Miguel et al., 2009; Marchão et al., 2009). Segundo esses autores, a superlotação de animais, especialmente em solos argilosos quando úmidos, causa compactação com severa redução da macroporosidade, aumento da densidade do solo e reduzindo a infiltração de água. Da mesma forma, a mobilização de solo, com intuito de condicioná-lo ao estabelecimento de culturas para a produção de grãos ou integração lavoura-pecuária, desencadeia reações integradas e em série nos processos biológicos, químicos e físicos (Santos et al., 2001; Albuquerque et al., 2001; Spera et al., 2006), as quais, por sua vez, promovem alterações na estrutura da camada cultivável, tais como: aumento na resistência à penetração e na densidade do solo, além de redução da macroporosidade, diminuição na taxa de infiltração e alterações morfológicas em raízes de plantas cultivadas.

O uso de sistemas de manejo com menor revolvimento do solo possível e que proporcione acúmulo de resíduos vegetais na superfície, em áreas anteriormente degradadas pelo preparo inadequado do solo, está possibilitando a recuperação das propriedades físicas (Marcolan & Anghinoni, 2006). Estudos nos quais foi avaliado o sistema plantio direto, têm demonstrado diminuição da erosão, aumento da taxa de infiltração de água no diâmetro dos agregados, na atividade microbiana e na produtividade das culturas (Costa et al., 2003).

Pela introdução de espécies com sistema radicular agressivo e pelo acúmulo de resíduos orgânicos de distintas naturezas e quantidades, a rotação de culturas pode alterar as propriedades físicas do solo. Albuquerque et al. (2001) verificaram que a densidade do solo na camada de 0 a 8,5 cm foi maior e a porosidade total foi menor na sequência soja/trigo, que nas rotações que incluíam aveia preta, ervilhaca e milho, independente do tipo de manejo do solo adotado devido, sem dúvida, à presença de aveia preta que, com sistema radicular agressivo, contribuiu para reestruturação do solo. No estudo de Stone & Silveira (2001) as rotações de culturas que incluíam soja e trigo resultaram em maior compactação na camada superficial enquanto a rotação arroz consorciado com calopogônio/feijão propiciou maior valor em macroporosidade e menor de microporosidade do solo.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito sobre alguns atributos físicos do solo, de sistemas de produção com integração lavoura e pecuária, manejados com sistema plantio direto após doze anos de cultivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em um experimento conduzido na Embrapa Trigo, em Passo Fundo, RS (coordenadas 28° 15' S, 52° 24' W e 687 m de altitude) durante o período de 1993 a 2005, em um Latossolo Vermelho Distrófico típico (Streck et al., 2008) de textura muito argilosa com relevo suave ondulado a ondulado. Os teores médios de argila, silte e areia na camada de 0-20 cm, são: 72, 13 e 15%, respectivamente. O clima da região é do tipo Cfa, cuja temperatura média anual é 17,5 °C e precipitação anual na faixa de 1.750 mm, sem estação seca e bem distribuídos durante o ano (Nimer, 1990).

Os tratamentos consistiram, originalmente, em quatro sistemas de produção integração lavoura-pecuária (SPILP): I - trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; sistema II - trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; sistema III - pastagens perenes de estação fria (festuca + trevo branco + cornichão); sistema IV - pastagens perenes de estação quente (pensacola + aveia preta + azevém + trevo vermelho + cornichão) e sistema V - alfafa para feno acrescentado como tratamento adicional, com repetições em parcelas contíguas ao experimento, estabelecido em 1994. As áreas sob os sistemas III, IV e V se converteram em sistema I a partir do verão de 1996 porém, no verão de 2002, nos sistemas III, IV e V, o que era lavoura retornou a pastagem e vice-versa.

A adubação de manutenção foi baseada nos valores observados nas análises químicas conforme recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo - NRS/SBCS (2004). Como testemunha, um fragmento de floresta subtropical com araucárias, adjacente ao experimento, acompanhando perpendicularmente todos os blocos, também foi amostrado com o mesmo número de repetições, sendo admitido apenas como referencial do estado estrutural do solo antes do mesmo ser submetido às alterações antrópicas. Todas as espécies, tanto de inverno como de verão, foram estabelecidas exclusivamente sob plantio direto, exceto no tratamento V, que foi manejado por meio de preparo convencional do solo por aração e duas gradagens, em 1999. As pastagens anuais de inverno e perenes foram pastejadas por bovinos mestiços de raças europeias, três vezes por safra, com carga animal equivalente a 15 a 20 UA ha⁻¹ por 12 h cada pastejo.

Três anos antes da instalação do experimento foi efetuada uma calagem com calcário dolomítico, com base no método SMP (pH 6,0). As parcelas semeadas com alfafa foram corrigidas com 6,0 t ha⁻¹ de calcário (PRNT 100 %) para elevar o pH para 6,5, aplicadas em duas vezes: metade antes da aração e metade antecedendo a gradagem.

Em razão da disponibilidade de anéis foram coletadas, a partir de 2000, amostras indeformadas de solo, em duplicata, com anéis de 2 cm de altura nas camadas de 0-2 cm e de 5 cm de altura, nas camadas de 10-15 cm. A amostragem foi efetuada uma semana após chuva de 30-40 mm, em condições adequadas para coleta, e destinada às análises físicas de solo.

Na análise de densidade do solo foi usado o método do anel volumétrico. Obteve-se a porosidade total pela percentagem de saturação em volume. A microporosidade foi considerada como o conteúdo do volume de água equilibrada na mesa de tensão a 0,60 m de coluna de água enquanto a macroporosidade foi calculada por diferença de volume entre a porosidade total e a microporosidade, conforme Embrapa (1997).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. A área de cada parcela foi de 20 m de comprimento por 20 m de largura (400 m²). Os SPILP foram comparados dentro de cada ano e análise conjunta dos anos, para cada atributo físico do solo, nas mesmas camadas amostradas (SAS, 2003). As camadas de solo foram comparadas em um mesmo SPILP. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade do solo

Em todos os sistemas estudados houve diminuição da compactação do solo. Segundo Costa et al. (2003) com o passar dos anos a densidade do solo sob sistema plantio direto pode diminuir parcialmente em consequência do aumento no nível de matéria orgânica na camada superficial, melhorando a estrutura do solo, o que pode variar com o tipo e a camada do solo e também com o sistema de rotação de culturas utilizado. De acordo com Marcolan & Anghinoni (2006) o uso do solo no sistema plantio direto no período de quatro anos após o revolvimento foi suficiente para o retorno dos atributos físicos do solo à condição original, uma vez que eles não se diferenciaram dos sistemas plantio de oito e 12 anos.

Em 2000, os SPILPs mostraram, nas camadas de 0-2 e 10-15 cm, maior densidade do solo em comparação com a floresta. Ressalta-se que o sistema I foi destinado exclusivamente à produção de grãos, desde 1993. Em 2002 o sistema I mostrou, na camada de 0-2 cm, maior densidade de solo que os sistemas III, IV e V. A densidade de solo foi, na camada de 10-15 cm, maior no sistema II do que nos sistemas III, V e floresta. Em 2005 não se constatou diferença de densidade do solo entre os SPILPs.

De acordo com Goedert et al. (2002) a mobilização do solo aumenta com o volume de poros logo após a operação de aração ou gradagem, principalmente dos macroporos, e, conseqüente reduz, a densidade. Esses autores observaram menor densidade de solo sob preparo convencional do solo com aração e gradagem, em relação ao sistema plantio direto, sobretudo após a consolidação do sistema. Assim, a menor densidade do solo, sobremaneira na camada de 10-15 cm, no sistema V, em 2000 e 2002, pode ser atribuída ao revolvimento de solo efetuado em setembro de 1999. Nos trabalhos de Albuquerque et al. (2001) em Nitossolo Vermelho com sistema plantio direto e preparo convencional com arado de discos, Stone & Silveira (2001) concluem, estudando esses mesmos tipos de manejo de solo e as rotações de culturas envolvendo arroz, feijão, milho, soja, trigo e arroz consorciado com calopogônio, em Latossolo Vermelho Distrófico perférrico, que o manejo exerceu influência no estado de compactação do solo. Por outro lado, no solo não perturbado da floresta subtropical foi observou-se

nas camadas de 0-2 e de 10-15 cm, menor densidade do solo em relação a todos os SPILPs (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios de densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade nas camadas de 0-2 cm e 10-15 cm, determinadas após as culturas de verão de 2000, 2002 e 2005, em cinco sistemas de produção

Table 1. Mean values of soil bulk density, total porosity, microporosity, macroporosity in the layers of 0-2 cm and 10-15 cm, after summer crop season of 2000, 2002 and 2005, in five production systems

Sistema de produção	Camada (cm)					
	0-2		10-15			
	2000	2002	2005	2000	2002	2005
Densidade do solo (Mg m ⁻³)						
Sistema I	1,35 abA	1,31 aA	1,13 ab	1,50 aA	1,41 abB	1,46 aA
Sistema II	1,38 aA	1,25 abB	1,16 ab	1,52 aA	1,45 aB	1,46 aAB
Sistema III	1,29 abA	1,12 cB	1,07 ab	1,47 aA	1,37 bB	1,42 aAB
Sistema IV	1,30 abA	1,08 cB	1,09 ab	1,49 aA	1,40 abB	1,40 aB
Sistema V	1,22 bA	1,17 bcAB	1,08 ab	1,38 bA	1,28 cB	1,40 aA
Floresta	1,05 cA	0,92 dB	0,85 bB	1,17 cA	1,18 dA	1,17 bA
Porosidade total (m ³ m ⁻³)						
Sistema I	0,492 bcB	0,524 cB	0,575 bA	0,434 cA	0,440 bA	0,435 cA
Sistema II	0,476 cB	0,540 bcA	0,555 bA	0,423 cAB	0,410 cB	0,430 cA
Sistema III	0,510 bcB	0,582 aA	0,585 bA	0,447 bcA	0,442 bA	0,455 bcA
Sistema IV	0,507 bcB	0,576 abA	0,573 bA	0,434 cAB	0,430 bcB	0,452 bcA
Sistema V	0,536 bA	0,578 aA	0,574 bA	0,478 bA	0,483 aA	0,473 abA
Floresta	0,594 aB	0,589 aB	0,649 aA	0,548 aA	0,471 aC	0,485 aB
Microporosidade (m ³ m ⁻³)						
Sistema I	0,363 bcB	0,429 abA	0,358 ab	0,367 bA	0,375 bcA	0,351 bB
Sistema II	0,361 bcB	0,405 bcA	0,375 ab	0,370 bA	0,356 cB	0,349 bB
Sistema III	0,368 bcB	0,414 abcA	0,364 ab	0,384 abA	0,370 bcB	0,361 bB
Sistema IV	0,355 cB	0,388 cA	0,358 ab	0,367 bA	0,355 cAB	0,352 bA
Sistema V	0,388 bB	0,445 aA	0,360 aC	0,417 aA	0,413 aA	0,398 aA
Floresta	0,420 aA	0,392 cB	0,373 ab	0,399 abA	0,399 abA	0,370 bB
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)						
Sistema I	0,130 ab	0,095 cB	0,217 abA	0,064 bA	0,065 abA	0,084 aA
Sistema II	0,114 ab	0,135 bcAB	0,180 bA	0,053 bB	0,055 bB	0,081 aA
Sistema III	0,144 ab	0,168 abB	0,222 abA	0,063 bB	0,078 aAB	0,094 aA
Sistema IV	0,153 ab	0,188 aAB	0,214 abA	0,070 bB	0,068 abB	0,101 aA
Sistema V	0,149 ab	0,134 bcB	0,215 abA	0,061 bA	0,070 aA	0,075 aA
Floresta	0,174 ab	0,197 aB	0,277 aA	0,149 aA	0,071 aC	0,114 aB

1998 - I: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; II: trigo/soja, aveia branca/soja pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; III: pastagem perene de inverno e IV: pastagem perene de verão. 2000 e 2002 - I: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; II: trigo/soja, aveia branca/soja pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após pastagem perene de inverno; IV: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após pastagem perene de verão e V: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após alfafa. Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não mostram diferenças entre os sistemas em cada ano e letras maiúscula na linha iguais não mostram diferenças entre os anos em cada sistema, pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade de erro

A densidade de solo é um atributo ainda considerado na avaliação do estado estrutural do solo e a compactação de solo nos sistemas de manejo constatada foi importante, ainda que, na camada de 0-2 cm, os valores se mantivessem abaixo de um valor considerado limitante para os latossolos argilosos de Passo Fundo valor que, de acordo com Klein & Camara (2007), é ao redor de 1,40 Mg m⁻³. Esta é a condição na qual os solos da região mostram intervalo hídrico ótimo fora da faixa crítica, isto é, a faixa de umidade e a aeração do solo não limitantes para resistência à penetração entre 2 e 3 MPa, como restritivo ao desenvolvimento do sistema radicular, corroborando com os resultados de Secco (2003) que, estudando o efeito de estados de compactação em um Latossolo Vermelho distrófico e num Latossolo Vermelho distrófico, ambos manejados com sistema plantio direto, verificou que o estado de compactação

mais intenso, com valores de 1,62 e 1,54 Mg m⁻³, proporcionou decréscimos no rendimento de grãos de trigo.

Avaliando apenas tratamentos envolvendo sistemas de produção integrados com pastagens, Albuquerque et al. (2001) observaram, em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico argiloso, do Rio Grande do Sul, que a rotação trigo/soja propiciou, na camada de 1,0-8,6 cm, maior densidade do solo (1,21 Mg m⁻³) que as rotações: trigo/soja, aveia preta + ervilhaca/milho (1,14 Mg m⁻³) e aveia preta/soja; aveia preta/soja, aveia preta/soja e trigo/soja (1,14 Mg m⁻³).

Ao se comparar os anos em cada camada, observou-se diferença nas densidades de solo de todos os SPILP (Tabela 1). A densidade do solo diminuiu entre os anos de 2000 e 2005, na camada 0-5 cm.

De acordo com Bertol et al. (2000) no preparo convencional de solo a compactação é mais perceptível a partir dos 10 cm de profundidade, em contraste com a compactação relativamente uniforme em toda a camada cultivável do plantio direto. Este efeito no sistema plantio direto pode ser atribuído ao tráfego de máquinas (Marchão et al., 2009) e ao pisoteio por animais (Albuquerque et al., 2001).

Ao contrário do que se poderia esperar, o pisoteio de animais nas parcelas com pastagens anuais de inverno e perenes, na lotação e frequência adotada, mesmo que em condições de solo úmido e de biomassa das pastagens serem similares, não provocou, principalmente nas camadas superficiais, maior densidade do solo do que o sistema I destinado somente à produção de grãos. De acordo com Albuquerque et al. (2001) nos sistemas de integração lavoura-pecuária a presença de raízes de gramíneas forrageiras melhora a estrutura do solo, amenizando o impacto do pisoteio. A maior densidade do solo na camada superficial pôde ser atribuída ao efeito do pisoteio animal, em combinação com o trânsito de máquinas, que é intenso nesta rotação, conforme sugerem Marchão et al. (2009).

Porosidade total do solo

Na camada 0-2 cm dos sistemas II, III e IV (Tabela 1) os valores de porosidade total foram, em 2002 e 2005, maiores que em 2000, ano em que os valores de porosidade total do solo no sistema V na camada de 0-5 cm, foram maiores que no sistema II. Porém, na camada de 10-15 cm, o sistema V mostrou maior valor que os demais SPILP. Nas duas camadas estudadas à porosidade total do solo da floresta em 2000, foi maior que a dos sistemas I, II e IV, permitindo supor que referidos solos eram bem estruturados naturalmente. Em 2002 os sistemas I e II mostraram, na camada superficial, menor porosidade total que a dos sistemas III e V enquanto os sistemas I, II, III e IV mostraram, na camada de 10-15 cm, menor porosidade total que o sistema V. Em 2005 constatou-se diferença somente na camada de 10-15 cm, na qual a maioria dos SPILPs mostrou menor porosidade total em comparação com o sistema V. Albuquerque et al. (2001) também encontraram maior porosidade total no solo sob floresta, em relação aos sistemas antrópicos.

Albuquerque et al. (2001) observaram, estudando sistemas de rotação de culturas, que a rotação trigo/soja mostrou menor porosidade total na camada de 1,0-8,6 cm que as rotações: trigo/soja, aveia preta/soja e aveia preta mais ervilhaca/

milho e aveia preta/soja, aveia preta/soja e trigo/soja. Stone & Silveira (2001) encontraram, estudando sistemas de produção, diferenças na camada de 0 a 10 cm de porosidade total e atribuíram os menores valores ao efeito de gramíneas forrageiras e à intensidade variável de trânsito de máquinas.

De acordo com Bertol et al. (2004) o volume de poros é influenciado pelo manejo do solo em função das alterações na densidade do solo. Costa et al. (2003) não encontraram, na camada de 0-20 cm, diferenças entre os tratamentos com preparo convencional de solo nem sob sistema plantio direto.

A comparação entre os anos de 2005 e 2002 com 2000 em cada camada, resulta em uma porosidade total maior na camada superficial, em todos os SPILP, com exceção do sistema I. A porosidade total foi menor na camada de 10-15 cm, indicando compactação nesta camada. Resultados comparáveis foram observados por Albuquerque et al. (2001) estudando um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso.

Os maiores volumes de porosidade total na camada superficial refletem menor densidade do solo e podem ser atribuídos ao efeito reestruturador promovido pelo acúmulo de matéria orgânica no manejo do solo sem revolvimento (Lanzanova et al., 2007). A maior densidade do solo e a menor porosidade total nas camadas abaixo de 6,7 cm são explicadas pelas modificações resultantes do pisoteio animal e do trânsito de máquinas e equipamentos (Spera et al., 2009).

Microporosidade

Os volumes de microporos na camada de 0-2 cm (Tabela 1) dos sistemas I, II, III, IV e V, em 2002, foram maiores que os de 2000. Na avaliação de 2000, foram encontrados os menores valores de microporos na maioria dos sistemas estudados, fato que pode ser atribuído ao maior enraizamento, o qual, por sua vez, pode ter transformado microporos em macroporos. Em 2002 o sistema V mostrou, na camada superficial, maior microporosidade que os sistemas II e IV, enquanto os sistemas I, II, III e IV mostraram, na camada de 10-15 cm, menor valor que o sistema V. Em 2005 não houve diferença na camada superficial entre a microporosidade dos SPILPs; isto pode ser explicado pela pouca influência dos efeitos da ferramenta de preparo na camada superficial e pelo efeito do mecanismo de abertura de sulcos da semeadora usada em todos os tratamentos, que era um modelo para SPD, conforme sugerido por Camara & Klein (2005).

Em 2000 e em 2002 a maior microporosidade encontrada no sistema V pode ter sido resultado das alterações estruturais promovidas pelo revolvimento de solo, em 1999. Stone & Silveira (2001) obtiveram, estudando sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas em Latossolo Vermelho Distrófico perférico, durante cinco anos, maior valor de microporosidade no sistema plantio direto, em comparação com o preparo convencional de solo. Enfim e de acordo com Marchão et al. (2009) o pisoteio do gado pode compactar a camada superficial aumentando a densidade do solo e a microporosidade, em detrimento da macroporosidade.

Andreola et al. (2000) e Costa et al. (2003) apesar de terem avaliado sistemas de manejo de solo que incluíam rotação de culturas, não encontraram diferenças de microporosidade entre os tratamentos.

Macroporosidade

Em 2005 os valores de macroporosidade foram, em ambas as camadas estudadas e sistemas (Tabela 1), maiores que os de 2000, com exceção do sistema V na camada de 10-15 cm. O aumento dos macroporos torna esses sistemas mais importantes do ponto de vista de manejo e conservação de solo. Resultados semelhantes foram constatados por Andreola et al. (2000), em ensaio com coberturas de solo aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e dois tipos de adubação (orgânica e mineral). De acordo com esses autores, o aumento do volume de macroporos melhorou a aeração e a infiltração de água no solo.

Em 2000 não houve diferença na camada de 0-5 cm entre os SPILPs e com floresta. O solo com condição original de estruturação (floresta subtropical) indicou, na camada de 10-15 cm, maior macroporosidade, em comparação com os sistemas sob ação antrópica. Na camada superficial os sistemas III e IV mostraram, em 2002, maior macroporosidade em comparação ao I, enquanto na camada de 10-15 cm os sistemas III e V, em relação ao sistema II, indicando que a macroporosidade está sujeita às mudanças impostas pelo manejo de solo já que o solo foi revolvido no sistema V, em 1999. Este fato também foi constatado por Albuquerque et al. (2001). Stone & Silveira (2001) que, avaliando durante cinco anos sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, em Latossolo Vermelho distrófico perférico, verificaram que o consórcio de arroz com calopogônio e a rotação milho/feijão/arroz/feijão mostraram, na camada de 0-10 cm, macroporosidade mais elevada. Esses autores relataram também que os sistemas que incluíam soja e trigo, sinalizaram os menores volumes de macroporos, na camada de 20-30 cm.

Efeitos do manejo nos atributos físicos do solo

Os atributos físicos de solo avaliados são interdependentes; portanto, os efeitos do manejo de solo sobre qualquer um deles produzirão alterações nos outros. Observa-se, nos SPILPs, maiores valores de densidade do solo e menores de porosidade total, em ambas as camadas estudadas, em comparação com os valores da floresta e da cultura de alfafa para feno (Tabela 1). A área em que se instalou o experimento foi submetida, durante longo período, ao preparo convencional com aração e gradagens, evento passível de explicar a diferença entre os valores de cada atributo físico verificada em todos os tratamentos, entre as camadas superficiais e 10-15 cm, indicando presença de efeito residual tipo pé-de-arado ou pé-de-grade. Normalmente, no Rio Grande do Sul a profundidade de mobilização do solo pelo preparo convencional raramente se aprofundava abaixo de 10 cm (Denardin & Kochhann, 1993). A menor densidade do solo no sistema V em 2000 e em 2002, pode ser atribuída ao revolvimento profundo (0-25 cm) das parcelas com arado de discos, efetuado em setembro de 1999.

O pisoteio nos tratamentos submetidos às pastagens anuais de inverno parece não ter afetado os atributos físicos de solo, após seis anos de cultivo. No presente estudo e, a cada ano, o pastejo ocorreu duas ou três vezes no inverno, e três ou quatro vezes no verão, com duração de no máximo dois dias cada pastejo e com dez a quinze animais por ha. Depois da retirada

dos animais da área era mantido um intervalo de 40-60 dias de descanso, de modo a permitir rebrota das forrageiras de inverno antes se estabelecer as culturas de verão. Oliveira et al. (2000) e Macedo (2001) apontaram que, em SPILP, o rendimento de culturas anuais após a pastagem tende a ser maior que na ausência de rotação com pastagem.

CONCLUSÕES

Na maioria dos SPILPs a densidade do solo foi maior do ano de 2000 em relação a 2005, principalmente na camada superficial. Com a porosidade total e a macroporosidade ocorreu o inverso.

Em todos os SPILPs a microporosidade da camada superficial foi maior em 2002 que em 2005, na camada de 0-2 cm.

Nas condições estudadas não há evidências de que o pisoteio tenha afetado negativamente os atributos físicos, exceto por um ligeiro aumento na densidade do solo na camada superficial no sistema lavoura-pecuária com pastagem anual de inverno em relação às áreas utilizadas com pastagens perenes sucedidas por sistemas agrícolas.

LITERATURA CITADA

- Albuquerque, J.A.; Sangoi, L.; Ender, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.3, p.717-723, 2001. <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v25n3a21.pdf>>. 10 Out. 2010.
- Andreola, F.; Costa, L.M.; Olszewski, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n.4, p.857-865, 2000. <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v24n4a17.pdf>>. 07 Out. 2010.
- Bertol, I.; Albuquerque, J.A.; Leite, D.; Amaral, A.J.; Zoldan Junior, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.1, p.155-163, 2004. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n1/a15v28n1.pdf>>. 10 Nov. 2010. doi.org/10.1590/S0100-06832004000100015.
- Bertol, I.; Schick, J.; Massariol, J.M.; Reis, E.F.; Dilly, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetado pelo tipo de manejo do solo. *Ciência Rural*, v.30, n.1, p.91-95, 2000. <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v30n1/a15v30n1.pdf>>. 17 Out. 2010. doi:10.1590/S0103-84782000000100015.
- Camara, R.K.; Klein, V.A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. *Ciência Rural*, v.35, n.4, p.813-819, 2005. <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v35n4/a10v35n4.pdf>>. 12 Out. 2010. doi:10.1590/S0103-84782005000400010.
- Comissão de Fertilidade do Solo - NRS/SBCS. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 10.ed. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400p.

- Costa, F.S.; Albuquerque, J.A.; Bayer, C.; Foutoura, S.M.V.; Wobeto, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.3, p.527-535, 2003. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n3/16670.pdf>>. 22 Out. 2010. doi:10.1590/S0100-06832003000300014.
- Denardin, J.E.; Kochhann, R.A. Requisitos para a implantação e a manutenção do sistema plantio direto. In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. *Plantio direto no Brasil. Passo Fundo, Aldeia Norte*, 1993. p.19-28.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Brasília, 1997. 212p. (Embrapa CNPS. Documentos, 1).
- Goedert, W.J.; Schermack, M.J.; Freitas, F.C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.2, p.223-227, 2002. <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v37n2/9058.pdf>>. 12 Set. 2010. doi:10.1590/S0100-204X2002000200015.
- Klein, V.A.; Camara, R.K. Rendimento de soja e intervalo hídrico ótimo em latossolo vermelho sob plantio direto escarificado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.2, p.221-227, 2007. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n2/a04v31n2.pdf>>. 17 Nov. 2010. doi:10.1590/S0100-06832007000200004.
- Lanzanova, M.E.; Nicoloso, R.S.; Lovato, T.; Eltz, F.L.F.; Amado, T.J.C.; Reinert, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n. 5, p.1.131-1.140, 2007. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n5/a28v31n5.pdf>>. 05 Nov. 2010. doi:10.1590/S0100-06832007000500028.
- Macedo, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: alternativa para sustentabilidade da produção animal. In: Simpósio sobre Manejo da Pastagem, 18., Piracicaba, 2001. Anais... Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2001. p.257-283.
- Marchão, R.L.; Vilela, L.; Paludo, A.L.; Guimarães Jr., R. Impacto do pisoteio animal na compactação do solo sob integração lavoura-pecuária no oeste baiano. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 2009. 6p. (Embrapa Cerrados. Comunicado Técnico, 163).
- Marcolan, A.L.; Anghinoni, I. Atributos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.1, p.163-170, 2006. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v30n1/a16v30n1.pdf>>. 22 Out. 2010. doi:10.1590/S0100-06832006000100016.
- Miguel, F.R.M.; Vieira, S.R.; Grego, C.R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.11, p.1.513-1.519, 2009. <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n11/20.pdf>>. 25 Out. 2010. doi:10.1590/S0100-204X2009001100020.
- Nimer, E. Clima. In: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. *Geografia do Brasil: Região Sul*. Rio de Janeiro: 1990. p.151-187.
- Oliveira, E.; Medeiros, G.B.; Marun, F.; Oliveira, J.C.; Sá, J.P.G.; Colozzi Filho, A.; Kranz, W.M; Silva Júnior, N.F.; Abrahão, J.J.S.; Guerini, V.L.; Martin, G.L. Recuperação de pastagens no noroeste do Paraná: bases para o plantio direto e integração lavoura e pecuária. 1a.versão. Londrina, IAPAR, 2000. 96p. (IAPAR. Informe de Pesquisa, 134).
- Santos, H.P. dos; Fontaneli, R.S.; Tomm, G.O. Efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens sob plantio direto sobre o nível de fertilidade do solo após cinco anos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.3, p.645-653, 2001. <<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=180218337014>>. 15 Out. 2010.
- SAS Institute - SAS. SAS system for Microsoft Windows version 8.2. Cary: Statistical Analysis Systems, 2003.
- Secco, D. Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas. UFSM, Santa Maria, 2003. 108p. Tese Doutorado.
- 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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n.1, p.191-199, 2000. <<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=180218272022>>. 22 Out. 2010.
- Spera, S.T.; Santos, H.P. dos; Fontaneli, R.S.; Tomm, G.O. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas do solo, sob plantio direto. *Ciência Rural*, v.36, n.4, p.1.193-1.200, 2006. <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v36n4/a23v36n4.pdf>>. 05 Nov. 2010. doi:10.1590/S0103-84782006000400023.
- Spera, S.T.; Santos, H.P. dos; Fontaneli, R.S.; Tomm, G.O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.1, p.129-136, 2009. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v33n1/14.pdf>>. 05 Nov. 2011. doi:10.1590/S0100-06832009000100014.
- Stone, L.F.; Silveira, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.2, p.395-401, 2001. <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v25n2a15.pdf>>. 11 Nov. 2010.
- Streck, E.V.; Kämpf, N.; Dalmolin, R.S.D.; Klamt, E.; Nascimento, P.C. do; Schneider, P.; Giasson, E.; Pinto, L.F.S. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222p.