

Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto

Silvio Tulio Spera, Henrique Pereira dos Santos*, Renato Serena Fontaneli e Gilberto Omar Tomm

Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, BR 285, km 294, Cx. Postal 451, 99001-970, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: hpsantos@cnpt.embrapa.br

RESUMO. Alguns atributos físicos do solo foram avaliados, após oito anos da instalação do experimento (1995 a 2003), num Latossolo Vermelho distrófico típico, em Coxilha, Estado do Rio Grande do Sul, em seis sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão: sistema I (trigo-soja / pastagem de aveia preta + ervilhaca-milho); sistema II (trigo-soja / pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém-milho); sistema III (trigo-soja / pastagem de aveia preta + ervilhaca-pastagem de milheto); sistema IV (trigo-soja / pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém-pastagem de milheto); sistema V (trigo-soja / aveia branca-soja / pastagem de aveia preta + ervilhaca-pastagem de milheto); e sistema VI (trigo-soja / aveia branca-soja / pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém-pastagem de milheto). A densidade de solo e resistência à penetração foram maior na camada 10-15 cm do que na camada 0-5 cm. Nos sistemas I, V e VI, houve diminuição da porosidade total e aumento da densidade e da resistência à penetração de solo, na camada 10-15 cm, em relação à camada 0-5 cm, devido maior intensidade das atividades agropastoris. Após oito anos, os sistemas de manejo com integração lavoura pecuária não provocaram degradação, em níveis limitantes, nas propriedades físicas do solo manejado sob sistema plantio direto.

Palavras-chaves: integração lavoura/pecuária, densidade de solo, porosidade.

ABSTRACT. Soil physical characteristics of an Oxisol as affected by production systems lay farming, under no-tillage. Soil physical characteristics were evaluated, after eight years (1995 to 2003), on a typic Hapludox located in Coxilha, Rio Grande do Sul State, Brazil. Six crop production systems were evaluated: system I (wheat-soybean / black oat + common vetch pasture-corn); system II (wheat-soybean / black oat + common vetch + annual ryegrass pasture-corn); system III (wheat-soybean / black oat + common vetch pasture-pearl millet pasture); system IV (wheat-soybean / black oat + common vetch + annual ryegrass pasture-pearl millet pasture); system V (wheat-soybean, white oat-soybean / black oat + common vetch pasture-pearl millet pasture); and system VI (wheat-soybean / white oat-soybean / black oat + common vetch + annual ryegrass pasture-pearl millet pasture). Soil bulk density and resistance to penetration increased from deeper layer (10-15 cm) to top layer (0-5 cm). In the systems I, V and VI, total porosity decreased and soil bulk density resistance to penetration increased from the deeper layers to top layer surface, due to higher intensity of livestock activities. After eight years of use, the production systems under no-till, involving annual winter and summer pastures and crops, did not promoted soil degradation, in constraining levels, on soil physical attributes.

Key words: lay farming, soil bulk density, soil porosity.

Introdução

A compactação do solo traz como consequência mudanças bruscas nas relações solo-ar-água, principalmente nos processos dinâmicos, tais como movimentação da água, ar e nutrientes: crescimento radical das plantas e na difusividade térmica ao longo do perfil (CANALLI; ROLOFF, 1997). As características físicas do solo são interdependentes; com isto, a modificação de uma delas normalmente leva à modificação de todas as demais e a compactação do

solo é um fenômeno complexo, de difícil descrição e mensuração, estando intimamente relacionada com as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo que são importantes no desenvolvimento das plantas (LOPES et al., 2007; KLEIN, 2008).

Por outro lado, na parte química do solo, a matéria orgânica do solo (MOS) desempenha outras funções vitais ao ciclo da vida que vão desde a atividade de microrganismos e da fauna do solo, que auxiliam na agregação do solo, favorecendo a maior

infiltração de água no perfil do solo e a redução da erosão e do escoamento superficial, até a ação positiva sobre a estabilidade dos agregados do solo, porosidade e densidade, contribuindo para diminuição da compactação do solo. Marchão et al. (2007) estudando vários sistemas de integração lavoura e pecuária no Cerrado, constaram nesses sistemas sob plantio direto, que não houve diferenças nos atributos físicos quando comparados com os convencionais de preparo de solo, não sendo observada deterioração da qualidade física do solo.

Após alguns anos de cultivo, é esperada uma redução na qualidade do solo, porém, García-Préchac et al. (2004) verificaram em sistemas com integração lavoura e pecuária sob semeadura direta, melhorias nas condições químicas e físicas do solo com o decorrer do tempo. E, as pastagens perenes, especialmente quando bem manejadas, têm a capacidade de manter ou até mesmo aumentar o nível de MOS (VOLPE et al., 2008), em contrastes com sistemas de produção de grãos com culturas anuais. Por outro lado, as espécies anuais cultivadas têm afetado as propriedades físicas do solo (ALBUQUERQUE et al., 1995; ANDREOLA et al., 2000; LOPES et al., 2007). Assim, nesse contexto, tem sido verificado que, espécies anuais em rotação de culturas, sob plantio direto com sistemas radiculares bem desenvolvidos e com considerável quantidade de fitomassa, tem influenciado as propriedades físicas do solo (DA ROS et al., 1997; ALBUQUERQUE et al., 2001; STONE; SILVEIRA, 2001). Nos trabalhos de Stone e Silveira (2001) e de Spera et al. (2004a), com sistemas de produção de grãos e integração lavoura-pecuária, sob plantio direto, foram observados maiores valores de densidade do solo e microporosidade e menores valores de porosidade total e de macroporosidade, na

camada superficial, após algum tempo de cultivo. Porém, de acordo com Secco et al. (2004), quando os valores de resistência à penetração foram de até 2,60 kgf cm⁻², os de densidade do solo de até 1,51 Mg m⁻³, e o volume de macroporos foram superiores a 0,10 m³ m⁻³ em condições de lavoura, não houve comprometimento do rendimento de grãos de soja.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão sobre algumas características físicas do solo.

Material e métodos

O experimento foi conduzido na Embrapa Trigo, município de Coxilha, Estado do Rio Grande do Sul, no período de 1995 a 2003, em Latossolo Vermelho distroférico típico.

Os tratamentos consistiram em seis sistemas de produção de grãos integrados com pastagens anuais de inverno e de verão (SPM): sistema I (trigo-soja / pastagem de aveia preta + ervilhaca-milho); sistema II (trigo-soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém-milho); sistema III (trigo-soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca-pastagem de milho); sistema IV (trigo-soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém-pastagem de milho); sistema V (trigo-soja, aveia branca-soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca-pastagem de milho); e sistema VI (trigo-soja, aveia branca-soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém-pastagem de milho), conforme indicado na Tabela 1. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. A área das parcelas foi de 200 m². As culturas, tanto de inverno como de verão, foram estabelecidas em plantio direto.

Tabela 1. Sistemas de produção envolvendo culturas produtoras de grãos e pastagens anuais de inverno e de verão, sob sistema plantio direto. Passo Fundo, Estado do Rio Grande do Sul.

| Sistema | Ano | | | | | | | | | | |
|---------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
| I | T/S Ap+E/M | Ap+E/M T/S | T/S Ap+E/M | Ap+E/M T/S | T/S Ap+E/M | Ap+E/M T/S | T/S Ap+E/M | Ap+E/M T/S | T/S Ap+E/M | Ap+E/M T/S | T/S Ap+E/M |
| II | T/S Ap+E+Az/M | Ap+E+Az/M T/S | T/S Ap+E+Az/M | Ap+E+Az/M T/S | T/S Ap+E+Az/M | Ap+E+Az/M T/S | T/S Ap+E+Az/M | Ap+E+Az/M T/S | T/S Ap+E+Az/M | Ap+E+Az/M T/S | T/S Ap+E+Az/M |
| III | T/S Ap+E/Mi | Ap+E/Mi T/S | T/S Ap+E/Mi | Ap+E/Mi T/S | T/S Ap+E/Mi | Ap+E/Mi T/S | T/S Ap+E/Mi | Ap+E/Mi T/S | T/S Ap+E/Mi | Ap+E/Mi T/S | T/S Ap+E/Mi |
| IV | T/S Ap+E+A/Mi | Ap+E+A/Mi T/S | T/S Ap+E+A/Mi | Ap+E+A/Mi T/S | T/S Ap+E+A/Mi | Ap+E+A/Mi T/S | T/S Ap+E+A/Mi | Ap+E+A/Mi T/S | T/S Ap+E+A/Mi | Ap+E+A/Mi T/S | T/S Ap+E+A/Mi |
| V | T/S Ab/S Ap+E/Mi | Ab/S Ap+E/Mi T/S | Ap+E/Mi T/S Ab/S | T/S Ab/S Ap+E/Mi | Ab/S Ap+E/Mi T/S | Ap+E/Mi T/S Ab/S | T/S Ab/S Ap+E/Mi | Ab/S Ap+E/Mi T/S | Ap+E/Mi T/S Ab/S | T/S Ab/S Ap+E/Mi | Ab/S Ap+E/Mi T/S |
| VI | T/S Ab/S Ap+E+A/Mi | Ab/S Ap+E+A/Mi T/S | Ap+E+A/Mi T/S Ab/S | T/S Ab/S Ap+E+A/Mi | Ab/S Ap+E+A/Mi T/S | Ap+E+A/Mi T/S Ab/S | T/S Ab/S Ap+E+A/Mi | Ab/S Ap+E+A/Mi T/S | Ap+E+A/Mi T/S Ab/S | T/S Ab/S Ap+E+A/Mi | Ab/S Ap+E+A/Mi T/S |

A: azevém; Ab: aveia branca; Ap: aveia preta; E: ervilhaca; M: milho; Mi: milho; S: soja; e T: trigo.

Quatro anos antes da instalação do experimento a acidez do solo foi corrigida com calcário dolomítico, com base no método SMP (pH 6,0). A adubação de manutenção foi realizada de acordo com a indicação para cada cultura (COMISSÃO..., 2004).

Em abril de 2003, foram coletadas três amostras indeformadas de solo por parcela, nas profundidades 0-5 e 10-15 cm, para análises físicas de solo. Amostras de solo foram também coletadas em um fragmento de floresta subtropical próxima do experimento, nas mesmas profundidades número de repetições, e os resultados usados para comparar o grau de alteração nos atributos físicos do solo após décadas de uso agrícola. Para determinar a densidade do solo e a porosidade total, foi usado o método do anel volumétrico. A microporosidade foi considerada como conteúdo volumétrico de água equilibrada na mesa de tensão a 60 cm de coluna de água, e a macroporosidade calculada por diferença entre a porosidade total e a microporosidade, conforme descrito em Embrapa (1997).

A resistência à penetração do solo foi avaliada por meio de penetrômetro Soiltest, com umidade do solo medida em laboratório, próximas ao conteúdo equivalente nestes solos a 10 kPa (0,34 a 0,37 m³ m⁻³). Foram tomadas medidas em quatro posições em cada parcela, com seis medidas por posição, nas camadas 0 – 5 cm e 10 – 15 cm, sendo considerada a média de cada parcela.

Os SPMs foram comparados entre si para cada atributo físico de solo, em cada profundidade de amostragem. As profundidades de amostragem de solo foram comparadas no mesmo sistema de produção. Os diversos sistemas de produção, integrando forrageiras anuais de inverno e forrageiras perenes com produção de grãos, foram comparados para cada atributo físico de solo estudado numa determinada profundidade de amostragem. As profundidades de amostragem de solo foram comparadas dentro de um mesmo sistema de produção. Todas as comparações foram realizadas por meio de contrastes de interesse não ortogonais de um conjunto de t-1 contrastes com um grau de liberdade, conforme Steel e Torrie (1980), para permitir que se enfatize o efeito ano (CADY, 1991). A significância dos contrastes foi dada pelo teste F, levando-se em conta o desdobramento dos graus de liberdade do erro, a partir de análise por meio de programa SAS Institute (2003).

Resultados e discussão

Nos sistemas de produção de grãos integrados com pastagens anuais de inverno e de verão (SPM), a densidade do solo, na camada 0-5 cm em 2003

(Tabela 2), apresentou valores menores, em relação ao observado, em 2001, que na ocasião foram os seguintes: sistema I - 1,27 Mg m⁻³; sistema II - 1,23 Mg m⁻³; sistema III - 1,27 Mg m⁻³; sistema IV - 1,27 Mg m⁻³; sistema V - 1,30 Mg m⁻³; e sistema VI - 1,28 Mg m⁻³ (SPERA et al., 2006). Como se trata de um experimento conduzido sob sistema plantio direto (PD), por oito anos, provavelmente, a densidade do solo deve ter diminuído, em razão do aumento do nível de matéria orgânica do solo (MOS) na camada superficial, conforme relato de Silva et al (2000). Nesta mesma ocasião, o nível de MOS, em todas as camadas e SPMs, em 2003, foi superior ao nível registrado em 2001, que eram para as camadas: 0-5 cm - 41 g dm⁻³; 5-10 cm - 36 g dm⁻³; 10-15 cm - 33 g dm⁻³; e 15-20 cm - 32 g dm⁻³. Na avaliação entre os SPMs, não houve diferença para o valor de densidade de solo, em ambas camadas estudadas (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de densidade do solo, avaliados antes das culturas de inverno de 2003, em duas camadas e para diferentes sistemas de produção.

| Sistema de produção | Profundidade (cm) | | |
|---------------------------|-----------------------------------------|-------|--------------------------------------|
| | 0-5 | 10-15 | 0-5 x 10-15 |
| | Densidade de solo (Mg m ⁻³) | | Contraste entre profundidade (p > F) |
| Sistema I | 1,21 | 1,34 | ** |
| Sistema II | 1,20 | 1,33 | ** |
| Sistema III | 1,21 | 1,31 | * |
| Sistema IV | 1,18 | 1,31 | * |
| Sistema V | 1,16 | 1,28 | ** |
| Sistema VI | 1,15 | 1,31 | ** |
| Floresta (F) | 1,08 | 1,09 | ns |
| Contrastes entre sistemas | | | |
| I x II | ns | ns | |
| I x III | ns | ns | |
| I x IV | ns | ns | |
| I x V | ns | ns | |
| I x VI | ns | ns | |
| I x F | * | ** | |
| II x III | ns | ns | |
| II x IV | ns | ns | |
| II x V | ns | ns | |
| II x VI | ns | ns | |
| II x F | ns | ** | |
| III x IV | ns | ns | |
| III x V | ns | ns | |
| III x VI | ns | ns | |
| III x F | * | ** | |
| IV x V | ns | ns | |
| IV x VI | ns | ns | |
| IV x F | ns | ** | |
| V x VI | ns | ns | |
| V x F | ns | ** | |
| VI x F | ns | ** | |

ns = não significativo; * = nível de significância de 5%; ** = nível de significância de 1%; Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho; sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto; sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto; sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto; sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto; e F: floresta subtropical.

Em trabalho de Silva et al. (2000), desenvolvido somente com pastagens anuais de inverno e cultura de

milho, no verão, ambas estabelecidas sob PD, não foi observada diferença na densidade de solo entre as áreas pastejadas e as não pastejadas. De acordo com os mesmos autores, o pisoteio animal não teve efeito sobre a densidade de solo, possivelmente pelo fato de o resíduo da pastagem permanecer próximo a $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de matéria seca. Por outro lado, os sistemas I e III, na camada 0-5 cm e em todos os SPMs, na camada 10-15 cm apresentaram maiores valores de densidade de solo, em relação à floresta subtropical (FST), ($1,08$ e $1,09 \text{ Mg m}^{-3}$, respectivamente). Considerando-se que a densidade de solo tem sido um dos parâmetros usados para avaliação do estado estrutural de solo, as condições verificadas nos sistemas estudados permitem afirmar que a compactação de solo da camada superficial não foi severa, uma vez que os valores observados mantiveram-se abaixo de um valor considerado como limitante para os latossolos argilosos do Estado do Rio Grande do Sul, que, de acordo com Klein e Câmara (2007), situa-se ao redor de $1,40 \text{ kg dm}^{-3}$, valor este onde nos solos da região, o intervalo hídrico ótimo, isto é a faixa de umidade e aeração do solo não limitante é crítica, para resistência à penetração entre 2 e 3 MPa.

Resultados semelhantes para os valores de densidade de solo foram obtidos por Santos et al. (2006) com sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, no mesmo tipo de solo do presente estudo. No presente estudo, assim como em Santos et al. (2006), 10 a 15 bovinos foram colocados para pastejar durante o dia e em solo relativamente seco, consumindo toda a forragem ofertada em um ou dois dias. Entretanto, em experimento conduzido por Trein et al. (1991), em Argissolo Vermelho, com lotação elevada de animais (200) e por 40 horas, foi verificado aumento do valor da densidade do solo de $1,39$ para $1,56 \text{ Mg m}^{-3}$, após pastejo. Como os animais pastejaram em solo argiloso úmido, houve considerável compactação da área.

Nos ensaios desenvolvidos por Albuquerque et al. (1995), em Latossolo Vermelho distrófico, a monocultura trigo-soja manifestou maior densidade de solo do que os sistemas de rotação e, ou sucessão trigo-soja e aveia preta + ervilhaca e trigo-soja, aveia preta-soja e aveia preta-soja, na camada 1,0 a 8,6 cm.

O solo sob FST apresentou baixa densidade de solo nas camadas 0-5 cm e 10-15 cm (Tabela 2). Essas densidades são menores que as dos demais SPMs, pois os sistemas de produção foram submetidos à atividades agropecuárias intensas por muitos anos, determinando, entre outros efeitos negativos, o aumento da densidade do solo. Spera et al. (2004b), estudando SPMs, no mesmo tipo de solo, observou que a densidade nas camadas 0-5 cm e 10-15 cm, de solos manejados sob rotações trigo-

soja, ervilhaca-milho e aveia branca-soja, sob pastagem perene de inverno e sob pastagem perene de verão aumentou consideravelmente, em relação ao status original. Entre distintos tipos de rotação de culturas também ocorrem diferenças na densidade do solo. Stone e Silveira (2001), em Latossolo Vermelho distroférico, observaram que a sucessão soja-trigo apresentou densidade de solo mais elevada, na camada 0-10 cm do que nas rotações milho-feijão e arroz consorciado com calopogônio-feijão.

Houve diferença na densidade de solo entre as profundidades amostradas em todos os SPMs (Tabela 2). Trein et al. (1991), Albuquerque et al. (2001) e Spera et al. (2004a; 2004b) obtiveram resultados semelhantes. Na FST desse trabalho não se constatou diferenças para densidade de solo entre as profundidades de amostragem. A densidade do solo geralmente foi maior na camada 10-15 cm indicando possível compactação de solo nessa profundidade. Esse processo tem sido atribuído ao tráfego de máquinas e ao pisoteio por animais (TREIN et al., 1991). Neste estudo, a maior densidade de solo na camada 10-15 cm pode ser atribuída à presença de camada compactada residual resultante de operações anteriores de preparo de solo com aração e gradagem, associadas ao pisoteio promovido pelos bovinos, nas parcelas sob cultivo de forrageiras.

Em 2003, na maior parte dos SPMs estudados, a porosidade total, na camada 0-5 cm, apresentou valores maiores do que na avaliação feita em 2001, conforme Spera et al. (2006). Por outro lado, não houve diferença significativa na porosidade total entre os SPMs, em ambas camadas estudadas (Tabela 3). Silva et al. (2000) trabalhando com pastagens anuais de inverno e cultura de milho, no verão encontrou resultados concordantes. O solo da FST mostrou maior porosidade total em relação a todos os SPMs. Comparando-se com os valores de porosidade na condição original, encontrados na FST, constata-se que, após várias décadas de intervenções antrópicas, houve redução na macroporosidade dos solos cultivados, independentemente do tipo SPMs. Spera et al. (2004b), estudando as propriedades físicas de solos de SPMs, verificaram que as rotações trigo-soja / ervilhaca-milho e aveia branca-soja / trigo-soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca-milho e aveia branca-soja / pastagem perene de inverno e pastagem perene de verão apresentaram porosidade total bem inferior àquelas presentes na FST. Diferentes tipos de rotação de culturas também afetam de modo distinto, os valores de porosidade total. Albuquerque et al. (1995) verificaram que monocultura trigo-soja apresentou menor valor de porosidade total que as

rotações: trigo-soja, aveia preta-soja / aveia preta + ervilhaca-milho, e aveia preta-soja / aveia preta-soja / trigo-soja, enquanto Stone e Silveira (2001) observaram que em solos sob a rotação de milho-feijão / milho-feijão / arroz-feijão apresentou maior porosidade total do que na sucessão soja-trigo.

Tabela 3. Valores de porosidade total, avaliados antes das culturas de inverno de 2003, em duas camadas e para diferentes sistemas de produção.

| Sistema de produção | Profundidade (cm) | | |
|---------------------------|----------------------------------------------------|-------|--------------------------------------|
| | 0-5 | 10-15 | 0-5 x 10-15 |
| | Porosidade total (m ³ m ⁻³) | | Contraste entre profundidade (p > F) |
| Sistema I | 0,520 | 0,490 | * |
| Sistema II | 0,520 | 0,480 | ** |
| Sistema III | 0,530 | 0,490 | ** |
| Sistema IV | 0,510 | 0,490 | ns |
| Sistema V | 0,520 | 0,490 | * |
| Sistema VI | 0,530 | 0,490 | ** |
| Floresta (F) | 0,580 | 0,540 | ns |
| Contrastes entre sistemas | | | |
| I x II | ns | ns | |
| I x III | ns | ns | |
| I x IV | ns | ns | |
| I x V | ns | ns | |
| I x VI | ns | ns | |
| I x F | ** | ** | |
| II x III | ns | ns | |
| II x IV | ns | ns | |
| II x V | ns | ns | |
| II x VI | ns | ns | |
| II x F | ** | ** | |
| III x IV | ns | ns | |
| III x V | ns | ns | |
| III x VI | ns | ns | |
| III x F | * | ** | |
| IV x V | ns | ns | |
| IV x VI | ns | ns | |
| IV x F | ** | ** | |
| V x VI | ns | ns | |
| V x F | ** | ** | |
| VI x F | * | ** | |

ns = não significativo; * = nível de significância de 5%; ** = nível de significância de 1%; Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + avevém/milho; sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto; sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + avevém/pastagem de milheto; sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto; sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + avevém/pastagem de milheto; e F: floresta subtropical.

A porosidade total foi menor na camada 0-5 cm que na camada 10-15 cm, exceto na FST. Nos SPMs do presente estudo, supõe-se que tenha havido acúmulo de resíduos culturais ou ação de sistema radicular de culturas na reestruturação do solo, restaurando a porosidade. No caso da FST, o acúmulo de serrapilheira na camada superficial, promoveu, além da redução da densidade do solo, aumento de porosidade total, em comparação à camada 10-15 cm. Resultados equivalentes também reportados por Albuquerque et al. (1995).

Em 2003, os SPMs I, II e III apresentaram maiores valores de microporosidade, na camada 0-5 cm (Tabela 4) em relação ao observado, em 2001, conforme se pode observar em Spera et al. (2006). Não houve

diferença entre as médias dos SPMs para os valores de microporosidade. O solo da FST mostrou maior microporosidade em relação a todos os SPMs, nas camadas superficiais. O solo da FST apresenta maior volume de poros totais, bem como de microporos do que os SPMs por ser um sistema não perturbado. Spera et al. (2004a), não observaram diferenças de porosidades, na camada 0-5 cm, entre SPMs envolvendo somente produção de grãos e sistemas integrando lavoura e pecuária. Entretanto, Stone e Silveira (2001) observaram que as rotações soja-trigo e soja-trigo / soja-feijão / arroz-feijão apresentaram na camada 0-10 cm, microporosidade mais elevada do que milho-feijão / milho-feijão / arroz-feijão e arroz consorciado com calopogônio-feijão.

Tabela 4. Valores de microporosidade, avaliados antes das culturas de inverno de 2003, em quatro camadas e para diferentes sistemas de produção.

| Sistema de produção | Profundidade (cm) | | |
|---------------------------|---------------------------------------------------|-------|--------------------------------------|
| | 0-5 | 10-15 | 0-5 x 10-15 |
| | Microporosidade (m ³ m ⁻³) | | Contraste entre profundidade (p > F) |
| Sistema I | 0,390 | 0,400 | ns |
| Sistema II | 0,400 | 0,390 | ns |
| Sistema III | 0,420 | 0,400 | ns |
| Sistema IV | 0,390 | 0,390 | ns |
| Sistema V | 0,390 | 0,400 | ns |
| Sistema VI | 0,400 | 0,410 | ns |
| Floresta (F) | 0,440 | 0,420 | ns |
| Contrastes entre sistemas | | | |
| I x II | ns | ns | |
| I x III | ns | ns | |
| I x IV | ns | ns | |
| I x V | ns | ns | |
| I x VI | ns | ns | |
| I x F | * | ns | |
| II x III | ns | ns | |
| II x IV | ns | ns | |
| II x V | ns | ns | |
| II x VI | ns | ns | |
| II x F | * | ns | |
| III x IV | ns | ns | |
| III x V | ns | ns | |
| III x VI | ns | ns | |
| III x F | * | ns | |
| IV x V | ns | ns | |
| IV x VI | ns | ns | |
| IV x F | * | ns | |
| V x VI | ns | ns | |
| V x F | * | ns | |
| VI x F | * | ns | |

ns = não significativo; * = nível de significância de 5%; Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + avevém/milho; sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto; sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + avevém/pastagem de milheto; sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto; sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + avevém/pastagem de milheto; e F: floresta subtropical.

Não foram constatadas diferenças na microporosidade de diferentes profundidades de solo em SPMs e FST, conforme já haviam observado Albuquerque et al. (1995), Andreola et al. (2000) e Spera et al. (2004a). Os valores de macroporosidade nos SPMs I, II e III, em 2003 (Tabela 5) foram menores, que os

verificados, na mesma área em 2001 (Spera et al., 2006), indicando que houve nesse período, aumento na compactação do solo.

Tabela 5. Valores de macroporosidade, avaliados antes das culturas de inverno de 2003, em quatro camadas e para diferentes sistemas de produção.

| Sistema de produção | Profundidade (cm) | | |
|---------------------------|---------------------------------------------------|-------|--------------------------------------|
| | 0-5 | 10-15 | 0-5 x 10-15 |
| | Macroporosidade (m ³ m ⁻³) | | Contraste entre profundidade (p > F) |
| Sistema I | 0,120 | 0,080 | ** |
| Sistema II | 0,120 | 0,080 | ** |
| Sistema III | 0,110 | 0,080 | ns |
| Sistema IV | 0,110 | 0,090 | ns |
| Sistema V | 0,120 | 0,090 | ns |
| Sistema VI | 0,130 | 0,070 | ** |
| Floresta (F) | 0,140 | 0,130 | ns |
| Contrastes entre sistemas | | | |
| I x II | ns | ns | |
| I x III | ns | ns | |
| I x IV | ns | ns | |
| I x V | ns | ns | |
| I x VI | ns | ns | |
| I x F | ns | ns | |
| II x III | ns | ns | |
| II x IV | ns | ns | |
| II x V | ns | ns | |
| II x VI | ns | ns | |
| II x F | ns | ns | |
| III x IV | ns | ns | |
| III x V | ns | ns | |
| III x VI | ns | ns | |
| III x F | ns | ns | |
| IV x V | ns | ns | |
| IV x VI | ns | ns | |
| IV x F | ns | ns | |
| V x VI | ns | ns | |
| V x F | ns | ns | |
| VI x F | ns | ns | |

ns = não significativo; e ** = nível de significância de 1%; Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho; sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho; sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho; e F: floresta subtropical.

Segundo Klein (2008), os macroporos estão relacionados com processos vitais para as plantas, devendo o ambiente pedológico ser preservado. Albuquerque et al. (1995) e Andreola et al. (2000) estudando modelos de rotação de culturas, não encontraram diferenças nos valores de macroporosidade entre os sistemas de produção estudados. Stone e Silveira (2001) observaram que o sistema de rotação arroz consorciado com calopogônio-feijão apresentou valor mais elevado para macroporosidade, que as rotações arroz-feijão, milho-feijão, soja-trigo / soja-feijão / arroz-feijão e soja-trigo.

Em todos os SPMs estudados e na FST e exceto o sistema III, no ano de 2003 foram observados maiores valores para resistência à penetração na camada 0-5 cm (Tabela 6) em relação aos valores observados em 2001, constantes em Spera et al. (2006). Não houve diferença para a resistência à

penetração entre os SPMs na camada 0-5 cm, porém, na camada 10-15 cm, verificou-se o inverso. Sistemas contendo pastagens tenderam a apresentar maiores valores de resistência à penetração na camada 10 a 15 cm do que sistema sem pastejo. Pode ser consequência de compactação do solo mais severa em razão do maior número de pastejos, principalmente de milho (CORREA; REICHARDT, 1995). Em ambas as camadas estudadas a resistência à penetração da FST foi menor quando comparada aos SPMs. O sistema I pode ter permitido redução do efeito do pisoteio de bovinos, na camada 0-5 cm, em relação aos demais tratamentos, pela presença de resíduos culturais de milho. Dentre as culturas, os resíduos de milho oferecem maior proteção mecânica ao solo (SILVA et al., 2000).

Tabela 6. Valores de resistência à penetração, avaliados antes das culturas de inverno de 2003, em duas camadas e para diferentes sistemas de produção.

| Sistema de produção | Profundidade (cm) | | |
|---------------------------|--------------------------------------------------|-------|--------------------------------------|
| | 0-5 | 10-15 | 0-5 x 10-15 |
| | Resistência à penetração (kgf cm ⁻²) | | Contraste entre profundidade (p > F) |
| Sistema I | 1,84 | 2,27 | ns |
| Sistema II | 1,89 | 2,57 | ** |
| Sistema III | 1,90 | 2,42 | ns |
| Sistema IV | 2,02 | 2,58 | ** |
| Sistema V | 1,89 | 2,36 | * |
| Sistema VI | 1,73 | 2,52 | ** |
| Floresta (F) | 0,96 | 1,51 | * |
| Contrastes entre sistemas | | | |
| I x II | ns | * | |
| I x III | ns | ns | |
| I x IV | ns | * | |
| I x V | ns | ns | |
| I x VI | ns | * | |
| I x F | ** | ** | |
| II x III | ns | ns | |
| II x IV | ns | ns | |
| II x V | ns | * | |
| II x VI | ns | ns | |
| II x F | ** | ** | |
| III x IV | ns | ns | |
| III x V | ns | ns | |
| III x VI | ns | ns | |
| III x F | ** | ** | |
| IV x V | ns | ns | |
| IV x VI | ns | ns | |
| IV x F | ** | ** | |
| V x VI | ns | ns | |
| V x F | ** | ** | |
| VI x F | ** | ** | |

ns = não significativo; * = nível de significância de 5%; ** = nível de significância de 1%; Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho; sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho; sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho; e F: floresta subtropical.

Conforme Beutler et al. (2001), no presente trabalho a resistência à penetração, na camada 0-5cm seria classificada como moderada (1,0 a 2,0 kgf cm⁻²), enquanto que na camada 10-15 cm, como alta (2,0 a

4,0 kgf cm⁻²). Na maioria dos SPMs e na floresta subtropical, houve diferenças entre as profundidades de solo para resistência à penetração. Nos SPMs pode ser devido a pisoteio animal, pois não há essa diferença no sistema I e na FST, a resistência ocorre em uma intensidade menor, assim, a menor resistência em superfície pode ser atribuída ao efeito protetor da serrapilheira (ALBUQUERQUE et al., 2001).

Os valores de macroporosidade, porosidade total, densidade e resistência de solo à penetração (Tabelas 2, 3, 5 e 6), indicam que a estrutura de solo em virtude da atividade agropecuária sofreu degradação em todos os SPMs, em relação a FST. Resultados equivalentes foram obtidos por Argenton et al. (2005). Deve-se levar em consideração que os animais foram introduzidos para pastear apenas quando o solo encontrava-se relativamente seco. Trein et al. (1991) observaram em ensaio, que a resistência à penetração de solo antes do pastejo era de 8,4 kgf cm⁻² e após o pastejo por período de 40 horas, e com a lotação de 200 cabeças por hectare, aumentou para 40,3 kgf cm⁻², na camada 0-7,5 cm. No presente estudo, esse pastejo foi efetuado apenas duas ou três vezes, no inverno, e três a quatro vezes, no verão, com duração de no máximo dois dias em cada pastejo com carga de dez a quinze animais. Além disso, após a retirada dos animais da área, manteve-se intervalo de 40-60 dias, de modo a permitir rebrotas das forrageiras de inverno antes do estabelecimento das culturas de verão. A integração entre lavouras e pecuária pode favorecer intensificação do processo de degradação física do solo, comumente observada em PD, principalmente da compactação do solo.

Conclusão

A densidade do solo e a resistência à penetração são maiores na camada 10-15 cm do que na camada 0-5 cm nos sistemas que envolvem pastejo indicando que o pisoteio pelo animal não está compactando a camada superficial dos solos sob sistemas de manejo com integração lavoura pecuária.

Entretanto, nos sistemas II, V e VI há redução dos macroporos, aumento da densidade e da resistência à penetração de solo na camada de 10-15 cm, em relação à camada 0-5 cm, devido, provavelmente, à maior intensidade das atividades agropastoris.

Após oito anos, os sistemas de manejo com integração lavoura pecuária não provocaram degradação, em níveis limitantes, nas propriedades físicas do solo manejado sob sistema plantio direto.

Referências

- 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. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 19, n. 1, p. 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. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 25, n. 3, p. 717-723, 2001.
- 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 de Solo**, v. 24, n. 4, p. 857-865, 2000.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 29, n. 3, p. 425-435, 2005.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHÃO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na Região dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 25, n. 1, p. 167-177, 2001.
- CANALLI, L. B.; ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um Latossolo Vermelho-escuro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 21, n. 1, p. 99-104, 1997.
- CADY, F. B. Experimental design and data management of rotation experiments. **Agronomy Journal**, v. 83, n. 1, p. 50-56, 1991.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. SBCS/NRSul. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: CQFS-NRS-SBCS, 2004.
- CORREA, J. C.; REICHARDT, V. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 107-114, 1995.
- DA ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 21, n. 2, p. 241-247, 1997.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Brasília: SPI, 1997. 212 p. (Embrapa Solos. Documentos, 1).

- GARCÍA-PRÉCHAC, F.; ERNEST, O.; SIRI-PRIETO, G.; TERRA, J. A. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. **Soil and Tillage Research**, v. 77, n. 1, p.1-13, 2004.
- KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: Editora UPF, 2008. 212p.
- KLEIN, V. A.; CAMARA, R. K. Rendimento de soja e intervalo hídrico ótimo em latossolo vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 31, n. 2, p. 221-227, 2007.
- LOPES, R. A. P.; NÓBREGA, L. H. P.; URIBE-OPAZO, M. A.; PRIOR, M.; PEREIRA, J. O. Propriedades físicas de Latossolo Vermelho distroférico típico sob sistemas de manejo na sucessão soja-milho no período de três anos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 5, p. 721-727, 2007.
- MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.
- SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O.; DENARDIN, J. E. Atributos físicos e químicos de solo em sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens anuais sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 12, n. 1-2, p.73-81, 2006.
- SAS INSTITUTE. **SAS system for Microsoft Windows version 8.2**. Cary, Statistical Analysis Systems, 2003.
- SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; DA ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 28, n. 5, p. 797-804, 2004.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 24, n. 2, p. 191-199, 2000.
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; FONTANELI, R. S. Avaliações de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. **Revista Científica Rural**, v. 9, n. 1, p. 23-31, 2004a.
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; FONTANELI, R. S. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004b.
- 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. **Ciência Rural**, v. 36, n. 4, p. 1193 -1200, 2006.
- STEEL, G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1980.
- 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 de Solo**, v. 25, n. 2, p. 395-401, 2001.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 15, n. 1, p. 105-111, 1991.
- VOLPE, E.; MARCHETTI, M. E.; MACEDO, M. C. M.; ROSA JUNIOR, E. J. Renovação de pastagem degradada com calagem, adubação e leguminosa consorciada em Neossolo Quatzarênico. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 131-138, 2008.

Received on February 25, 2008.

Accepted on September 18, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.