

Efeito de sistemas de manejo em atributos físicos do solo

Silvio Tullio Spera¹, Henrique Pereira dos Santos²,
Gilberto Omar Tomm³ e Rainoldo Alberto Kochhann³

Resumo - O manejo inadequado de solo pode levar à formação de camada compactada próxima à superfície. Após dezesseis anos de instalação de experimento em Latossolo Vermelho Distrófico típico, em Passo Fundo, RS, avaliou-se atributos físicos de solo em quatro sistemas de manejo de solo: plantio direto (PD); cultivo mínimo (CM); preparo convencional de solo com arado de discos e grade de discos (PCD); preparo convencional de solo com arado de aivecas e grade de discos (PCA) - e três sistemas de rotação de culturas: sistema I (trigo/soja); sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho) e sistema III (trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja). O delineamento experimental foi em blocos completos ao acaso, com parcelas subdivididas, e três repetições. As parcelas foram constituídas pelos sistemas de manejo de solo, e as subparcelas, pelos sistemas de rotação de culturas. O PD mostrou maior densidade de solo que PCA, CM e floresta subtropical. A floresta subtropical apresentou porosidade total e macroporosidade maiores que as dos solos sob diversos sistemas de manejo e de rotações de culturas estudados, enquanto para densidade e microporosidade ocorreu o contrário. A densidade do solo aumentou da camada 0-5 cm para 10-15 cm, em todos os sistemas de manejo e de rotações estudados, enquanto para porosidade total e macroporosidade ocorreu o inverso.

Palavras-chave: rotação de culturas, densidade do solo, porosidade total, sucessão trigo-soja.

Effect of management systems in soil physical attributes

Abstract - Inadequated soil tillage can induce the formation of compacted layer near soil surface. Soil physical attributes were assessed after sixteen years of distinct soil management on a typical dystrophic red latosol located in Passo Fundo, Rio Grande do Sul State, Brazil. Four soil tillage systems – no-tillage, minimum tillage, conventional tillage using a disk plow plus disk harrow, and conventional tillage using a moldboard plow plus disk harrow – and three crop rotation systems - system I (wheat/soybean), system II (wheat/soybean and common vetch/corn), and system III (wheat/soybean, white oat/soybean, and common vetch/corn) were evaluated. A randomized complete block design, with split-plots and three replicates, was used. The main plots were soil tillage systems, while the split consisted of crop rotation systems. Soil cores were also collected in a fragment of subtropical forest adjacent to the experiment. No-tillage showed higher soil density than conventional tillage using a moldboard plow plus disk harrow, minimum tillage, and subtropical forest. The subtropical forest showed the highest total porosity and macroporosity, as compared to the all soil tillage systems and crop rotation systems, and the lowest bulk density and microporosity. Soil bulk density was increased from the top layer (0-5 cm) to deeper layer (10-15 cm) in all soil tillage systems and rotation systems and presented the lowest total porosity and macroporosity.

Key words: crop rotation, soil bulk density, soil porosity, soybean-wheat crops.

¹ Engenheiro Agrônomo – M.Sc, Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT), Caixa Postal 451, CEP 99001-970, Passo Fundo (RS). Doutorando do Curso de Produção Vegetal da UPF/FAMV. E-mail: spera@cnpt.embrapa.br

² Engenheiro Agrônomo – Dr., Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Bolsista CNPq-PQ. E-mail: hpsantos@cnpt.embrapa.br

³ Engenheiro Agrônomo – Ph.D., Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. E-mail: tomm@cnpt.embrapa.br; rainoldo@cnpt.embrapa.br
Recebido para publicação em 24/03/2006

Introdução

Entre os sistemas de manejo de solo praticados no Sul do Brasil, o sistema plantio direto destaca-se como o mais conservacionista, devido à mínima mobilização de solo, rotação de culturas requerida e manutenção de resíduos culturais na superfície do solo que promove. A crescente conscientização da eficiência técnica, econômica e ambiental promovida por esse sistema tem proporcionado sua adoção em cerca de quatro milhões de hectares no Rio Grande do Sul (FEBRAPDP, 2003). A continuidade do plantio direto em sistemas agrícolas anuais produtores de grãos tem despertado atenção para uma aparente degradação estrutural do solo, constatada por dados de pesquisa que demonstram elevação da densidade do solo e redução na porosidade. Tem sido verificado que esse problema é originário do pé-de-arado remanescente do preparo convencional, que persiste por vários anos após a adoção do sistema plantio direto (BERTOL et al., 2004). Atualmente muitos produtores, usuários de sistema plantio direto, tornaram a lavrar ou a escarificar o solo sob alegação de que a compactação tem sido a mais importante causa de redução de rendimento das culturas.

O manejo inadequado pode levar à formação de camada compactada próximo à superfície do solo. Esse fato tem sido apontado como um dos principais indicadores de degradação e causa de decréscimo da produtividade de culturas. A camada compactada é consequência do revolvimento de solo, trânsito de máquinas, tipo de equipamento, sistemas de manejo, presença de resíduos vegetais e condições hídricas no momento de preparo (STONE e SILVEIRA, 2001).

O preparo de solo por meio de grade aradora foi, no passado, o mais usado na Região Sul do Brasil. O uso contínuo desse implemento levou à formação de camadas compactadas sub-superficiais, denominadas pé-de-grade. O arado de aivecas era pouco usado, pois requeria mais tempo e energia nas operações de preparo de solo, embora tenha tendência de apresentar maior produtividade de milho (KLUTHCOUSKI, 1998), em comparação ao preparo convencional de solo com grade aradora e ao plantio direto.

O sistema plantio direto tem contribuído para a sustentabilidade de sistemas de produção agrícolas intensivos, por manter o solo coberto com resíduos vegetais, minimizando os efeitos da erosão (ALBUQUERQUE et al., 1995). Entretanto, após algum tempo de adoção, apresenta na camada superficial valores mais elevados de densidade de solo, e microporosidade e menores valores de macroporosidade e porosidade total (ALBUQUERQUE et al., 2001; STONE e SILVEIRA, 2001). Kochhann et al. (1999), entretanto, sustentam que a suposição de que a continuidade do sistema plantio direto implicaria em problemas de degradação estrutural do solo na camada superficial nem sempre é comprovada.

Derpsch et al. (1991) constataram que a densidade de solo é maior e a porosidade total e a macroporosidade são menores sob plantio direto, em comparação com preparo convencional com arado de discos. Porém, de acordo com Reeves (1995), com o passar dos anos a densidade de solo sob plantio direto pode diminuir, em razão do aumento do nível de matéria orgânica na camada superficial.

Compactação de solo tem sido verificada em latossolos do Rio Grande do Sul independentemente de estarem sendo manejados sob sistema plantio direto, cultivo mínimo ou preparo convencional. Spera et al. (2000) observaram valores de densidade do solo semelhantes em lavouras manejadas sob sistema plantio direto com rotação de culturas que incluem pastagens anuais de inverno e em preparo convencional com aração e gradagem. Esses dados indicam que problemas relacionados à compactação de solo não ocorrem apenas no sistema plantio direto e evidenciam que há probabilidade de serem remanescentes do preparo convencional antecedente.

A rotação de culturas, pela introdução de espécies com sistema radicular agressivo e pelo acúmulo de resíduos orgânicos de diferentes naturezas e quantidades, pode também alterar os atributos físicos do solo. Albuquerque et al. (1995) verificaram que a densidade de solo na profundidade de 0 a 8,5 cm é maior e a porosidade total é menor na sucessão soja/trigo que nos sistemas de rotação de culturas que incluíam aveia branca (*Avena sativa* L.), ervilhaca (*Vicia villosa* Roth.) e milho (*Zea mays* L.), independentemente do sistema de manejo de solo adotado. Esse fato foi atribuído à presença de aveia branca que, com seu sistema radicular de elevada densidade, contribuiu para a reestruturação do solo.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de distintos sistemas de manejo de solo e rotação de culturas sobre alguns atributos físicos de solo nas condições edafoclimáticas da região subtropical úmida do Sul do Brasil.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em área do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, em Passo Fundo, RS, no período de 1986 a 2001, em Latossolo Vermelho Distrófico típico (STRECK et al., 2002). Antes da instalação do experimento, foram conduzidas no local lavouras de trigo no inverno e de soja no verão, sob preparo convencional de solo desde 1975.

Os tratamentos foram constituídos por quatro sistemas de manejo de solo: 1) plantio direto (PD); 2) preparo de solo com implemento de hastes para cultivo mínimo – escarificador (CM); 3) preparo convencional de solo com arado de discos mais grade de discos (PCD); 4) preparo convencional de solo com arado de aivecas mais grade de discos (PCA) e três sistemas de rotação de culturas: sistema I (trigo/soja); sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho) e sistema III (trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia

branca/soja). Um fragmento de floresta subtropical com araucárias, adjacente ao experimento, também foi amostrado com o mesmo número de repetições, admitindo-se como referencial do estado estrutural do solo antes das alterações antrópicas.

O delineamento experimental usado foi blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e três repetições. A parcela principal foi constituída pelos sistemas de manejo, e a subparcela, pelos sistemas de rotação de culturas. Cada parcela principal mediu 360 m² (4 m de largura por 90 m de comprimento) e cada subparcela mediu 40 m² (4 m de largura por 10 m de comprimento).

Em maio de 2001, após a colheita das culturas de verão, foram coletadas três amostras indeformadas de solo por subparcela, nas profundidades 0-5 e 10-15 cm. Para determinar densidade do solo e 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 segundo Embrapa (EMBRAPA, 1997).

Os sistemas de manejo de solo e os sistemas de rotação de culturas foram comparados, para cada atributo físico de solo, em uma determinada profundidade de amostragem. As profundidades de amostragem foram comparadas em um mesmo sistema de manejo de solo e sistema de rotação de culturas. Todas as comparações foram realizadas por meio de contrastes com um grau de liberdade (STEEL e TORRIE, 1980). A significância dos contrastes foi dada pelo teste F, levando-se em conta o desdobramento dos graus de liberdade do erro. As médias dos rendimentos de grãos de cada cultura foram comparadas pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

Sistemas de manejo de solo

O solo sob plantio direto (PD) mostrou maior densidade do solo quando comparado com a maioria dos sistemas de manejo estudados nas duas profundidades. A floresta, que ainda preserva a condição estrutural original do solo, apresentou menor densidade de solo em relação a todos os sistemas de manejo estudados (Tabela 1). Derpsch et al. (1991) observaram em Latossolo Vermelho Distroférico de Londrina, PR, maior densidade de solo no PD, na camada 0-5 cm, em comparação com PCD. Resultados semelhantes ao presente trabalho foram obtidos por Albuquerque et al. (2001), em Nitossolos Vermelhos, no município Lages, SC, nos quais PD apresentou na média das profundidades estudadas maior densidade de solo do que no PCD e na floresta. Da Ros et al. (1997) em Latossolo Vermelho em Cruz Alta, RS, verificaram menor densidade de solo nos tratamentos submetidos ao PCD em relação ao PD, em todas as camadas estudadas.

Stone e Silveira (2001), estudando um Latossolo Vermelho Distroférico, em Santo Antônio de Goiás, GO, observaram que PD apresentou densidade superior ao PCD, ao preparo somente com arado de disco e ao preparo somente com grade na camada 0-10 cm.

Após dezesseis anos, era de esperar que o valor da densidade de solo diminuísse nos sistemas conservacionistas (REEVES, 1995), porém isso não aconteceu, apesar da matéria orgânica do solo, nesse experimento (avaliada em 1993) ter sido maior no PD (38 g kg⁻¹) em relação ao PCD (31 g kg⁻¹) e ao PCA (29 g kg⁻¹) na camada 0-5 cm (SANTOS e TOMM, 2003). Dados similares foram obtidos por Anjos et al. (1994), estudando sistemas de manejo de solo, em três tipos de solos distróficos: Latossolo, Cambissolo e Argissolo, onde verificaram que, nas médias desses solos, a floresta apresentou menor densidade de solo que no PCD e no PD na camada 0-20 cm.

Tabela 1 - Valores de densidade de solo e de porosidade total nas camadas de solo 0-5 e 10-15 cm de profundidade, em quatro sistemas de manejo de solo e em floresta subtropical (Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2004)

Sistema de manejo	Profundidade (cm)		
	0-5	10-15	0-5 x 10-15
	Densidade de solo (Mg m ⁻³)		Contraste entre profundidades (P > F)
PD	1,30	1,41	**
PCD	1,27	1,34	*
PCA	1,25	1,35	**
CM	1,26	1,35	ns
FST	0,88	1,02	ns
	Contraste entre sistemas		
PD x PCD	**	ns	
PD x PCA	**	*	
PD x CM	*	ns	
PD x FST	**	**	
PCD x PCA	ns	ns	
PCD x CM	*	ns	
PCD x FST	*	**	
PCA x CM	*	*	
PCA x FST	*	**	
CM x FST	**	**	
	Porosidade total (m ³ m ⁻³)		Contraste entre profundidades (P > F)
PD	0,50	0,46	*
PCD	0,51	0,49	**
PCA	0,52	0,49	**
CM	0,52	0,49	*
FST	0,67	0,62	ns
	Contraste entre sistemas		
PD x PCD	**	ns	
PD x PCA	ns	ns	
PD x CM	ns	ns	
PD x FST	**	**	
PCD x PCA	ns	ns	
PCD x CM	ns	ns	
PCD x FST	*	**	
PCA x CM	ns	ns	
PCA x FST	**	**	
CM x FST	**	**	

ns = não-significativo; * = nível de significância de 5%; ** = nível de significância de 1%.

PD: plantio direto; PCD: preparo convencional de solo com arado de discos; PCA: preparo de solo com arado de aivecas; CM: cultivo mínimo; FST: floresta subtropical.

Houve diferença significativa para densidade do solo entre as profundidades avaliadas em três sistemas de manejo, exceto na floresta e CM (Tabela 1). A densidade de solo aumentou da camada 0-5 cm para 10-15 cm em todos os sistemas de manejo estudados. Como a densidade do solo é uma característica usada na avaliação do estado estrutural do solo, não houve indícios de severa compactação (na camada superficial 0-5 cm) nos sistemas de manejo, pois estes valores estiveram abaixo dos níveis críticos para latossolos que, de acordo com Resende (1995), e são maiores que $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$. Derpsch et al. (1986), Trein et al. (1991) e Albuquerque et al. (2001) observaram, em PD, maior densidade de solo na camada superficial, decrescendo com a profundidade. Neste estudo, a menor densidade do solo verificada na camada 0-5 cm pode ser atribuída à presença de maior quantidade de matéria orgânica e resíduos vegetais em superfície que, em razão de apresentarem menor peso específico, conferem menor densidade ao solo da camada.

O PD apresenta menor porosidade total quando comparado com o PCD na camada 0-5 cm, em todos os sistemas de manejo, nas duas profundidades estudadas (Tabela 1). Dados similares foram obtidos por Albuquerque et al. (2001). Porém, contrariando os resultados do presente estudo, Da Ros et al. (1997) observaram menor porosidade total sob preparo convencional com aração e gradagem do que sob PD em duas camadas de solo, e Anjos et al. (1994), estudando diferentes sistemas de manejo de solo e floresta subtropical, não encontraram diferenças entre os tratamentos para porosidade total na camada 0-20 cm.

Para porosidade total houve diferença entre as duas profundidades de amostragem em todos os sistemas de manejo de solo estudados, com exceção da floresta (Tabela 1). A porosidade total é maior na camada 0-5 cm do que na 10-15 cm, provavelmente pelo maior nível de matéria orgânica do solo resultante da deposição de restos culturais, independentemente do tipo de manejo de solo (DE-POLLI et al., 1996).

O plantio direto apresentou maior valor para microporosidade do que PCD, PCA, CM e floresta, na camada 0-5 cm. A microporosidade do CM foi maior que as de PCD, PCA e floresta na mesma camada. Além disso, a floresta apresentou menor valor de microporosidade em relação a PCD e PCD na camada 0-5 cm. Stone e Silveira (2001) observaram que PD e preparo somente com grade apresentaram maior valor para microporosidade na camada 0-10 cm.

O plantio direto mostrou redução do valor de microporosidade da camada 0-5 cm para a 10-15 cm, enquanto PCD e PCA apresentaram incremento nesse valor (Tabela 2). Albuquerque et al. (1995), Andreola et al. (2000) e Stone e Silveira (2001), estudando sistemas de manejo de solo, não encontraram diferenças para os valores de microporosidade entre as camadas de solo.

A floresta apresentou maior valor para macroporosidade do que os sistemas de manejo de solos em ambas as camadas estudadas (Tabela 2). Como esperado, o solo na floresta possui maior volume de macroporos do que nos sistemas de manejo de solo estudados. Na camada 0-5 cm, PD mostrou menor valor de macroporosidade que PCD. Albuquerque et al. (2001) encontraram em floresta maior valor de macroporosidade do que PD nas camadas 0-5 cm e 10-15 cm, respectivamente. Stone e Silveira (2001) verificaram em preparo com arado e grade, preparo com arado e preparo com grade maiores valores de macroporosidade que PD, na camada 0-10 cm.

Na Tabela 2 são mostradas as diferenças para macroporosidade entre os sistemas de manejo de solo PD e PCD. O valor da macroporosidade diminuiu da camada 0-5 cm para a 10-15 cm na maioria dos solos sob cultivo. Trein et al. (1991) verificaram em PD maior macroporosidade

Tabela 2 - Valores de microporosidade e de macroporosidade, nas camadas de solo 0-5 e 10-15 cm de profundidade, em quatro sistemas de manejo de solo e em floresta subtropical (Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2004)

Sistema de produção	Profundidade (cm)		
	0-5	10-15	0-5 x 10-15
	Microporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)		Contraste entre profundidades ($P > F$)
PD	0,41	0,40	**
PCD	0,37	0,40	*
PCA	0,38	0,41	**
CM	0,39	0,40	ns
FST	0,34	0,33	ns
	Contraste entre sistemas		
PD x PCD	**	ns	
PD x PCA	**	*	
PD x CM	*	ns	
PD x FST	**	**	
PCD x PCA	ns	ns	
PCD x CM	*	ns	
PCD x FST	*	**	
PCA x CM	*	*	
PCA x FST	*	**	
CM x FST	**	**	
	Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)		Contraste entre profundidades ($P > F$)
PD	0,09	0,07	*
PCD	0,14	0,09	**
PCA	0,15	0,08	**
CM	0,13	0,09	*
FST	0,33	0,29	ns
	Contraste entre sistemas		
PD x PCD	**	ns	
PD x PCA	ns	ns	
PD x CM	ns	ns	
PD x FST	**	**	
PCD x PCA	ns	ns	
PCD x CM	ns	ns	
PCD x FST	*	**	
PCA x CM	ns	ns	
PCA x FST	**	**	
CM x FST	**	**	

ns = não-significativo; * = nível de significância de 5%; ** = nível de significância de 1%.

PD: plantio direto; PCD: preparo convencional de solo com arado de discos; PCA: preparo de solo com arado de aivecas; CM: cultivo mínimo; FST: floresta subtropical.

na camada 0-7,5 cm do que na camada 7,5-15,0 cm. A macroporosidade na floresta não apresentou diferença entre as camadas estudadas (Tabela 2).

Os atributos físicos de solo avaliados são interdependentes; assim, os efeitos do manejo de solo sobre os mesmos valem para todos. Observa-se em PD tendência de ocorrerem maiores valores para densidade do solo e macroporosidade, e menores valores de porosidade total e macroporosidade, em ambas camadas estudadas (Tabelas 1 a 2). A área onde se instalou o experimento foi submetida, durante longo período, ao preparo convencional com aração e gradagens. Isso pode explicar a diferença entre os valores de cada atributo físico, verificada entre as camadas 0-5 e 10-15 cm. Normalmente, no Rio Grande do Sul, a profundidade de mobilização do solo pelo preparo convencional de solo raramente se aprofundava abaixo de 10 cm (KOCHHANN et al., 1999).

Nesse trabalho, não houve intenção, entretanto, de estabelecer comparações entre as alterações promovidas pelos tratamentos e o estado natural do solo observado na condição de floresta, uma vez que o experimento foi instalado em área que já encontrava-se submetida à ação antrópica, sendo, portanto, impossível avaliar as alterações dos tratamentos promovidas nas condições originais de estruturação. Os dados de condição original, porém, são úteis para se balizar até que ponto os valores dos atributos físicos poderiam atingir para uma completa recuperação da estrutura.

Sistemas de rotação de culturas

Os sistemas de rotação de culturas não apresentaram diferenças entre si na densidade de solo (Tabela 3). Por serem atividades antrópicas, os sistemas de rotação de culturas mostraram maior densidade do solo que a floresta em ambas as camadas. No sistema I (trigo/soja), uma sucessão de culturas com caráter de monocultura, a densidade de solo foi maior que no sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho) na camada 0-5 cm. Albuquerque et al. (1995) verificaram que a monocultura trigo/soja apresentou igualmente maior densidade de solo do que as seqüências trigo/soja e aveia preta + ervilhaca/milho e trigo/soja, aveia preta/soja e aveia preta/soja na camada 0-5 cm. Isso pode ter ocorrido em virtude da presença de aveia preta nas duas últimas seqüências, que, em razão do sistema radicular mais desenvolvido, favorece o restabelecimento de agregados de solo. De acordo com Reinert (1993), cada espécie cultivada tem efeito diferenciado sobre a densidade de solo, em virtude dos respectivos sistema radicular e tipo e quantidade de resíduo vegetal remanescente; assim, podem contribuir ou não para a conservação e restauração da estrutura. A densidade do solo encontrada nos sistemas de rotação de culturas sugere que não houve indícios de severa compactação de solo, embora os valores observados na superfície situem-se próximos do valor consi-

derado, por Resende (1995), como crítico para latossolos argilosos, com grau de saturação hídrica abaixo de 50%.

Stone e Silveira (2001), estudando seis diferentes rotações de culturas, verificaram densidade do solo mais elevada na camada 0-10 cm nas monoculturas e em rotação sem presença de milho ou adubo verde, e Albuquerque et al. (1995) observaram que a monocultura trigo/soja propiciou maior valor de densidade do solo na camada 1,0-8,6 cm que os demais sistemas de rotação, indicando que a produção de maior quantidade de biomassa contribuiu para a redução da densidade do solo.

Na Tabela 3 observam-se as diferenças para a densidade do solo entre as camadas de solo dos sistemas de rotação de culturas estudados. Assim como no presente trabalho, Spera et al. (2002), estudando sistemas mistos de produção, em Passo Fundo, RS, observaram menor valor de densidade do solo na camada 0-5 cm em relação à camada 10-15 cm. Stone e Silveira (2001), estudando sistemas de rotação de culturas, não encontraram diferenças entre as médias para esse atributo.

Houve diferenças na porosidade total entre os sistemas de rotação de culturas I e II. Nos sistemas de rotação de culturas, a porosidade total do solo foi menor que na

Tabela 3 - Valores densidade de solo e de porosidade total, nas camadas de solo 0-5 e 10-15 cm de profundidade, em três sucessões de culturas e em floresta subtropical (Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2004)

Sistema de rotação de culturas	Profundidade (cm)		
	0-2	10-15	0-2 x 10-15
	Densidade de solo (Mg m ⁻³)		Contraste entre profundidades (P > F)
Rotação I	1,30	1,38	**
Rotação II	1,25	1,35	**
Rotação III	1,27	1,36	**
FST	0,88	1,02	ns
	Contraste entre sistemas		
I x II	**	ns	
I x III	ns	ns	
I x FST	**	**	
II x III	ns	ns	
II x FST	**	**	
III x FST	*	**	
	Porosidade total (m ³ m ⁻³)		Contraste entre profundidades (P > F)
Rotação I	0,50	0,49	**
Rotação II	0,52	0,49	**
Rotação III	0,51	0,48	**
FST	0,67	0,62	ns
	Contraste entre sistemas		
I x II	**	ns	
I x III	ns	ns	
I x FST	**	**	
II x III	ns	ns	
II x FST	**	**	
III x FST	**	**	

ns = não-significativo; * = nível de significância de 5%; ** = nível de significância de 1%.

Sistemas de rotação de culturas: sucessão I: trigo/soja; sucessão II: trigo/soja e ervilhaca/milho; sucessão III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; FST: floresta subtropical.

floresta em ambas as camadas (Tabela.3). Por outro lado, o sistema I mostrou menor porosidade total do que o sistema II na camada 0-5 cm. Albuquerque et al. (1995) observaram em monocultura trigo/soja menor porosidade total em comparação com as demais rotações estudadas. Stone e Silveira (2001) compararam a porosidade total para as rotações milho/feijão, milho/feijão e arroz/feijão, arroz consorciado com calopogônio/feijão, e soja/trigo/soja/feijão/arroz/feijão; somente no primeiro sistema constataram porosidade total mais elevada na camada 0-10 cm em relação a soja/trigo.

As diferenças de densidade do solo entre as camadas estudadas para todos os sistemas de rotação refletiram-se na porosidade total (Tabela 3). Assim, a porosidade total do solo foi maior na camada 0-5 cm do que na 10-15 cm, refletindo as alterações na densidade do solo. Spera et al. (2002) também verificaram, em sistemas mistos de produção, redução da porosidade total na camada 10-15 cm relação à 0-5 cm. Albuquerque et al. (1995) e Stone e Silveira (2001) não encontraram diferença para o valor de porosidade entre as profundidades estudadas; entretanto, no presente estudo o histórico de uso do solo difere das condições dos referidos trabalhos, pois neste a área foi submetida ao preparo com arado e grade por mais de 30 anos, apresentando evidente pé-de-grade na camada 10-15 cm.

Na floresta foram encontrados os menores valores de microporosidade em comparação aos sistemas de rotação de culturas estudados e não houve diferenças entre o valor de microporosidade nos sistemas de rotação de culturas (Tabela 4). Dados similares foram obtidos por Albuquerque et al. (1995), estudando sistemas de rotação de culturas da mesma região. As seqüências trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja apresentaram diferenças para microporosidade entre as camadas estudadas. Nesse caso, a microporosidade foi maior na camada 10-15 cm. Albuquerque et al. (1995) não encontraram, nos sistemas de rotação de culturas e em floresta, diferenças entre as profundidades para microporosidade.

Ao contrário da microporosidade, na floresta foram observados maiores valores de macroporosidade em comparação aos sistemas de rotação de culturas (Tabela 4). Isso demonstra que há melhor distribuição de macroporos em solo sob floresta. Stone e Silveira (2001) encontraram maior macroporosidade na camada 0-10 cm dos sistemas milho/feijão, milho/feijão e arroz/feijão, e arroz consorciado com calopogônio, e menor na monocultura soja/trigo. Albuquerque et al. (1995) não encontraram diferenças para macroporosidade entre sistemas de rotação.

Foram constatadas diferenças de macroporosidade entre as camadas estudadas dos sistemas de rotação de culturas (Tabela 4). Isso indica que a macroporosidade está mais sujeita a mudanças impostas pelo manejo do que a microporosidade. A macroporosidade foi menor na

camada 10-15 cm. Resultados similares foram obtidos por Spera et al. (2002) com sistemas mistos de produção, no qual a macroporosidade foi menor na camada 10-15 cm. Para floresta, não houve diferença para macroporosidade entre as profundidades estudadas. Albuquerque et al. (1995) não encontraram diferenças entre as profundidades e entre os sistemas de rotação de culturas para macroporosidade.

Efeitos no rendimento de culturas

O aumento da densidade do solo e a redução da porosidade total podem ser considerados como indicadores de degradação estrutural e de presença de compactação; entretanto, maior densidade do solo e menor microporosidade na camada 0-5 cm do PD em comparação aos demais sistemas de manejo (Tabela 1) não estão afetando negativamente o rendimento de culturas. Trigo, soja e milho tenderam a apresentar maior rendimento de grãos sob manejos conservacionistas de solo (Tabela 5). Valores significativamente diferentes para rendimento ocorreram sob diferentes rotações de culturas (Tabela 6). Verifica-se que os maiores rendimentos de trigo e de milho foram obtidos em sistemas de rotação de culturas com duas safras sem milho e

Tabela 4 - Valores de microporosidade e de macroporosidade, nas camadas de solo 0-2 e 10-15 cm de profundidade, em três sucessões de culturas e em floresta subtropical (Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2004)

Sistema de rotação de culturas	Profundidade (cm)		
	0-2	10-15	0-2 x 10-15
	Microporosidade (m ³ m ⁻³)		Contraste entre profundidades (P > F)
Rotação I	0,39	0,41	ns
Rotação II	0,39	0,40	ns
Rotação III	0,39	0,40	*
FST	0,34	0,33	ns
	Contraste entre sistemas		
I x II	ns	ns	
I x III	ns	ns	
I x FST	**	**	
II x III	ns	ns	
II x FST	**	**	
III x FST	**	**	
	Macroporosidade (m ³ m ⁻³)		Contraste entre profundidades (P > F)
Rotação I	0,12	0,07	**
Rotação II	0,14	0,09	**
Rotação III	0,12	0,08	**
FST	0,33	0,29	ns
	Contraste entre sistemas		
I x II	ns	ns	
I x III	ns	ns	
I x FST	**	**	
II x III	ns	ns	
II x FST	**	**	
III x FST	**	**	

ns = não-significativo; = nível de significância de 5%; ** = nível de significância de 1%.

Sistemas de rotação de culturas: sucessão I: trigo/soja; sucessão II: trigo/soja e ervilhaca/milho; sucessão III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; FST: floresta subtropical.

Tabela 5 - Rendimento de grãos de culturas (ou biomassa seca) em diferentes sistemas de manejo de solo (Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2004)

Sistema de manejo de solo	Cultura de inverno (safra 2000)			Cultura de verão (safra 2000/2001)		
	Trigo	Aveia branca	Ervilhaca*	Soja	Milho	Sorgo
PD	2.565a	3.791 ^{ns}	2.702 ^{ns}	3.536a	9.886a	7.235 ^{ns}
PCD	2.354bc	3.818	2.873	3.250ab	7.551b	6.490
PCA	2.282c	3.861	2.655	2.948b	7.384b	6.580
CM	2.543ab	3.739	3.357	3.560a	9.197a	7.230
C.V. (%)	13,9	7,1	14,2	11,6	8,6	6,8

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan (5%). *Kg ha⁻¹ de biomassa seca.

Tabela 6 - Rendimento de grãos de culturas em diferentes sistemas de rotação de culturas (Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2004)

Sistemas de rotação de culturas	Trigo	Soja	Milho
Sistema I (trigo/soja em monocultura)	1.612c	3.036b	-
Sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho)	1.817b	3.421a	8.176b
Sistema III (trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja)	2.014a	3.424a	8.733a
C.V. (%)	13,9	11,6	8,6

trigo. Derpsch et al. (1986) verificaram maior densidade do solo em plantio direto em comparação com cultivo mínimo e preparo convencional de solo; porém, os rendimentos de trigo e soja obtidos foram maiores sob plantio direto. Assim, concluíram que o não-revolvimento do solo, combinado com a rotação de culturas é eficiente na redução dos efeitos da compactação de solos.

A densidade do solo ainda tem sido o atributo mais usado para avaliação de compactação de solos em ensaios sobre manejo de solo, mas, por ser uma medida estática, não é sensível para detectar a condição física do solo. Normalmente esse parâmetro é afetado por uma combinação tanto de fatores de ponderação desconhecida quanto de natureza mecânica, biológica, física e química, além de oferecer valor único para diferentes condições estruturais do solo (McGARRY et al., 2000). Assim, fatores de outra natureza podem estar afetando mais o rendimento de culturas do que os atributos físicos.

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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 19, n. 1, p. 115-119, 1995.

_____.; 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*, Viçosa, 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 do Solo*, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 857-865, 2000.

ANJOS, J. T.; UBERTI, A. A. A.; VIZZOTTO, V. J.; LEITE, G. B.; KRIEGER, M. Propriedades Físicas em Solos sob Diferentes Sistemas de Uso e Manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.18, n. 1, p. 139-145, 1994.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZONDAN JUNIOR, W. A. Propriedades Físicas do Solo sob Preparo

Conclusões

O sistema plantio direto apresentou maior densidade de solo que os demais sistema de manejo e que a floresta na camada superficial.

O solo sob floresta apresentou maiores porosidade total e macroporosidade e menores densidade do solo e microporosidade que os sistemas de manejo de solo e os sistemas de rotação de culturas.

A densidade de solo foi menor na camada 0-5 cm do que na camada 10-15 cm na maioria dos sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, enquanto para a porosidade total e macroporosidade ocorreu o inverso.

A densidade do solo sob rotação de culturas foi menor que sob monocultura trigo/soja (Sistema I), indicando efeito benéfico dessa prática agrícola sobre a estrutura de solo.

O PD, apesar de apresentar maior densidade do solo que os demais sistemas de manejo na camada superficial, não induziu redução no rendimento de grãos.

Convencional e Semeadura Direta em Rotação e Sucessão de Culturas, Comparadas às do Campo Nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 1, p.155-163, 2004.

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 do Solo*, Campinas, v. 21, n. 2, p. 241-247, 1997.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; FRANCO, A. A. Adubação Verde: Parâmetros para Avaliação de sua Eficiência. In: CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. *Manejo Integrado de Solos em Microbacias Hidrográficas*. Londrina: IAPAR, 1996. p. 225-242.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. *Controle da Erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de Cobertura do Solo, Plantio Direto e Preparo Conservacionista do Solo*. Eschborn: GTZ, 1991. 272 p.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. Results of Studies Made from 1977 to 1984 to Control Erosion by Cover Crops and No-Tillage Techniques in Paraná, Brazil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 253-263, 1986.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 2. ed. Brasília, 1997. 212 p. EMBRAPA CNPS. Documentos, 1.
- FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA - FEBRAPDP. Expansão da área Cultivada em Plantio Direto no Brasil. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/pd_area_estados.htm>. Acesso em: 20 ago. 2003.
- KLUTHCOUSKI, J. **Efeito do Manejo em alguns Atributos de um Latossolo Roxo sob Cerrado e nas Características Produtivas do Milho, Soja, Arroz e Feijão após Oito Anos de Plantio Direto**. Piracicaba: ESALQ, 1998. 180p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. **É necessária a Descontinuidade do Sistema Plantio Direto após Dez anos de Adoção?** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 10 p. Comunicado Técnico Online, 43. Disponível em: <www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co43.htm>. Acesso em: 19 set. 2003.
- McGARRY, D.; BRIDGE, B. J.; RADFORD, B. J. Constrasting soil Physical Properties after Zero and Traditional Tillage of an Alluvial Soil in the Semi-Arid Tropics. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 1, p.105-115, 2000.
- REEVES, D. W. Soil Management under No-Tillage: Soil Physical Aspects. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., Passo Fundo, 1995. **Resumos...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1995. p. 127-130.
- REINERT, D. J. **Recuperação da Agregação pelo Uso de Leguminosas e Gramínea em Solo Podzólico Vermelho-Amarelo**. Santa Maria: UFSM, 1993. 62 p.
- RESENDE, P. C. S. **Resistência Mecânica e sua Variação com a Umidade e com a Densidade do Solo em Latossolo Vermelho-Escuro do Cerrado**. Botucatu: UNESP, 1995. 64 p. Dissertação (Mestrado em Solos) – Faculdade de Ciências Agrárias.
- SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Disponibilidade de Nutrientes e Teor de Matéria Orgânica em Função de Sistemas de Cultivo e de Manejo do Solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 477-486, 2003.
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de Sistemas de Produção de Grãos Envolvendo Pastagens sob Plantio Direto nos Atributos Físicos de Solo. In: Embrapa Trigo. **Soja: Resultados de Pesquisa 2001/2002 e 2002/2003**. Passo Fundo, 2003. p.235-248. Embrapa Trigo. Documentos, 39. Trabalho apresentado na 30. Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul, Cruz Alta, RS, 2002.
- _____; _____.; LLAMBY, J.C.B.; SPERA, M.R.N. Efeito de Sistemas de Rotação de Culturas sobre a Densidade e Porosidade do Solo em Plantio Direto, em Passo Fundo, RS. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2000, Pelotas. **Resumos Expandidos...** Pelotas: SBCS, NRS, 2000. p. 300-308. CD-ROM.
- 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**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 395-401, 2001.
- STEEL, G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and Procedures of Statistics: a Biometrical Approach**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 633 p.
- STRECK, E. V. ; KÄMPF, N. ; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E. ; NASCIMENTO, P. C. ; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 126 p.
- 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 do Solo**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 105-111, 1991.