

Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo

Nutrient availability and organic matter content as affected by croppings systems and soil management

Henrique Pereira dos Santos¹ Gilberto Omar Tomm²

RESUMO

Sistemas de cultivo e de manejo de solo podem alterar as propriedades químicas do solo. Após oito anos (1985 a 1993), a fertilidade do solo foi avaliada, num Latossolo Vermelho Distrófico típico, em Passo Fundo, RS, em quatro sistemas de manejo do solo: 1) semeadura direta (SD); 2) cultivo mínimo (CM); 3) preparo convencional do solo com arado e grade de discos (PCD); e 4) preparo convencional do solo com arado de aivecas e grade de discos (PCA), e em três sistemas de cultivo: 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. A parcela principal (4 x 90m) foi constituída pelos sistemas de manejo do solo e a subparcelas (4 x 10m), pelos sistemas de cultivo. Os valores de pH, Al, Ca + Mg trocáveis, matéria orgânica (MO), P extraível e K disponível diferiram entre os sistemas de manejo e de cultivo do solo. Os teores de MO, P e K, na camada 0-5cm, foram mais elevados nos sistemas conservacionistas (CM e SD) em relação àqueles observados nos preparos convencionais do solo (PCD e PCA). Os valores de MO, P e K foram mais elevados na camada 0-5 cm, quando comparada com a observada de 15 a 20cm de profundidade, em todos os sistemas de manejo e cultivo do solo.

Palavras-chave: rotação de culturas, fertilidade do solo, preparo convencional de solo, cultivo mínimo, semeadura direta.

ABSTRACT

Cropping systems and soil management can change soil chemical properties. Soil fertility characteristics were assessed after eight years (1985 to 1993) on a typical dystrophic red latosol located in Passo Fundo, State of Rio Grande do Sul, Brazil. Four soil management systems – 1) no-tillage, 2) minimum tillage, 3) conventional tillage using a disk plow plus disk harrow, and 4) conventional tillage using a moldboard plow plus disk harrow – and three cropping systems [I (wheat/soybean), II (wheat/soybean and common vetch/corn), and III (wheat/soybean, common vetch/corn and white oat/soybean)] were evaluated. A randomized complete block design, with split-plots and three replicates, was used. The main field plots (4 x 90m) were formed by soil management systems, while the subplots (4 x 10m) consisted of crop systems. The pH and concentration of exchangeable Al, exchangeable Ca + Mg, soil organic matter, extractable P, and exchangeable K were affected by soil management and cropping systems. Higher contents of soil organic matter, extractable P, and exchangeable K were observed in the 0-5cm layer for the conservation tillage systems (minimum tillage and no-tillage), as compared to the conventional tillage systems (disk plow and moldboard plow). The values of soil organic matter, P, and K were higher in the 0-5 cm layer, when compared to the ones observed in the 15-20cm layer, in all soil management and cropping systems.

Key words: crop rotation, soil fertility, conventional tillage, minimum tillage, no-tillage system.

¹Engenheiro Agrônomo, Doutor, Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, CP 451, 99001-970, Passo Fundo (RS). Bolsista CNPq PQ. E.mail:hpsantos@cnpt.embrapa.br. Autor para correspondência.

² Engenheiro Agrônomo, PhD., Embrapa-CNPT.

INTRODUÇÃO

A semeadura direta (SD) tornou-se uma realidade nas lavouras no Sul do Brasil. O emprego desse sistema, após alguns anos, causa uma série de modificações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, em relação ao preparo convencional de solo com arado de discos (PCD) (MUZILLI, 1985). Com base nessas mudanças, WIELTHÖTER et al. (1998) sugerem alterações nas recomendações de P e K em consonância com as vantagens que o sistema apresenta.

A comparação das propriedades químicas entre SD e PCD tem sido relatada em vários trabalhos de longa duração sem rotação de culturas (RHEINHEIMER et al., 1998; DE MARIA et al. (1999); SCHLINDWEIN & ANGHINONI, 2000; SILVEIRA & STONE, 2001). Porém, existem poucos trabalhos de longa duração comparando SD e PCD sob sistemas de rotação de culturas (MUZILLI, 1985; SIDIRAS & PAVAN, 1985; SANTOS et al., 1995, SALET, 1998). Além disso, estudos comparando outros sistemas de manejo de solo, além da SD e PCD, no que se refere às propriedades químicas, são relativamente escassos.

Na SD sob rotação de culturas, tem sido registrado maiores valores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na camada superficial do solo, em relação às camadas mais profundas (SIDIRAS & PAVAN, 1985; SÁ, 1993; DE MARIA et al., 1999; SILVEIRA & STONE, 2001). Por outro lado, também na camada superficial, tem sido observada acidificação do solo em SD (ECKERT, 1991; PAIVA, et al., 1996; SALET, 1994). A localização dos corretivos e fertilizantes na superfície do solo, sem a incorporação física, durante a aplicação, pode alterar a distribuição de nutrientes no perfil do solo na SD, influenciando sua disponibilidade e aproveitamento pelas plantas (KOCHHANN & SELLES, 1991). A distribuição de nutrientes no perfil do solo na SD também é afetada pela ausência do preparo e pela deposição na superfície dos nutrientes reciclados pelas plantas.

O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito dos sistemas de manejo e de cultivo do solo na fertilidade do solo, após oito anos de cultivo, em Passo Fundo, RS.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área na Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT), município de Passo Fundo, RS, no período de 1985 a 1993, em Latossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 1999). Na área experimental, antes da

instalação do experimento, foram conduzidas lavouras de trigo, no inverno, e de soja, no verão, com preparo convencional de solo, desde 1975.

Os tratamentos foram constituídos por quatro sistemas de manejo do solo – 1) semeadura direta (SD), 2) preparo de solo com implemento de hastes para cultivo mínimo - escarificador (CM), 3) preparo convencional do solo com arado de discos mais grade de discos (PCD) e 4) preparo convencional do solo com arado de aivecas mais grade de discos (PCA) – e por três sistemas de cultivo: 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 usado foi blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e três repetições. A parcela principal foi constituída pelo sistemas de manejo do solo e, a subparcela, pelo sistema de cultivo. A parcela principal mediu 360m² (4m de largura por 90m de comprimento) e, a subparcela, 40m² (4m de largura por 10m de comprimento).

Em novembro de 1985, antes da semeadura das culturas de inverno, para instalação do experimento, a camada de solo de 0-20cm foi amostrada, e os resultados das análises foram: pH em água = 4,8; Al trocável = 12,0mmol_c dm⁻³; Ca + Mg trocáveis = 49,0mmol_c dm⁻³; matéria orgânica = 34,0g kg⁻¹; P extraível = 23,0mg kg⁻¹; e K disponível = 104 mg kg⁻¹. O solo foi descompactado por meio de escarificador com haste rígida (Jumbo) e submetido à correção de acidez com 7,0t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 90 %), visando elevar o pH em água a 6,0. O calcário foi aplicado em duas vezes: metade antes da aração (arado de discos) e metade antecedendo a gradagem (grade niveladora de discos). A adubação de manutenção foi baseada na média dos valores observados nas análises químicas da área experimental.

Em novembro de 1993, após a colheita ou manejo das culturas de inverno, foram coletadas amostras de solo compostas (quatro subamostras por parcela), nas profundidades 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20cm. As análises (pH em água, P, K, matéria orgânica, Al e Ca + Mg) seguiram a metodologia descrita por TEDESCO et al. (1985). A análise de Al foi realizada via extração em solução de KCl 1mol L⁻¹ e titulação com solução NaOH 0,025; a análise de Ca + Mg foi realizada com o mesmo extrator e determinado por espectrofotometria de absorção atômica; a matéria orgânica foi determinada por combustão úmida e; P e K foram determinados pelo método Mehlich-1.

Os sistemas de manejo de solo e os sistemas de cultivo foram comparados para cada atributo de fertilidade do solo, numa determinada profundidade de amostragem. As profundidades de amostragem do

solo foram comparadas dentro de um mesmo sistema de manejo ou de sistema de cultivo. Todas as comparações foram realizadas por meio de contrastes com um grau de liberdade (STEEL & TORRIE, 1980). A significância dos contrastes foi dada pelo teste F, levando-se em conta o desdobramento dos graus de liberdade do erro. Para estimar o efeito entre os parâmetros estudados nos sistemas de manejo, aplicou-se a análise de correção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As interações entre sistemas de cultivo e de manejo de solo, foram altamente significativas para os elementos químicos e matéria orgânica, em grande parte devido ao número elevado de graus de liberdade (287). Em razão disso, a discussão dessas interações demandariam dezenas de páginas e não acrescentariam nenhuma novidade científica, por tratar-se daquelas interações conhecidas, tais como Ca + Mg *versus* pH; P *versus* pH, etc.. Com relação aos valores de CTC, não foi possível calcular tais dados, porque na época o Laboratório de Solos da Embrapa Trigo não determinava H⁺. Também, não foi possível, expressar os resultados da matéria orgânica baseada em massa/volume, porque na época de obtenção de tais dados, não foi avaliada a densidade do solo.

Sistemas de manejo do solo

O pH do solo foi maior em novembro de 1993 (5,32 a 5,55), em todas as profundidades, do que antes da instalação do experimento (1985: 4,8), na camada 0-20 cm (Tabela 1). Isso evidencia o efeito residual das 7,0t ha⁻¹ de calcário aplicados. Entre todos os sistemas de manejo do solo, observaram-se diferenças quanto ao valor de pH em cada uma das profundidades de amostragem (Tabela 1). O preparo convencional do solo com arado de discos (PCD) e o cultivo mínimo (CM), apresentaram valores maiores de pH na camada 0-5cm do que a semeadura direta (SD) e o preparo convencional do solo com arado de aivecas (PCA). Nas camadas 5-10 e 10-15cm, também verificaram-se valores de pH superiores no PCD (5,57 a 5,56), em relação ao SD (5,32 a 5,34), PCA (5,39 a 5,36) e CM (5,45 a 5,47). SILVEIRA & STONE (2001), trabalhando com sistemas de manejo do solo, em Latossolo Vermelho perférrico, durante cinco anos, observaram que preparo convencional do solo com somente arado de aivecas (5,56 e 5,55) e PCA (5,50 e 5,47) apresentaram valores de pH mais elevados. Contudo este último tratamento foi igual ao preparo convencional do solo com grade aradora para os valores de pH (5,45 e 5,46) e a SD (5,44 e 5,45), nas camadas

0-10 e 10-20cm. No estudo realizado por SANTOS et al. (1995), com sistemas de manejo do solo, em Latossolo Vermelho Distrófico típico, durante três anos, encontraram diferenças para o valor de pH somente para uma rotação de culturas (aveia branca/soja, cevada/soja e ervilhaca/milho): PCD (5,73 e 5,63) foi superior ao SD (5,40 e 5,40), nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm, respectivamente. Não foi constatada acidificação nas camadas superficiais do solo sob SD. MATOWO et al. (1999), trabalhando com sistemas de manejo do solo, não encontraram diferenças para pH, nas camadas 0-2,5, 2,5-5, 5-7,5, 7,5-10, 10-12,5, 12,5-15 e 15-20cm, entre o CM e SD. Em trabalhos com rotação de culturas envolvendo trigo e cevada, sob SD, em Latossolo Bruno álico, durante 4,5 anos, foi verificada acidificação do solo na camada 0-5cm (SANTOS & SIQUEIRA, 1996; SANTOS & TOMM, 1996). Não houve diferenças entre os sistemas de manejo do solo para os valores de pH, em relação às profundidades avaliadas (Tabela 1). SIDIRAS & PAVAN (1985), estudando três sistemas de manejo do solo, em Latossolo Roxo distrófico e Terra Roxa Estruturada, após quatro anos, verificaram que o valor de pH diminuiu da superfície (0-10cm) para subsuperfície (10-20cm). Observa-se que houve distribuição vertical uniforme de calcário, pois os valores de pH são semelhantes em todas as camadas de amostragem do solo. A aplicação de calcário manteve os valores de pH em nível próximo do desejado para esse tipo de solo (SOCIEDADE, 1995).

O valor de Al trocável do solo (Tabela 1), em todos os sistemas de manejo e profundidades, foi menor em 1993 (0,19 a 0,53mmol_c dm⁻³) do que em 1985 (12,0mmol_c dm⁻³), por ocasião da instalação do experimento. Este comportamento foi decorrente dos efeitos da calagem na elevação do pH e na neutralização desse elemento. Houve diferença entre o valor de Al do solo, em todos os sistemas de manejo, para algumas profundidades avaliadas. Na camada 0-5cm, o PCA apresentou valor maior de Al do que o SD, PCD e CM. A provável complexação desse elemento químico pelos compostos orgânicos, gerados no processo de decomposição dos resíduos vegetais (SALET, 1994), provavelmente, contribuiu na SD para o menor valor de Al, na camada mais superficial do solo. Nessa camada, o teor de Al (Tabela 1) correlacionou-se negativamente com pH (r: 0,80) e com a matéria orgânica (r: 0,21), todos em nível de significância de 1 % (Tabela 2), porém, o Al diminuiu com o aumento da pH do solo. Neste caso, o Al tem menor efeito tóxico na SD, em relação ao PCD, devido aos ligantes orgânicos. Nas camadas 5-10 e 10-15cm, a SD (0,40 a 0,46mmol_c dm⁻³) e PCA (0,42 a 0,46mmol_c dm⁻³) foram superiores ao PCD (0,23 e 0,23mmol_c dm⁻³) para o valor de Al. Além disso,

Tabela 1 - Valores de pH em água, alumínio e cálcio + magnésio trocáveis, avaliados após as culturas de inverno de 1993, em quatro camadas e diferentes sistemas de manejo do solo

Sistema de manejo do solo					0-5	0-5	0-5	5-10	5-10	10-15
	0-5	5-10	10-15	15-20	x	x	x	x	x	x
					5-10	10-15	15-20	10-15	15-20	15-20
pH (1:1)					Contrastes entre profundidades (P > F)					
SD	5,43	5,32	5,34	5,33	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PCD	5,57	5,57	5,56	5,45	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PCA	5,37	5,39	5,36	5,32	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CM	5,55	5,45	5,47	5,45	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Contrastes entre manejos										
SD x PCD	**	**	*	ns						
SD x PCA	ns	ns	ns	ns						
SD x CM	*	ns	ns	ns						
PCD x PCA	**	**	**	ns						
PCD x CM	ns	**	*	ns						
PCA x CM	**	ns	ns	ns						
Al (mmol _c dm ⁻³)					Contrastes entre profundidades (P > F)					
SD	0,25	0,40	0,46	0,53	ns	ns	*	ns	ns	ns
PCD	0,28	0,23	0,23	0,40	ns	ns	*	ns	**	**
PCA	0,44	0,42	0,46	0,54	ns	ns	ns	ns	*	ns
CM	0,19	0,28	0,26	0,38	ns	ns	*	ns	ns	ns
Contrastes entre manejos										
SD x PCD	ns	*	*	ns						
SD x PCA	**	ns	ns	ns						
SD x CM	ns	ns	ns	ns						
PCD x PCA	**	**	**	ns						
PCD x CM	ns	ns	ns	ns						
PCA x CM	**	ns	**	ns						
Ca + Mg (mmol _c dm ⁻³)					Contrastes entre profundidades (P > F)					
SD	71,34	67,82	66,97	65,44	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PCD	68,67	71,73	72,31	66,77	ns	ns	ns	ns	*	*
PCA	63,00	62,16	61,40	60,99	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CM	72,96	70,32	72,71	69,29	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Contrastes entre manejos										
SD x PCD	ns	ns	ns	ns						
SD x PCA	**	*	*	ns						
SD x CM	ns	ns	ns	ns						
PCD x PCA	**	**	**	ns						
PCD x CM	ns	ns	ns	ns						
PCA x CM	**	*	**	ns						

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

SD: semeadura direta; PCD: preparo convencional do solo com arado de discos; PCA: preparo do solo com arado de aivecas; e CM: cultivo mínimo.

o PCA mostrou valor maior de Al, em relação ao CM (0,26mmol_c dm⁻³), na camada 10-15cm. Deve ser levado em consideração que esses valores de Al no solo são relativamente baixos. No ponto de vista prático, a SD tem por objetivo aumentar a matéria orgânica do solo, de maneira a aumentar o estoque de N e beneficiar a estrutura física do solo em termos de densidade, uma vez que um solo com adequada estruturação física facilita as operações de semeadura e evita o

aparecimento de fatores físicos que prejudiquem o desenvolvimento das plantas. SANTOS et al. (1995), trabalhando com dois sistemas de manejo do solo, em Latossolo Vermelho Distrófico típico, durante três anos, observaram diferenças para o valor de Al, em duas rotações de culturas (cevada/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; e ervilhaca/milho, aveia branca/soja e cevada/soja): PCD (1,2 e 1,8mmol_c dm⁻³) foi superior ao SD (0,0 e 0,0mmol_c dm⁻³), na camada 0-5cm,

Tabela 2 - Valores de matéria orgânica, fósforo extraível e potássio trocável, avaliados após as culturas de inverno de 1993, em quatro camadas e diferentes sistemas de manejo do solo

Sistema de manejo do solo	Profundidade									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5	0-5	0-5	5-10	5-10	10-15
					x	x	x	x	x	x
					5-10	10-15	15-20	10-15	15-20	15-20
	Matéria orgânica (g kg ⁻¹)				Contrastes entre profundidades (P > F)					
SD	38	30	28	28	**	**	**	ns	*	ns
PCD	31	31	29	27	ns	ns	**	ns	**	**
PCA	29	30	29	27	ns	ns	**	ns	**	**
CM	36	32	28	27	**	**	**	**	**	*
	Contrastes entre manejos									
SD x PCD	**	ns	ns	ns						
SD x PCA	**	ns	ns	ns						
SD x CM	ns	**	ns	ns						
PCD x PCA	ns	ns	ns	ns						
PCD x CM	**	**	ns	ns						
PCA x CM	**	**	ns	ns						
	P (mg kg ⁻¹)				Contrastes entre profundidades (P > F)					
SD	34,5	18,8	12,2	7,9	**	**	**	**	*	ns
PCD	17,7	17,1	13,9	8,2	ns	*	**	*	**	**
PCA	13,5	11,9	9,3	8,9	ns	*	*	ns	ns	ns
CM	28,0	21,9	12,5	7,7	*	**	**	**	*	ns
	Contrastes entre manejos									
SD x PCD	**	ns	ns	ns						
SD x PCA	**	**	ns	ns						
SD x CM	ns	ns	ns	ns						
PCD x PCA	ns	*	*	ns						
PCD x CM	**	*	ns	ns						
PCA x CM	**	**	ns	ns						
	K (mg kg ⁻¹)				Contrastes entre profundidades (P > F)					
SD	277	178	134	97	**	**	**	**	**	**
PCD	211	158	132	91	**	**	**	ns	**	**
PCA	217	165	135	98	**	**	**	**	**	**
CM	277	197	139	97	**	**	**	**	**	**
	Contrastes entre manejos									
SD x PCD	**	ns	ns	ns						
SD x PCA	**	ns	ns	ns						
SD x CM	ns	ns	ns	ns						
PCD x PCA	ns	ns	ns	ns						
PCD x CM	**	*	ns	ns						
PCA x CM	**	*	ns	ns						

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

SD: semeadura direta; PCD: preparo convencional do solo com arado de discos; PCA: preparo do solo com arado de aivecas; e CM: cultivo mínimo.

respectivamente. Estudo realizado por SILVEIRA & STONE (2001), com sistemas de manejo do solo, em Latossolo Vermelho perférrico, durante cinco anos, verificaram que os valores de Al na SD (2,4 mmol_c dm⁻³), no preparo convencional do solo com grade aradora (1,9 mmol_c dm⁻³) e no PCA (1,9 mmol_c dm⁻³) foram mais elevados. Todavia, os dois últimos tratamentos foram semelhantes estatisticamente ao preparo convencional do solo com somente arado de aivecas (1,5 mmol_c dm⁻³),

na camada 0-10cm. Em todos os sistemas de manejo do solo foram verificadas diferenças quanto ao valor de Al, em algumas profundidades. Todavia, o PCA não diferiu entre profundidades quanto a esse elemento. O valor de Al aumentou da camada 0-5cm para 15-20cm na SD (0,25 a 0,53 mmol_c dm⁻³), PCD (0,28 a 0,40 mmol_c dm⁻³) e CM (0,19 a 0,38 mmol_c dm⁻³). SIDIRAS & PAVAN (1985), trabalhando com dois sistemas de manejo do solo (PCD e SD), em Latossolo Roxo distrófico e Terra

Roxa Estruturada, durante cinco anos, verificaram que o Al aumentou (3 e 6 %) da camada 0-10 cm para camada 10-20cm (4 e 7 %), em ambos os tipos de solo, respectivamente, enquanto SANTOS et al. (1995), estudando dois sistemas de manejo do solo (SD e PCD) em Latossolo Vermelho Distrófico típico, durante três anos, não encontraram diferenças significativas no valor de Al entre as camadas estudadas. O Al seguiu a mesma tendência verificada para o pH, ou seja, menor na camada 0-5 cm, na maioria dos sistemas de manejo do solo.

Os valores de Ca + Mg trocáveis do solo (Tabela 1), em todas as camadas, são considerados altos para o crescimento e desenvolvimento das culturas da região (SOCIEDADE, 1995). A aplicação de calcário dolomítico, por ocasião da instalação do experimento, forneceu grandes quantidades de Ca e Mg, fazendo com que os teores críticos desses elementos, exigidos pelas culturas (SOCIEDADE, 1995), fossem ultrapassados, em todas as camadas, superando os teores medidos antes do início do experimento. SANTOS et al. (1995), trabalhando com dois sistemas de manejo do solo (SD e PCD), em Latossolo Vermelho Distrófico típico, durante três anos, obtiveram teores de Ca + Mg trocáveis do solo (82,5 a 104,7mmol_c dm⁻³), na camada 0-5cm, mais elevados do que os teores iniciais antes do início do experimento (56,8 a 77,7mmol_c dm⁻³), na camada 0-20cm. Todos os sistemas de manejo do solo diferiram entre si quanto aos teores de Ca + Mg (Tabela 1), na maioria das profundidades. Nas camadas 0-5 a 10-15cm, a SD (71,34 a 66,97mmol_c dm⁻³), PCD (68,67 a 72,31mmol_c dm⁻³) e CM (72,96 a 72,71mmol_c dm⁻³) apresentaram valores maiores desses elementos, em relação ao PCA (63,00 a 61,40mmol_c dm⁻³). Isso pode ser reflexo do maior revolvimento do solo no PCA, em comparação aos demais. MATOWO et al. (1999), trabalhando com sistemas de manejo, não encontraram diferenças significativas entre SD e CM, para os teores de Ca + Mg do solo.

Em todos os sistemas de manejo do solo, não foram observadas diferenças, na camada de 15-20 cm, para os valores de pH, Al e Ca + Mg. Isso pode ser reflexo da uniformidade da aplicação do calcário, por ocasião da instalação do experimento. Ressalva-se que somente o PCD apresentou diferenças nos valores de Ca + Mg trocáveis, tendo sido menores na camada 15-20cm do que nas camadas 5-10 e 10-15cm (Tabela 1). A diferença entre os valores desses parâmetros estudados, nas camadas de 0-5 a 10-15cm, pode estar relacionada com a diferença na distribuição dos sistemas radiculares das espécies componentes dos sistemas.

O teor de matéria orgânica do solo verificado na camada 0-5cm (Tabela 2), na SD (38g kg⁻¹) e CM (36g kg⁻¹), foi superior ao da camada 0-20cm (34g kg⁻¹) por ocasião da instalação do experimento, indicando que os sistemas de manejo conservacionistas do solo podem contribuir para o aumento do teor de matéria orgânica e, conseqüentemente, da fertilidade do solo. Nos primeiros anos de adoção desses sistemas, observa-se tendência à elevação dos níveis de matéria orgânica nas camadas próximas à superfície do solo. Esses sistemas apresentam maior nível de matéria orgânica superficial e, como conseqüência, maior concentração de substâncias húmicas solúveis (SALET, 1994). De acordo com WIETHÖLTER (2000), o aumento do teor de matéria orgânica do solo, deverá também aumentar o teor de N do solo, uma vez que o teor de N da matéria orgânica vegetal é relativamente constante (5 %). Em duas das quatro profundidades estudadas, houve diferenças entre as médias dos sistemas de manejo para o nível de matéria orgânica do solo (Tabela 2). Na camada 0-5cm, o SD e CM mostraram teor de matéria orgânica maior do que o PCD e PCA. Na camada 5-10cm, o CM foi superior à PCD e PCA, quanto ao teor de matéria orgânica. Esse resultado sugere que os sistemas de manejo conservacionistas do solo contribuem para a manutenção da matéria orgânica na superfície e, após vários anos, provavelmente para o aumento da capacidade de suprimento de nitrogênio do solo, nutriente mais limitante ao rendimento da maioria das gramíneas. EHLERS & CLAUPEIN (1994), observaram que, nos anos iniciais de SD, era necessário aplicar 80kg N ha⁻¹ para atingir o mesmo rendimento de grãos de aveia obtido no PCD, tornando, portanto, menos eficiente a adubação nitrogenada. Posteriormente, os rendimentos de grãos de trigo, para várias doses de N, foram equivalentes nos dois sistemas, evidenciando que a demanda maior de N no início na SD tende a desaparecer, uma vez atingindo um novo equilíbrio na taxa de mineralização de N. SANTOS et al. (1995) estudando sistemas de manejo do solo, em Latossolo Vermelho Distrófico típico, durante três anos, verificaram teor de matéria orgânica do solo maior na SD (31 a 35g kg⁻¹), em relação ao PCD (27 a 28g kg⁻¹), na camada 0-5cm. DE MARIA et al. (1999), trabalhando com sistemas de manejo do solo, em Rhodic Ferralsol, durante nove anos, observaram teor de matéria orgânica superior na SD (43g kg⁻¹), em comparação ao CM (40g kg⁻¹) e PCD (38g kg⁻¹), na camada 0-5cm. Houve diferenças no teor de matéria orgânica entre as profundidades e sistemas de manejo do solo (Tabela 2), decrescendo progressivamente da camada 0-5cm (29-38g kg⁻¹) para 15-20cm (27-28g kg⁻¹). Tendência semelhante foi observada por SÁ (1993),

com redução de 53 para 35g kg⁻¹ e por SANTOS et al. (1995), com redução variando de 27-33 para 23-25g kg⁻¹. A manutenção do teor de matéria orgânica em valores mais elevados na camada superficial do solo, principalmente nos sistemas conservacionistas, decorre do acúmulo de resíduos vegetais sobre a superfície sob SD, pela ausência de incorporação física através do revolvimento do solo, praticado no PCD, o que diminui a taxa de mineralização, na SD.

Os teores de P extraível do solo, nas três primeiras camadas (0-5, 5-10 e 10-15cm: 13,5-34,5mg kg⁻¹ a 9,3-13,9mg kg⁻¹), foram superiores ao valor considerado crítico nesse tipo de solo (9,0mg kg⁻¹) para o crescimento e desenvolvimento das culturas (REUNIÃO, 1999) (Tabela 2). Por outro lado, o teor de P na SD (34,5mg kg⁻¹) e CM (28,0mg kg⁻¹), na camada 0-5cm, foi mais elevado do que o teor verificado antes do início do experimento, na camada 0-20cm (23,0mg kg⁻¹), devido à aplicação superficial deste nutriente. Entre os sistemas de manejo do solo, houve diferenças no teor de P na maioria das profundidades estudadas (Tabela 2). Na camada 0-5cm, o SD e CM foram superiores ao PCD e PCA, para o valor de P. Resultados semelhantes foram obtidos por SANTOS et al. (1995) na comparação do SD (26 a 39mg kg⁻¹) com PCD (17 a 18mg kg⁻¹), DE MARIA et al. (1999) na relação do SD (35mg kg⁻¹) com CM (28mg kg⁻¹) e PCD (28mg kg⁻¹) e MATOWO et al. (1999) comparando SD (60 a 88mg kg⁻¹) com CM (47 a 55mg kg⁻¹), na camada 0-5cm. Na camada 5-10cm, o CM foi superior ao PCD e PCA para os teores de P, enquanto a SD e PCD apresentaram valores superiores ao PCA. O acúmulo de P nos sistemas de manejo conservacionistas decorre do pouco revolvimento do solo por ocasião da incorporação de sementes, de fertilizantes e da baixa mobilidade desse nutriente no solo (WIETHÖLTER, 2000). Os sistemas de manejo do solo diferiram quanto ao teor de P, em todas as profundidades, diminuindo da camada 0-5cm para a camada 15-20cm (Tabela 2). Esse comportamento foi mais evidente na SD (34,5 para 7,9mg kg⁻¹) e CM (28,0 para 7,7mg kg⁻¹) do que no PCD (17,7 para 8,2mg kg⁻¹) e PCA (13,5 para 8,9mg kg⁻¹), determinando diferenças de 3,6 a 4,3 vezes superior, nos teores de P extraídos na camada de 0-5cm, em relação à camada 15-20cm. Dados similares foram registrados para acúmulo de P em SD, na camada 0-5cm, em relação à camada 15-20cm, com 36 *versus* 28mg kg⁻¹ (DE MARIA et al., 1999) e com 88 *versus* 15mg kg⁻¹ (MATOWO et al., 1999). Segundo SIDIRAS & PAVAN (1985), o acúmulo de P próximo à superfície do solo decorre das aplicações anuais de fertilizantes fosfatados, da liberação de P durante a decomposição dos resíduos vegetais e da menor fixação de P, devido ao menor contato desse elemento

com os constituintes inorgânicos do solo, uma vez que não há revolvimento de solo na SD. Parte dessas afirmações são válidas para o K disponível do solo (SIDIRAS & PAVAN, 1985).

O teor de K disponível (277 a 91mg kg⁻¹), em todas as camadas estudadas (Tabela 2), esteve acima do valor considerado crítico para o crescimento e desenvolvimento das culturas (80mg kg⁻¹) (REUNIÃO, 1999). Além disso, o teor de K observado nas três primeiras camadas de solo esteve acima do valor registrado antes da instalação do experimento (104mg kg⁻¹). O teor de K do solo diferiu entre os sistemas de manejo nas camadas 0-5 e 5-10cm. Na primeira camada, a SD e CM mostraram valores superiores ao PCD e PCA. Dados similares foram obtidos por DE MARIA et al. (1999) na comparação da SD (23mg kg⁻¹) e CM (22mg kg⁻¹) com o PCD (17mg kg⁻¹), na camada 0-5cm. Na segunda camada, o CM foi também superior ao PCD e PCA. Os sistemas de manejo do solo foram diferentes quanto ao teor de K, em todas as profundidades, diminuindo o seu valor da camada 0-5cm para em relação à camada mais profunda (15-20cm). Essa tendência foi mais evidente na SD (277 para 97mg kg⁻¹) e CM (277 para 97mg kg⁻¹) do que no PCD (211 para 91mg kg⁻¹) e PCA (217 para 98mg kg⁻¹), ou seja, 2,9 vezes superior nos teores de K, na camada 0-5cm, em comparação com a camada 15-20cm. Resultados semelhantes foram registrados por DE MARIA et al., (1999) (23 *versus* 19mg kg⁻¹). Nos sistemas conservacionistas, os fertilizantes à base de K são depositados na superfície ou na linha de semeadura e, além disso, os resíduos vegetais são deixados na superfície, o que faz com que esse elemento se acumule nas camadas mais superficiais do solo. Os resultados observados, indicam que poderá haver redução na quantidade de fertilizantes a base de P e K, aplicados na semeadura direta.

Sistemas de cultivo do solo

Não houve diferenças entre os valores de pH, Al trocável, Ca + Mg trocáveis e matéria orgânica, nos diferentes sistemas de cultivo do solo (Tabelas 3 e 4). Isso indica que as espécies componentes dos sistemas não alteraram a fertilidade do solo para esses elementos. No entanto, a monocultura trigo/soja (sistema I), na profundidade de 5 a 10cm, mostrou maior teor de P extraível em relação ao sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho), e na camada 5 a 10cm, o teor de potássio disponível, foi maior no sistema I do que no sistema III (trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho) (Tabela 4). Além disso, o sistema I apresentou maiores valores de K do que os sistemas II e III, nas camadas de 10 a 15 e 15 a 20cm. Essa diferença entre os

Tabela 3 - Valores de pH em água, alumínio e de cálcio + magnésio trocáveis, avaliados após as culturas de inverno de 1993, em quatro camadas e diferentes sistemas de cultivo de solo

Sistema de cultivo	Profundidade									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5	0-5	0-5	5-10	5-10	10-15
					x	x	x	x	x	x
				5-10	10-15	15-20	10-15	15-20	15-20	15-20
pH (1:1)					Contrastes entre profundidades (P > F)					
I	5,44	5,47	5,47	5,42	ns	ns	ns	ns	ns	ns
II	5,59	5,47	5,44	5,40	ns	ns	ns	ns	ns	ns
III	5,49	5,40	5,42	5,37	ns	ns	**	ns	ns	ns
Contrastes entre cultivos										
I x II	ns	ns	ns	ns						
I x III	ns	ns	ns	ns						
II x III	ns	ns	ns	ns						
Al (mmol _c dm ⁻³)					Contrastes entre profundidades (P > F)					
I	0,33	0,30	0,34	0,43	ns	ns	ns	ns	ns	ns
II	0,29	0,33	0,38	0,45	ns	ns	*	ns	ns	ns
III	0,28	0,35	0,34	0,49	ns	ns	**	ns	**	**
Contrastes entre cultivos										
I x II	ns	ns	ns	ns						
I x III	ns	ns	ns	ns						
II x III	ns	ns	ns	ns						
Ca + Mg (mmol _c dm ⁻³)					Contrastes entre profundidades (P > F)					
I	66,19	69,37	67,81	65,73	ns	ns	ns	ns	ns	ns
II	68,51	67,67	68,39	65,96	ns	ns	ns	ns	ns	ns
III	70,25	67,79	68,50	65,37	ns	ns	*	ns	ns	ns
Contrastes entre cultivos										
I x II	ns	ns	ns	ns						
I x III	ns	ns	ns	ns						
II x III	ns	ns	ns	ns						

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

Sistema I: trigo/soja; sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho; e sistema III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

sistemas pode ser explicada, em parte, pela fato de a ervilhaca ser estabelecida como cultura de cobertura de solo e de adubação, sem adubação de manutenção. SANTOS & TOMM (1999), no estado do Paraná, durante cinco anos, observaram teores diferentes para o P extraível somente num sistema de rotação de culturas idêntico ao sistema I (trigo/soja), na camada 0 a 5 cm, sob SD, em comparação aos outros sistemas de rotação de culturas (trigo/soja e aveia branca/soja; trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; e trigo/soja, ervilhaca/milho, cevada/soja e aveia branca/soja). Neste caso, houve acúmulo de P do solo, na primeira camada estudada, em função da adubação de manutenção anual.

A maioria dos sistemas de cultivo avaliados diferiu quanto aos valores de pH, Al, Ca + Mg, matéria orgânica, P e K do solo entre as profundidades. No sistema III, os valores de pH e Ca + Mg trocáveis (Tabela 3) diminuíram da camada 0 a 5 cm (5,49 e 70,25mmol_c dm⁻³) para a camada 15 a 20cm (5,37 e 65,37mmol_c dm⁻³, respectivamente). Para o valor de

Al, nos sistemas II e III ocorreu o contrário, ou seja, aumentou da camada 0 a 5cm (0,28 e 0,29mmol_c dm⁻³) para a camada 15 a 20cm (0,45 e 0,49mmol_c dm⁻³, respectivamente). Os valores de pH, Al e Ca + Mg, refletem diferenças na distribuição de calcário na camada arável, em virtude dos sistemas de manejo do solo. Os valores de matéria orgânica, em todos os sistemas de cultivo, decresceram progressivamente da camada 0 a 5cm (34g kg⁻¹) para a camada 15 a 20 (27g kg⁻¹). SANTOS et al. (1995) e SANTOS & TOMM (1998, 1999), trabalhando com sistemas de rotação para cevada e trigo, durante quatro anos, sob semeadura direta, observaram os valores de matéria orgânica decrescerem progressivamente da camada 0-5 cm (35, 57 e 58g kg⁻¹) para a camada 15 a 20cm (23, 51 e 49g kg⁻¹), respectivamente. Da mesma forma, praticamente em todos os sistemas, os teores de P (26,6 para 7,3mg kg⁻¹) e K (249 para 87mg kg⁻¹) diminuíram da camada 0 a 5 cm para a camada 15 a 20cm. Os valores de matéria orgânica, P e K, refletem as diferenças do seu acúmulo na superfície da camada arável, em função dos distintos

Tabela 4 - Valores de matéria orgânica, fósforo extraível e potássio trocável, avaliados após as culturas de inverno de 1993, em quatro camadas e diferentes sistemas de cultivos do solo.

Sistema de cultivo	Profundidade (cm)									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5	0-5	0-5	5-10	5-10	10-15
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	0-5	5-10	10-15	15-20	5-10	10-15	15-20	10-15	15-20	15-20
	Matéria orgânica (g kg ⁻¹)				Contrastes entre profundidades (P > F)					
I	33	30	29	27	*	**	**	ns	**	*
II	33	30	29	27	**	**	**	*	**	*
III	34	31	29	27	**	**	**	*	**	*
	Contrastes entre cultivos									
I x II	ns	ns	ns	ns						
I x III	ns	ns	ns	ns						
II x III	ns	ns	ns	ns						
	P (mg kg ⁻¹)				Contrastes entre profundidades (P > F)					
I	26,6	22,2	11,4	7,3	ns	**	**	*	**	ns
II	21,1	16,3	12,8	8,4	*	**	**	ns	**	*
III	23,9	16,9	11,6	8,4	**	**	*	**	**	ns
	Contrastes entre cultivos									
I x II	ns	*	ns	ns						
I x III	ns	ns	ns	ns						
II x III	ns	ns	ns	ns						
	K (mg kg ⁻¹)				Contrastes entre profundidades (P > F)					
I	240	198	163	126	**	**	**	*	**	**
II	244	177	136	95	**	**	**	**	**	**
III	249	166	126	87	**	**	**	**	**	**
	Contrastes entre cultivos									
I x II	ns	ns	**	**						
I x III	ns	*	**	**						
II x III	ns	ns	ns	ns						

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

Sistema I: trigo/soja; sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho; e sistema III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

sistemas de manejo do solo. Acúmulos similares de P e K na camada 0 a 5cm, em relação à camada 15 a 20cm, foram relatados por SÁ (1993), MATOWO et al. (1999) e SANTOS & TOMM (1998, 1999). Os resultados observados comprovam o efeito benéfico da rotação de culturas, na distribuição dos nutrientes no solo.

CONCLUSÕES

Os valores de pH, Al, Ca + Mg e K, matéria orgânica e P diferiram entre sistemas de manejo e de cultivo do solo.

Os teores de matéria orgânica, P e K disponível foram maiores nos sistemas conservacionistas (semeadura direta e cultivo mínimo) do que nos preparos convencionais (arado de discos e de aivecas), na camada 0-5cm do solo.

Os níveis de matéria orgânica e os teores de P e K diminuíram progressivamente da camada 0-5cm

para a camada 15-20cm, em todos os sistemas de manejo e cultivo do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DE MARIA, I.C.; NNABUDE, P.C.; CASTRO, O.M. de. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.51, n.1, p.71-79, 1999.
- ECKERT, D.J. Chemical attributes of soils subjected to no-till cropping with rye cover crops. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.55, n.2, p.405-409, 1991.
- EHLER, W.; CLAUPEIN, W. Approaches toward conservation tillage in Germany. In: CARTER, M.R. (ed). **Conservation tillage in temperate agroecosystems**. Boca Raton : Lewis Publishers, 1994. p.141-165.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília : Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

- KOCHHANN, R.A.; SELLES, F. O solo e o sistema de manejo conservacionista. In: FERNANDES, J.M. et al. (ed). **Manual de manejo conservacionista do solo para os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. Passo Fundo : EMBRAPA-CNPT, 1991. p.43-51. (Documentos, 1).
- MATOWO, P.R. et al. Soil chemical properties as influenced by tillage and nitrogen source, placement, and rates after 10 years of continuous sorghum. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.50, n.1, p.11-19, 1999.
- MUZILLI, O. Fertilidade do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A.L.; TORRADO, P.V.; MACHADO, J. (eds). **Atualização em plantio direto**. Campinas : Fundação Cargill, 1985. p.147-160.
- PAIVA, P.J.R. et al. Acidificação de um latossolo roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.3, p.71-75, 1996.
- REUNIÃO DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 31., 1999, Passo Fundo. **Recomendações**. Passo Fundo : Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo, 1999. 86p.
- RHEINHEIMER, D.S. et al. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.4, p.713-721, 1998.
- SÁ, J.C. de M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo, RS). **Plantio direto no Brasil**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT / FUNDACEP-FECOTRIGO / Fundação ABC, 1993. p.37-60.
- SALET, R.L. **Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto**. 1994. 111f. Dissertação (Mestrado em Solos) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SALET, R.L. **Toxidez de alumínio no sistema plantio direto**. 1998. 109f. Tese (Doutorado em Solos) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SANTOS, H.P. dos; SIQUEIRA, O.J.W. Plantio direto e rotação de culturas para cevada: efeitos sobre a fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.1, p.163-169, 1996.
- SANTOS, H.P. dos; TOMM, G.O. Estudos da fertilidade do solo sob quatro sistemas rotação de culturas envolvendo trigo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.3, p.407-414, 1996.
- SANTOS, H.P. dos; TOMM, G.O. Rotação de culturas para cevada, após dez anos: efeitos na fertilidade do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.28, n.4, p.573-580, 1998.
- SANTOS, H.P. dos; TOMM, G.O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, n.2, p.259-265, 1999.
- SANTOS, H.P. dos; TOMM, G.O.; LHAMBY, J.C.B. Plantio direto *versus* convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação de culturas com cevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.3, p.449-454, 1995.
- SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.4, p.611-617, 2000.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, n.3, p.249-254, 1985.
- SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.387-394, 2001.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Núcleo Regional Sul. Comissão de fertilidade do solo - RS/SC. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: 1995. 224p.
- STEEL, G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. 2. ed. New York : McGraw-Hill, 1980. 633p.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre : UFRGS-Faculdade de Agronomia, 1985. 32p. (Boletim Técnico, 5).
- WIETHOLTER, S. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3, 2000, Santa Maria, Brasil. **Fertbio 2000: biodinâmica do solo**. Santa Maria: Centro de Ciências Rurais Departamento de Solos, UFSM, 2000. CD-ROM.
- WIETHÖLTER, S. et al. Fósforo e potássio no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N. **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages : SBCS-Núcleo Regional Sul, 1998. p.121-149.