



## Efeito de sistemas de manejo em atributos químicos do solo

Gilberto Omar Tomm<sup>1</sup>, Henrique Pereira dos Santos<sup>2</sup>, Silvio Tulio Spera<sup>3</sup>,  
Rainoldo Alberto Kochhann<sup>1</sup>

**Resumo** - Após nove anos de condução de um experimento em Latossolo Vermelho Distrófico típico, em Passo Fundo, RS, avaliaram-se os atributos químicos deste solo em quatro sistemas de manejo de solo: 1) plantio direto (PD), 2) cultivo mínimo (CM), 3) preparo convencional de solo com arado e grade de discos (PCD), 4) preparo convencional de solo com arado de aivecas e grade de discos (PCA). Também foram utilizados para a avaliação 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). Em novembro de 2001, após a colheita das culturas de inverno, foram coletadas amostras de solo compostas nas profundidades 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm. O delineamento experimental foi em blocos completos ao acaso, com parcelas subdivididas e três repetições. A parcela principal (4 x 90 m) foi constituída pelos sistemas de manejo de solo, e as subparcelas (4 x 10 m), pelos sistemas de rotação de culturas. Os valores de pH e os teores de P extraível e K disponível diferiram entre os sistemas de manejo de solo. Os teores de P, K e MO, na camada 0-5 cm, foram mais elevados nos sistemas conservacionistas (CM e PD), em relação àqueles observados nos tipos de preparo convencional de solo (PCD e PCA). Os teores de MO, P e K foram mais elevados na camada 0-5 cm, quando comparados com os observados em 15 a 20 cm de profundidade, em todos os sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, enquanto para pH ocorreu o contrário. Nos sistemas conservacionistas houve acidificação do solo. O rendimento de grãos de aveia branca, soja e trigo cultivado em PD e CM foi superior a aveia branca, soja e trigo cultivados em PCD e PCA. O menor rendimento de grãos de soja e trigo ocorreu quando em monocultura.

**Palavras-chave:** manejo de solo, C orgânico, pH do solo, disponibilidade de P.

## Effect of management systems in soil chemical attributes

**Abstract** - Soil chemical attributes were assessed after nine years 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 followed by use of a disk harrow, and 4) conventional tillage using a moldboard plow followed by use of a disk harrow – and three crop rotation systems [I (wheat/soybean), II (wheat/soybean and common vetch/corn), and III (wheat/soybean, common vetch/corn, and white oat/soybean)] were evaluated. In November 2001 after winter crops were harvested compound soil samples were collected at the following depths (cm): 0-5, 5-10, 10-15, and 15-20. A randomized complete block design, with split-plots and three replicates, was used. The main field plots (4 x 90 m) were formed by soil management systems, while the subplots (4 x 10 m) consisted of crop rotation systems. The values of pH and concentration of extractable P, and exchangeable K was affected by soil management. Higher contents of soil organic matter, extractable P, and exchangeable K were observed in the 0-5 cm 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 15-20 cm layer, in all soil management and cropping systems, while the opposite occurred with pH. Soil acidification was detected under both conservation tillage systems. The yield of white oat, wheat and soybean grown under no-tillage and minimum tillage was more than the yield obtained for white oat, wheat and soybean after conventional tillage systems (disk plow and moldboard plow). The lowest soybean and wheat yield obtained in monoculture.

**Key words:** soil management, organic C, soil pH, disponibility of P.

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Ph.D., Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT), Caixa Postal 451, CEP 99001-970, Passo Fundo (RS). E-mail: tomm@cnpt.embrapa.br; rainoldo@cnpt.embrapa.br

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

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa do Trigo. Doutorando do Curso de Sistema de Produção da UPF/FAMV. E-mail: spera@cnpt.embrapa.br

Recebido para publicação em 24/03/2006



## Introdução

O plantio direto (PD) foi introduzido no Brasil, no início da década de setenta, como um método alternativo de manejo de solo, para controlar a erosão nas lavouras cultivadas com a sucessão de culturas de trigo e soja na Região Sul do país (KOCHHANN e DENARDIN, 2000). Entretanto, somente a partir do início da década de oitenta é que o PD passou a ser conceituado como sistema de exploração agropecuário que envolve diversificação de espécies, em rotação de culturas estabelecidas mediante mobilização de solo exclusivamente na linha de semeadura, mantendo-se resíduos vegetais das culturas anteriores na superfície do solo.

A permanência desses resíduos vegetais na superfície do solo, após alguns anos, tem causado modificações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, em comparação ao preparo convencional de solo com arado de discos (PCD) (MUZILLI, 2002).

As modificações nas propriedades químicas entre PD e PCD foram relatadas por Rheinheimer et al. (1998), De Maria et al. (1999) e Silveira e Stone (2001), com base em experimentos de longa duração, porém sem rotação de culturas. Existem relativamente poucos trabalhos de longa duração comparando PD e PCD sob sistemas de rotação de culturas (MUZILLI, 2002; SIDIRAS e PAVAN, 1985; SANTOS et al., 1995; SALET, 1998; CIOTTA et al., 2002). Além disso, são raros os trabalhos que comparam sistemas de manejo de solo, no que se refere às propriedades químicas.

O PD promoveu acúmulo de matéria orgânica, carbono, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na camada superficial do solo, em relação às camadas mais profundas (SÁ, 1993; BAYER e BERTOL, 1999; DE MARIA et al., 1999; SILVEIRA e STONE, 2001; AMADO et al., 2001; CIOTTA et al., 2002). Por outro lado, o PCD promove a diminuição rápida da matéria orgânica e, conseqüentemente, a emissão de CO<sub>2</sub> aumenta. Com a evolução desse sistema, ocorre acidificação do solo, tendo como conseqüência a diminuição de pH e o aumento de alumínio tóxico (SALET, 1994).

No PD, ocorreu acúmulo de determinados nutrientes nos centímetros superficiais, decorrente da aplicação de fertilizantes, da mineralização dos nutrientes presentes dos resíduos vegetais depositados na superfície e da maior capacidade de troca de cátions dessas camadas em virtude do maior teor de matéria orgânica e de carbono orgânico (BAYER e BERTOL, 1999; DE MARIA et al., 1999; BAYER et al., (2000); CIOTTA et al., 2002). Em sistemas adequados de rotação de culturas sob PD, o nível do solo tende a se aproximar do nível da floresta, em virtude da cobertura vegetal. Porém, o acúmulo superficial de P normalmente é mais acentuado do que o dos demais nutrientes, por causa da baixa mobilidade de P no solo (BAYER e MIELNICZUK, 1997). Isso pode alterar

a distribuição de nutrientes no perfil do solo em PD, influenciando a disponibilidade e o aproveitamento desses nutrientes pelas plantas.

O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de práticas culturais na fertilidade do solo, após nove anos de cultivo, em Passo Fundo, RS.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido em área da Embrapa Trigo, município de Passo Fundo, RS, desde 1985, em Latossolo Vermelho Distrófico típico (STRECK et al., 2002), com textura muito argilosa e relevo suave ondulado. 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. A evolução da fertilidade e da matéria orgânica foi avaliada de 1993 a 2001.

Os tratamentos foram constituídos por quatro sistemas de manejo de solo (SMS): 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) e 4) preparo convencional de solo com arado de aivecas mais grade de discos (PCA). Também foram utilizados três sistemas de rotação de culturas (SRC): 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, e admitido como referencial do estado físico e químico do solo antes de ser submetido às alterações antrópicas, situando-se 150 m da área estudada, com relevo suave ondulado e 5% de declive. O delineamento experimental usado foi em blocos completos ao acaso, com parcelas subdivididas e três repetições. A parcela principal foi constituída pelos sistemas de manejo de solo, e a subparcela, pelos sistemas de rotação de culturas. A parcela principal media 360 m<sup>2</sup> (4 m de largura por 90 m de comprimento), e a subparcela, 40 m<sup>2</sup> (4 m de largura por 10 m de comprimento).

Em novembro de 1985, antes da semeadura das culturas de inverno, para instalação do experimento, a camada de solo de 0-20 cm foi amostrada, e os resultados das análises foram: pH em água = 4,8; Al trocável = 12,0 mmol/dm<sup>3</sup>; Ca + Mg trocáveis = 49,0 mmol/dm<sup>3</sup>; matéria orgânica = 34,0 g/kg; P extraível = 23,0 mg/kg; e K disponível = 104 mg/kg. Na instalação do experimento, o solo foi escarificado por meio de escarificador com hastes rígidas (Jumbo) e submetido à correção de acidez com 7,0 t/ha de calcário dolomítico (PRNT 90%), visando a 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 mé-

EFEITO DE SISTEMAS DE MANEJO EM ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

dia dos valores observados nas análises químicas da área experimental. Valores de pH, Al, Ca, e Mg trocáveis, matéria orgânica, P extraível e K trocável, nas camadas

0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm, determinado após as culturas de inverno, em quatro SMSs e três SRCs, em 1993, são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Valores de pH em água, de alumínio, de cálcio, de magnésio trocáveis, de matéria orgânica, de fósforo extraível, potássio trocável, em Latossolo Vermelho Distrófico típico, determinado após culturas de inverno, em quatro sistemas de manejo de solo e três sistemas de rotação de culturas, em 1993

Sistema de manejo de solo e de rotação de culturas	Profundidade (cm)			
	0-5	5-10	10-15	15-20
			pH (1:1)	
Plantio direto	5,43	5,32	5,34	5,33
Preparo convencional de solo com arado de discos	5,57	5,57	5,56	5,45
Preparo convencional de solo com arado de discos	5,37	5,39	5,36	5,32
Cultivo mínimo	5,55	5,45	5,47	5,45
			Al (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	
Plantio direto	0,3	0,4	0,5	0,5
Preparo convencional de solo com arado de discos	0,3	0,2	0,2	0,4
Preparo convencional de solo com arado de discos	0,4	0,4	0,5	0,5
Cultivo mínimo	0,2	0,3	0,5	0,5
			Ca (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	
Plantio direto	48	45	44	42
Preparo convencional de solo com arado de discos	46	47	47	43
Preparo convencional de solo com arado de discos	41	41	40	39
Cultivo mínimo	49	47	48	44
			Mg (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	
Plantio direto	23	23	23	23
Preparo convencional de solo com arado de discos	23	25	25	24
Preparo convencional de solo com arado de discos	22	21	22	22
Cultivo mínimo	24	23	25	25
			Matéria orgânica (g/kg <sup>1</sup> )	
Plantio direto	38	30	28	28
Preparo convencional de solo com arado de discos	31	31	29	27
Preparo convencional de solo com arado de discos	29	30	29	27
Cultivo mínimo	36	32	28	27
			P (mg /kg)	
Plantio direto	34,5	18,8	12,2	7,9
Preparo convencional de solo com arado de discos	17,7	17,1	13,9	8,2
Preparo convencional de solo com arado de discos	13,5	11,9	9,3	8,9
Cultivo mínimo	28,0	21,9	12,5	7,7
			K (mg/kg)	
Plantio direto	277	178	134	97
Preparo convencional de solo com arado de discos	211	158	132	91
Preparo convencional de solo com arado de discos	217	165	135	98
Cultivo mínimo	277	197	139	97
			pH (1:1)	
Rotação de culturas I	5,44	5,47	5,47	5,42
Rotação de culturas II	5,59	5,47	5,44	5,40
Rotação de culturas III	5,49	5,40	5,42	5,37
			Al (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	
Rotação de culturas I	0,3	0,3	0,3	0,4
Rotação de culturas II	0,3	0,3	0,5	0,5
Rotação de culturas III	0,5	0,3	0,3	0,5
			Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	
Rotação de culturas I	45	47	44	43
Rotação de culturas II	45	45	44	42
Rotação de culturas III	47	44	45	42
			Mg (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	
Rotação de culturas I	21	23	23	23
Rotação de culturas II	23	23	24	24
Rotação de culturas III	23	23	24	23
			Matéria orgânica (g/kg)	
Rotação de culturas I	33	30	29	27
Rotação de culturas II	33	30	29	27
Rotação de culturas III	34	31	29	27
			P (mg /kg)	
Rotação de culturas I	26,6	22,2	11,4	7,3
Rotação de culturas II	21,1	16,3	12,8	8,4
Rotação de culturas III	23,9	16,9	11,6	8,4
			K (mg/kg)	
Rotação de culturas I	240	198	163	126
Rotação de culturas II	244	177	136	95
Rotação de culturas III	249	166	126	87

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

Em novembro de 2001, após a colheita ou o manejo das culturas de inverno, foram coletadas com pá-de-corte amostras de solo compostas (duas subamostras por parcela), aproximadamente 1,0 kg de solo por parcela, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm, seguindo o método descrito por Sociedade, 2004. As análises (pH em água, P, K, matéria orgânica, Al e Ca + Mg) seguiram a metodologia descrita por Tedesco et al. (1985).

Os SMSs e os SRCs foram comparados para cada atributo químico de solo, em uma determinada profundidade de amostragem. As profundidades de amostragem de solo foram comparadas no mesmo SMS ou SRC. 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. Foi efetuada análise de variância do rendimento de grãos de soja (dentro de cada ano e na média conjunta dos anos de 1997/98 a 2002/03), de trigo (dentro de cada

ano e na média conjunta dos anos de 1988 a 1997), de aveia branca (dentro de cada ano e na média conjunta dos anos de 1990 a 1997) e de milho (dentro de cada ano e na média conjunta dos anos de 1997/98 a 2000/01). Considerou-se o efeito tratamento (diferentes SMSs e SRCs) como fixo, e o efeito ano, como aleatório. As médias foram comparadas entre si, pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

## Resultados e discussão

### Sistemas de manejo de solo

O pH de todos os tratamentos, após nove anos de cultivos (Tabela 2), para todas as camadas e para todos os sistemas de manejo de solo (SMS), apresentou valores absolutos menores do que os verificados inicialmente, na instalação do experimento (Tabela 1). Isso ainda evidencia o efeito residual das 7,0 t/ha de calcário aplicadas em 1985 (pH: 4,8). Entre todos os SMSs observaram-se

**Tabela 2** - Valores de pH em água e de alumínio trocável, em Latossolo Vermelho Distrófico típico, avaliados após nove anos de cultivos, em quatro camadas e diferentes sistemas de manejo de solo

Sistema de manejo de solo	Profundidade (cm)											
	0-5				5-10			10-15			15-20	
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5	5-10	10-15	
	pH (1:1)				Contraste entre profundidades (P > F)							
PD	5,08	5,11	5,22	5,29	ns	ns	**	ns	*	ns		
PCD	5,28	5,27	5,27	5,30	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
PCA	5,24	5,21	5,23	5,27	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
CM	5,17	5,13	5,17	5,27	ns	ns	*	ns	**	**		
FST	4,30	4,40	4,23	4,23	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
	Contraste entre manejo											
PD x PCD	**	**	ns	*								
PD x PCA	**	**	ns	ns								
PD x CM	**	**	ns	ns								
PD x FST	**	**	**	*								
PCD x PCA	ns	ns	ns	ns								
PCD x CM	*	**	ns	*								
PCD x FST	**	**	**	**								
PCA x CM	**	**	ns	ns								
PCA x FST	**	*	**	**								
CM x FST	**	**	**	**								
	Al (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )				Contraste entre profundidades (P > F)							
PD	7,9	10,9	9,7	9,0	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
PCD	8,2	8,1	8,1	7,9	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
PCA	8,5	9,8	9,3	9,5	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
CM	7,2	9,2	9,4	8,1	*	*	ns	ns	ns	ns		
FST	29,1	26,8	36,1	37,8	ns	ns	ns	ns	*	ns		
	Contraste entre manejo											
PD x PCD	ns	*	ns	ns								
PD x PCA	ns	ns	ns	ns								
PD x CM	ns	ns	ns	ns								
PD x FST	**	**	**	**								
PCD x PCA	ns	ns	ns	ns								
PCD x CM	ns	ns	ns	ns								
PCD x FST	**	**	**	**								
PCA x CM	ns	ns	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; e FST: floresta subtropical.

diferenças quanto ao valor de pH em cada uma das profundidades de amostragem. Nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm, os valores de pH, dos sistemas de preparo convencional de solo com arado de discos (PCD) e com arado de aivecas (PCA), foram superiores em relação a plantio direto (PD) e cultivo mínimo (CM). O decréscimo do pH no PD e no CM pode estar relacionado à decomposição do material orgânico, com provável liberação de ácidos orgânicos e do efeito acidificante decorrente da utilização contínua de adubos nitrogenados solúveis de fontes amoniacais. Porém, isso não afetou o rendimento de grãos das espécies cultivadas sob sistemas conservacionistas (aveia branca, milho, soja e trigo), que foi maior do que nos preparos convencionais de solo. Na floresta subtropical (FST), a acidez foi maior para todas as profundidades analisadas, quando comparadas como os SMSs. Resultados semelhantes, em parte, encontrados por Silveira e Stone (2001), em Latossolo Vermelho Perférico, verificaram que preparo convencional de solo com arado apresentou valor de pH mais elevado do que preparo convencional com grade e PD, nas camadas 0-10 e 10-20 cm, e resultados encontrados por Santos et al. (1995), em Latossolo Vermelho Distrófico típico, mostraram diferenças no valor de pH para a seqüência aveia branca/soja, cevada/soja e ervilhaca/milho, na qual PCD foi superior a PD, nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm.

Para PD e CM, houve diferenças significativas de valores de pH de solo entre as profundidades estudadas (Tabela 2). O valor de pH em PD aumentou da camada 0-5 cm para a camada 15-20 cm. Isso indica que no PD houve acidificação na camada superficial do solo. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Salet (1994), Paiva et al. (1996) e Ciotta et al. (2002). De acordo com Ernani et al. (2001), a dissolução dos fertilizantes fosfatados e a nitrificação dos nitrogenados amoniacais ou amídicos podem contribuir para a acidificação da camada superficial de solo, principalmente quando se consideraram longos períodos de cultivo sem aplicação de calcário ou quando elevadas doses desses fertilizantes foram aplicadas. Por sua vez, o revolvimento de solo com aração e gradagens no preparo convencional dilui a acidez originada por fertilizantes em toda a camada arável. Sidiras e Pavan (1985), em Latossolo Roxo Distrófico e em Terra Roxa Estruturada, verificaram que o valor de pH diminuiu da superfície (0-10 cm) para a subsuperfície (10-20 cm). Na camada 5-10 cm, PD e CM apresentaram menor valor de pH que na camada 15-20 cm.

O valor de Al trocável de solo (Tabela 2), em todos os SMSs e em todas as profundidades, foi maior após nove anos do que em 1993 (Tabela 1). O aumento no teor de Al é consequência da acidificação. Observou-se, nesse caso, que a calagem realizada em 1985 perdeu, em parte, o efeito. Houve diferença entre o valor de Al de solo, em todos os SMSs, para todas as profundidades avaliadas, somente em relação a FST. Verificou-se que FST apre-

senta maior valor de Al em relação a todos os SMSs estudados. Esse maior valor de Al do solo da FST, em relação aos demais tratamentos, se deve ao fato de ter o solo estudado em condições naturais, apresentado teor de Al mais elevado que nos demais tratamentos, nos quais a calagem neutralizou o Al, bem como reduziu a saturação do mesmo. A explicação para isso é que não foi aplicado calcário na FST para corrigir a acidez e, conseqüentemente, as bases ou os ácidos não foram neutralizados. O PD mostrou valor maior de Al que PCD, na camada 5-10 cm. De acordo com Salet (1994), a provável complexação desse elemento químico pelos compostos orgânicos, gerados no processo de decomposição dos resíduos vegetais, pode ter menor efeito tóxico em PD, em relação a PCD, em decorrência dos ligantes orgânicos. Espera-se que PD aumente o nível de matéria orgânica do solo, elevando o estoque de N e beneficiando sua estrutura, com menor densidade, maior aeração e porosidade, uma vez que um solo com estrutura física adequada oferece melhores condições para as operações de semeadura e evita o aparecimento de fatores físicos que prejudicam o desenvolvimento de plantas. No presente trabalho, as espécies cultivadas sob preparo convencional de solo têm apresentado menor rendimento de grãos do que sob sistemas conservacionistas (Santos et al., 2000; Santos e Lhamby, 2001; Santos et al., 2003). Santos et al. (1995) observaram diferenças para valor de Al, em que PCD foi superior a PD, em dois sistemas de rotação de culturas (cevada/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; ervilhaca/milho, aveia branca/soja e cevada/soja), na camada 0-5 cm, respectivamente. Dados similares foram obtidos por Silveira e Stone (2001), em Latossolo Vermelho Perférico, verificando que os valores de Al em PD, no preparo convencional de solo com grade aradora e em PCA foram mais elevados do que somente no preparo convencional de solo com arado, na camada 0-10 cm.

O valor de Al em CM aumentou da camada 0-5 cm para a camada 10-15 cm. Para se comparar a condição original, FST apresentou maior teor de Al na camada 5-10 cm, em relação à camada 15-20 cm. Entretanto, PD, PCD e PCA não diferiram entre profundidades quanto a esse elemento. Sidiras e Pavan (1985) observaram que o Al aumentou entre 3 a 6%, da camada 0-10 cm para 4 a 7% na camada 10-20 cm, respectivamente, enquanto Santos et al. (1995) não encontraram diferenças significativas no valor de Al entre as camadas estudadas.

Os teores de Ca + Mg trocáveis do solo (Tabela 3), em todas as camadas dos SMSs, são considerados altos, em relação às seqüências das culturas tradicionais da região (SOCIEDADE, 2004). Contudo, esses teores foram menores que os observados nas camadas estudadas, após nove anos de cultivo (Tabela 1). A acidez do solo da área experimental havia sido corrigida com calcário dolomítico dezoito anos antes da referida avaliação. A aplicação de calcário dolomítico forneceu Ca e Mg em quantida-

des necessárias adequadas para elevar os níveis acima dos pontos críticos exigidos pelas espécies vegetais componentes dos SMSs e da rotação de culturas, cujos níveis são 40 e 10 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, respectivamente (SOCIEDADE, 2004). Santos et al. (1995) obtiveram teores de Ca + Mg trocáveis de solo, na camada 0-5 cm, mais elevados que os obtidos antes do início do experimento, na camada 0-20 cm. Como era de se esperar, em todos os SMSs e profundidades, o teor de Ca + Mg, foi superior a FST. Porém, os mesmos SMSs não diferiram entre si para esses elementos químicos.

Somente em PCD os teores de Ca + Mg trocáveis aumentaram da camada 0-5 cm para a camada 15-20 cm. Para os demais SMSs e em FST, não houve diferença significativa entre as profundidades de solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Ciotta et al. (2002), em Latossolo Bruno Álico, verificando que maiores concentrações dos teores de Ca e Mg trocáveis na superfície do solo em PD, enquanto o solo em PCD apresentou con-

centrações praticamente uniformes no perfil do solo.

O teor de matéria orgânica – MO (Tabela 3), em algumas camadas e em SMS, foi superior ao registrado há nove anos (Tabela 1). No PD, foi observado acúmulo de MO nas camadas próximas à superfície do solo, indicando que esse manejo de solo pode contribuir para o aumento do nível de MO e, conseqüentemente, da fertilidade de solo. Dados similares foram obtidos por Santos et al. (1995), nos primeiros anos de adoção do PD, observando-se tendência à elevação dos níveis de MO nas camadas próximas à superfície do solo. De acordo com Salet (1994), o PD apresenta maior teor de MO superficial e, como conseqüência, maior concentração de substâncias húmicas solúveis. De acordo com Wiethölter (2000), o aumento do nível de MO deverá também elevar o teor total de N do solo, uma vez que o teor de N da matéria orgânica vegetal é relativamente constante (5%). Houve diferenças entre as médias dos SMSs para o teor de MO, na camada 0-5 cm. Na camada 0-5 cm, PD apresentou teor de MO maior que

**Tabela 3** - Valores de cálcio + magnésio trocáveis e de matéria orgânica, em Latossolo Vermelho Distrófico típico, avaliados após nove anos de cultivos, em quatro camadas e diferentes sistemas de manejo de solo

Sistema de manejo de solo	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
					5-10	10-15	15-20	10-15	15-20	15-20
	Ca + Mg (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )				Contraste entre profundidades (P > F)					
PD	50,9	46,1	47,9	50,5	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PCD	49,1	51,1	51,1	52,9	ns	ns	*	ns	ns	ns
PCA	47,8	47,5	48,0	47,8	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CM	49,9	48,2	48,2	50,9	ns	ns	ns	ns	ns	ns
FST	18,8	18,5	6,1	4,1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Contraste entre manejo									
PD x PCD	ns	ns	ns	ns						
PD x PCA	ns	ns	ns	ns						
PD x CM	ns	ns	ns	ns						
PD x FST	**	**	**	**						
PCD x PCA	ns	ns	ns	ns						
PCD x CM	ns	ns	ns	ns						
PCD x FST	**	**	**	**						
PCA x CM	ns	ns	ns	ns						
PCA x FST	**	**	**	**						
CM x FST	**	**	**	**						
	Matéria orgânica (g/kg)				Contraste entre profundidades (P > F)					
PD	38	32	28	27	**	**	**	ns	ns	ns
PCD	30	30	29	29	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PCA	29	29	28	28	ns	*	*	ns	ns	ns
CM	35	32	30	28	**	**	**	ns	*	ns
FST	37	38	36	39	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Contraste entre manejo									
PD x PCD	**	ns	ns	ns						
PD x PCA	**	ns	ns	ns						
PD x CM	**	ns	ns	ns						
PD x FST	ns	ns	ns	ns						
PCD x PCA	ns	ns	ns	ns						
PCD x CM	ns	ns	ns	ns						
PCD x FST	ns	ns	ns	ns						
PCA x CM	ns	ns	ns	ns						
PCA x FST	ns	ns	ns	ns						
CM x FST	ns	ns	ns	ns						

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; e FST: floresta subtropical.

CM, PCD e PCA. O teor de MO no PD esteve relativamente próximo da FST, que seria a referência da condição original do solo. Esse resultado sugere que PD contribuiu para a manutenção da MO na superfície e, após vários anos, provavelmente para o aumento da capacidade de suprimento de nitrogênio do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos et al. (1995), verificando teor de MO maior em PD em relação a PCD, na camada 0-5 cm, e por De Maria et al. (1999), em Rhodic Ferralsol, observando teor de MO superior em PD, em comparação a CM e a PCD, na camada 0-5 cm.

Na Tabela 3, observou-se que houve diferenças no nível de MO entre as profundidades em PD, em PCA e em CM, decrescendo da camada 0-5 cm para a camada 15-20 cm. Tendência semelhante foi observada por Sá (1993), com redução de 53 para 35 g/kg<sup>1</sup>, e por Santos et al. (1995), com redução variando de 27-33 para 23-25 g/kg<sup>1</sup>. A manutenção do nível de MO em valores mais elevados

na camada superficial do solo, principalmente nos sistemas conservacionistas, decorre do acúmulo de resíduos vegetais sobre a superfície sob PD, pela ausência de incorporação física através do revolvimento do solo, praticado em PCD, o que diminui a taxa de mineralização em PD. Para o PCD e para a FST, não se observou diferença entre as profundidades quanto ao nível de MO.

O teor de P extraível de solo, em todas as camadas e todos os sistemas de manejo de solo, foi superior ao valor considerado crítico (9,0 mg/kg) nesse tipo de solo para o crescimento e desenvolvimento de culturas tradicionais (SOCIEDADE, 2004) (Tabela 4). O teor de P, em algumas camadas e em SMS, foi mais elevado que o teor avaliado em 1993 (Tabela 1). Provavelmente, isso se deve à aplicação superficial desse nutriente, à baixa mobilidade no solo e ao não-revolvimento das camadas cultivadas. Na análise estatística, entre os SMSs, houve diferenças no teor de P em todas as profundidades estudadas.

**Tabela 4** - Valores de fósforo extraível e de potássio trocável, em Latossolo Vermelho Distrófico típico, avaliados após nove anos de cultivos, em quatro camadas e diferentes sistemas de manejo de solo

Sistema de manejo de solo	Profundidade (cm)											
	0-5				5-10				10-15			
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5	5-10	10-15	
	P (mg/kg)				Contraste entre profundidades (P > F)							
PD	36,2	36,7	18,1	10,7	ns	**	**	**	**	ns		
PCD	24,1	19,9	17,1	14,3	ns	**	**	ns	*	ns		
PCA	19,7	17,4	15,5	12,1	*	**	**	ns	**	ns		
CM	29,1	28,2	19,1	10,7	ns	**	**	**	**	**		
FST	3,8	5,0	2,8	2,8	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
	Contraste entre manejo											
PD x PCD	**	**	ns	*								
PD x PCA	**	**	ns	ns								
PD x CM	**	**	ns	ns								
PD x FST	**	**	**	*								
PCD x PCA	ns	ns	ns	ns								
PCD x CM	*	**	ns	*								
PCD x FST	**	**	**	**								
PCA x CM	**	**	ns	ns								
PCA x FST	**	*	**	**								
CM x FST	**	**	**	*								
	K (mg/kg)				Contraste entre profundidades (P > F)							
PD	227	194	161	132	ns	**	**	ns	**	ns		
PCD	200	160	145	119	*	**	**	ns	*	ns		
PCA	217	176	146	127	**	**	**	*	**	ns		
CM	240	196	158	125	*	**	**	*	**	ns		
FST	54	55	31	25	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
	Contraste entre manejo											
PD x PCD	ns	*	ns	ns								
PD x PCA	ns	ns	ns	ns								
PD x CM	ns	ns	ns	ns								
PD x FST	**	**	**	**								
PCD x PCA	ns	ns	ns	ns								
PCD x CM	**	*	ns	ns								
PCD x FST	**	**	**	**								
PCA x CM	ns	ns	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; e FST: floresta subtropical.

Nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm, o teor de P em PD e CM foi superior a PCD, PCA e FST. O menor teor de P encontrado sob FST reflete a sua baixa disponibilidade natural em latossolos (BRASIL, 1973). Dados similares foram obtidos por Santos et al. (1995), na comparação de PD com PCD, por De Maria et al. (1999), na relação de PD com CM e com PCD, por Matowo et al. (1999), comparando PD com CM, e por Ciotta et al. (2002), na relação de PD com PCD, na camada 0-5 cm. Por outro lado, na última camada estudada, PCD mostrou maior teor de P que PD, CM e FST. O acúmulo de P na camada superficial nos sistemas de manejo conservacionistas decorre do pouco revolvimento de solo por ocasião da incorporação de sementes e de fertilizantes e da baixa mobilidade desse nutriente no solo (WIETHÖLTER, 2000).

Os SMSs estudados diferiram quanto ao teor de P na maioria das profundidades estudadas, diminuindo da camada 0-5 cm para a camada 15-20 cm. Esse comportamento foi mais evidente em PD e em CM que em PCD e em PCA, determinando diferenças de 2,7 a 3,4 vezes superiores no teor de P extraído na camada de 0-5 cm, em relação à camada 15-20 cm. Resultados semelhantes foram registrados para acúmulo de P em PD, na camada 0-5 cm, em relação à camada 15-20 cm, com 36 *versus* 28 mg/kg<sup>1</sup> (DE MARIA et al., 1999) e com 88 *versus* 15 mg/kg<sup>1</sup> (MATOWO et al., 1999). Além disso, em áreas após longo período sob PD, a adição sucessiva de fertilizantes fosfatados, associada à intensa atividade microbiana na camada superficial do solo coberta por resíduos vegetais, pode favorecer a penetração desse nutriente pelo movimento de compostos orgânicos de P no perfil de solo (DICK, 1983). Segundo Sidiras e 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, em razão do menor contato desse elemento com os constituintes inorgânicos de solo, pela não incorporação de resíduos vegetais através do revolvimento do solo em PD (WISNIEWSKI e HOLTZ, 1997). Para FST, não houve diferença entre as profundidades com relação ao teor de P.

O teor de K trocável, em todas as camadas e todos os SMSs (Tabela 4), foi superior ao valor considerado crítico (80 mg/kg) para o crescimento e desenvolvimento das culturas tradicionais (SOCIEDADE, 2004). Por outro lado, o teor de K observado nas duas camadas mais profundas (10-15 cm e 15-20 cm) e em todos os SMSs manteve-se acima do teor encontrado na avaliação de 1993 (Tabela 1). O teor de K trocável diferiu significativamente entre alguns SMSs. Como era de se esperar, os SMSs mostraram, em todas as camadas estudadas, teor superior a FST. Além disso, CM apresentou maior teor de K trocável, nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm, que PCD. Por sua vez, PD foi superior a PCD somente na camada 5-10 cm. Resultados semelhantes foram obtidos por De Ma-

ria et al. (1999), na comparação de PD e CM com PCD, na camada 0-5 cm.

Houve diferença significativa do teor de K na maioria das profundidades estudadas, diminuindo o valor da camada 0-5 cm, em relação à camada mais profunda (15-20 cm). Essa tendência foi mais evidente em PD e em CM que em PCD e em PCA, ou seja, 1,72 a 1,92 vez superior no teor de K, na camada 0-5 cm, em comparação à camada 15-20 cm. Dados similares foram registrados por De Maria et al. (1999) (23 *versus* 19 mg/kg<sup>1</sup>). Em FST, não houve diferença significativa entre as profundidades para o teor de K trocável. 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.

#### Sistemas de rotação de culturas

Nessa avaliação, todos os sistemas de rotação de culturas (SRC) estudados apresentaram valores de pH, Ca + Mg trocáveis, P extraível e K trocável maiores que FST, enquanto para os valores de Al trocável ocorreu o inverso (Tabelas 5 e 6). Por outro lado, não houve diferença significativa entre os valores de pH, Al trocável, Ca + Mg trocáveis e MO para diferentes SRCs. Isso indica que as espécies componentes dos sistemas de rotação não promoveram alterações na concentração de nutrientes presentes no solo. Todavia, a monocultura trigo/soja, na profundidade de 0-5 cm, apresentou maior teor de P, em relação ao sistema trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja, e, na mesma camada, o teor de potássio foi maior no sistema trigo/soja e ervilhaca/milho do que na monocultura trigo/soja (Tabela 6). Essa diferença entre os SRCs pode ser explicada, em parte, pelo fato de a ervilhaca ser estabelecida como cultura de cobertura de solo e sem aplicação de adubação de manutenção. Resultado similar foi obtido por Santos e Tomm (1999), verificando teor maior de P na monocultura trigo/soja, na camada 0-5 cm, sob PD, em comparação aos SRCs: 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. Nesse caso, houve acúmulo de P do solo na primeira camada estudada, em razão da adubação de manutenção anual.

Os SRCs diferiram quanto aos valores de pH, P e K do solo entre algumas profundidades (Tabelas 5 e 6). Em todos os SRCs, os valores de pH somente aumentaram da camada 0-5 cm para a camada 15-20 cm. Para os teores de P e K ocorreu o contrário, ou seja, diminuíram da camada 0-5 cm para a camada 15-20 cm. Acúmulos similares de P e de K na camada 0-5 cm, em relação à camada 15-20 cm, foram relatados por Sá (1993), Matowo et al. (1999) e Santos e Tomm (1998, 1999). Na seqüência trigo/soja, ervilhaca/mi-

lho e aveia branca/soja, o teor de Al aumentou da camada 0-5 cm para 5-10 cm e diminuiu nas camadas mais profundas. Na Tabela 5, verificara-se que, para os teores de Ca + Mg, não houve diferença significativa entre as profundidades estudadas. Os valores de pH, Al e Ca + Mg refletem diferenças na distribuição de calcário na camada arável, em virtude dos SRCs. Na seqüência trigo/soja e ervilhaca/milho, o nível de MO decresceu da camada 0-5 cm para a camada 15-20 cm, concordando com Santos e Tomm (1998, 1999) e Santos et al. (1995), que sob plantio direto, observaram que os níveis de MO decresceram progressivamente da camada 0-5 cm para a camada 15-20 cm. Os valores de MO, P e K refletem as diferenças de seu acúmulo na superfície da camada arável, em razão da diferença na proporção de revolvimento do solo nos distintos SMSs. Os resultados observados comprovam o efeito benéfico da rotação de culturas na ciclagem e

na distribuição de nutrientes no solo. Na floresta subtropical, não se constataram diferenças significativas quanto à distribuição de elementos químicos e ao nível de MO nas camadas avaliadas. Ao se compararem os valores dos atributos químicos dos SRCs com FST, verificou-se que o uso do solo com agricultura incluindo correções e fertilização induz a melhorias relevantes em sua fertilidade química. No caso estudado, a MO manteve-se nos mesmos níveis, discordando da tendência de que a agricultura reduz a MO.

### Efeitos dos SMSs e de SRC no rendimento de grãos das culturas

Apesar do pH de PCD e PCA ter sido superior aos de PD e CM, nas camadas, 0-5 e 5-10 cm, isso não afetou o rendimento de grãos das espécies cultivadas sob sistemas conservacionistas que foi maior do que nos preparos convencionais do solo. Para Al trocável,

**Tabela 5** - Valores de pH em água, de alumínio e de cálcio + magnésio trocáveis, em Latossolo Vermelho Distrófico típico, avaliados após nove anos de cultivos, em quatro camadas e diferentes sistemas de rotação de culturas

Sistema de manejo de solo	Profundidade (cm)									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5 x 5-10	0-5 x 10-15	0-5 x 15-20	5-10 x 10-15	5-10 x 15-20	10-15 x 15-20
	pH (1:1)				Contraste entre profundidades (P > F)					
I	5,16	5,17	5,20	5,28	ns	ns	*	ns	*	ns
II	5,19	5,20	5,24	5,31	ns	ns	*	ns	*	ns
III	5,19	5,20	5,22	5,27	ns	ns	*	ns	**	ns
FST	4,30	4,40	4,23	4,23	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Contraste entre rotação									
I x II	ns	ns	ns	ns						
I x III	ns	ns	ns	ns						
I x FST	**	**	**	**						
II x III	ns	ns	ns	ns						
II x FST	**	**	**	**						
III x FST	**	**	**	**						
	Al (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )				Contraste entre profundidades (P > F)					
I	8,8	10,0	9,4	8,8	ns	ns	ns	ns	ns	ns
II	7,9	9,1	8,9	8,4	ns	ns	ns	ns	ns	ns
III	7,6	9,6	9,2	8,7	*	*	ns	ns	ns	ns
FST	29,1	26,8	36,1	37,8	ns	ns	ns	ns	*	ns
	Contraste entre rotação									
I x II	ns	ns	ns	ns						
I x III	ns	ns	ns	ns						
I x FST	**	**	**	**						
II x III	ns	ns	ns	ns						
II x FST	**	**	**	**						
III x FST	**	**	**	**						
	Ca + Mg (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )				Contraste entre profundidades (P > F)					
I	47,0	47,4	47,3	49,7	ns	ns	ns	ns	ns	ns
II	49,8	48,8	49,5	51,5	ns	ns	ns	ns	ns	ns
III	49,7	48,1	48,8	50,2	ns	ns	ns	ns	ns	ns
FST	18,8	18,5	6,1	4,1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Contraste entre rotação									
I x II	ns	ns	ns	ns						
I x III	ns	ns	ns	ns						
I x FST	**	**	**	**						
II x III	ns	ns	ns	ns						
II x FST	**	**	**	**						
III x FST	**	**	**	**						

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

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

ocorreu o inverso para PD, na camada 5-10 cm, em relação ao PCD. A cultura que poderia ser prejudicada em desempenho agrônômico seria a soja; porém, na análise conjunta dos anos (1997/98 a 2002/03), o rendimento de grãos de soja (Tabela 7) cultivada sob PD (2.852 kg/ha) e CM (2.893 kg/ha) foi superior ao de soja cultivada sob PCD (2.696 kg/ha<sup>1</sup>) e PCA (2.666 kg/ha). O rendimento de grãos de soja (Tabela 8) cultivada após trigo (2.866 kg/ha) no sistema II foi superior ao de soja cultivada após aveia branca (2.799 kg/ha) e após trigo (2.804 kg/ha) no sistema II e após trigo (2.636 kg/ha) no sistema I. O menor rendimento de grãos de soja ocorreu quando em monocultura. O maior teor de P da monocultura de soja, em comparação com trigo/soja e ervilhaca/milho, não foi suficiente para elevar o rendimento de grãos acima do da soja em rotação de verão. Pelo observado, outros fatores impe-

dem as espécies de expressarem seu potencial, como por exemplo o não uso de rotação de culturas, como pode ter sido o caso de soja e de trigo. Na análise conjunta de 1988 a 1997, realizada por Santos et al. (2000), houve diferença entre os sistemas de rotação de culturas para trigo. O SRC com dois invernos sem trigo mostrou rendimento de grãos mais elevado do que sob monocultura e sob um inverno sem trigo (Tabela 9). O menor rendimento de grãos de trigo ocorreu na monocultura desse cereal. Trabalhos mais antigos, revelaram que, quando a monocultura era praticada durante anos seguidos, evidenciava-se a liberação de alguns compostos durante a decomposição dos resíduos vegetais, que se acumulavam no solo até atingirem concentrações inibidoras do crescimento da própria planta (ALMEIDA, 1988; SANTOS e REIS, 2001. Na média do período (1990 a 1997), do trabalho conduzi-

**Tabela 6** - Valores de matéria orgânica, de fósforo extraível e de potássio trocável, em Latossolo Vermelho Distrófico típico, avaliados após nove anos de cultivos, em quatro camadas e diferentes sistemas de rotação de culturas

Sistema de manejo de solo	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
					5-10	10-15	15-20	10-15	15-20	15-20
	Matéria orgânica (g /kg)				Contraste entre profundidades (P > F)					
I	31	30	29	28	ns	ns	ns	ns	ns	ns
II	33	31	30	28	ns	ns	*	ns	ns	ns
III	33	31	29	29	ns	ns	ns	ns	ns	ns
F	38	39	37	40	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Contraste entre rotação									
I x II	ns	ns	ns	ns						
I x III	ns	ns	ns	ns						
I x F	ns	ns	ns	ns						
II x III	ns	ns	ns	ns						
II x F	ns	ns	ns	ns						
III x F	ns	ns	ns	ns						
	P (mg /kg)				Contraste entre profundidades (P > F)					
I	31,3	28,4	18,5	13,8	ns	**	**	*	**	ns
II	26,8	26,2	16,6	12,5	ns	**	**	**	**	ns
III	25,2	24,1	17,6	11,0	ns	**	**	**	**	**
F	3,8	5,0	2,8	2,8	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Contraste entre rotação									
I x II	ns	ns	ns	ns						
I x III	*	ns	ns	ns						
I x F	**	**	**	**						
II x III	ns	ns	ns	ns						
II x F	**	**	**	**						
III x F	**	**	**	**						
	K (mg /k)				Contraste entre profundidades (P > F)					
I	199	170	154	129	**	**	**	ns	**	*
II	229	194	159	135	**	**	**	**	**	ns
III	223	178	147	119	**	**	**	**	**	**
F	54	55	31	25	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Contraste entre rotação									
I x II	*	ns	ns	ns						
I x III	ns	ns	ns	ns						
I x F	**	**	**	**						
II x III	ns	ns	ns	ns						
II x F	**	**	**	**						
III x F	**	**	**	**						

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

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

EFEITO DE SISTEMAS DE MANEJO EM ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

**Tabela 7** - Efeito de sistema de manejo de solo no rendimento de grãos de soja, cultivar BR-16, em 1997, BRS 137, de 1998 e 1999, e BRS 154, de 2000 a 2002. Passo Fundo, RS

Ano	Manejo de solo				Média
	PD	PCD	PCA	CM	
..... Rendimento de grãos (kg/ha) .....					
1997/98	2.803 Ac	2.770 Ab	2.746 Aab	2.731 Ac	2.762 c
1998/99	2.126 Ae	2.196 Ac	2.223 Ac	2.272 Ad	2.204 e
1999/00	3.106 Ab	2.853 Bb	2.748 Cab	3.132 Ab	2.960 b
2000/01	3.536 Aa	3.250 Ba	2.948 Ca	3.560 Aa	3.324 a
2001/02	2.591 Ad	2.408 Bc	2.540 Abb	2.773 Ac	2.578 d
2002/03	2.952 Ab	2.698 Ab	2.788 Aa	2.887 Ab	2.831 bc
Média	2.852 A	2.696 B	2.666 B	2.893 A	2.777

PD: plantio direto.

PCD: preparo convencional de solo com arado de discos, no inverno e semeadura direta, no verão.

PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas, no inverno e semeadura direta, no verão.

CM: cultivo mínimo.

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não apresentam diferenças significativas, a 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

**Tabela 9** - Efeito de sistemas de rotação de culturas no rendimento de grãos de trigo, em 1988 e em 1989, cultivar BR-14, de 1990 a 1993, cultivar BR-23, e de 1994 a 1997, cultivar Embrapa 16. Passo Fundo, RS

Ano	Sistema de rotação			Média
	Monocultura	Um inverno sem trigo	Dois invernos sem trigo	
..... Rendimento de grãos (kg/ha) .....				
1988	2.006 Ac <sup>1</sup>	2.088 Ac	2.048 Ag	2.047 e
1989	2.970 Aa	2.919 Ab	2.925 Ad	2.938 bc
1990	2.527 Bb	2.968 Ab	3.105 Ac	2.866 c
1991	2.532 Bb	3.089 Ab	3.216 Ab	2.946 b
1992	3.158 Ca	4.076 Ba	4.724 Aa	3.986 a
1993	1.012 Be	2.248 Ac	2.443 Ae	1.901 e
1994	2.663 Bb	3.210 Ab	3.395 Ab	3.089 b
1995	1.988 Bc	2.059 Bcd	2.637 Ae	2.228 d
1996	1.526 Cd	1.829 Bd	2.274 Af	1.876 f
1997	1.648 Bd	1.714 Be	1.975 Ag	1.779 f
Média	2.203 C	2.620 B	2.874 A	2.566

<sup>1</sup>Médias seguidas da mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não apresentam diferenças significativas, a 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

**Tabela 11** - Efeito de sistemas de manejo de solo no rendimento de grãos de milho, híbrido C 901, de 1997/98 a 2000/01. Passo Fundo, RS

Ano	Manejo de solo				Média
	PD	PCD	PCA	CM	
..... Rendimento de grãos (kg/ha) .....					
1997/98	7.517 A c	6.019 B c	6.225 B b	7.092 A b	6.713 c
1998/99	9.019 A b	6.861 B a	7.201 B a	8.718 A a	7.950 b
1999/00	7.536 A c	6.746 B b	6.639 B b	7.012 B b	6.983 c
2000/01	9.886 A a	7.350 B a	7.384 B a	9.196 A a	8.454 a
Média	8.490 A	6.744 C	6.862 C	8.005 B	7.525

PD: plantio direto.

PCD: preparo convencional de solo com arado de discos, no inverno, e semeadura direta, no verão.

PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas, no inverno, e semeadura direta, no verão.

CM: cultivo mínimo, no inverno, e semeadura direta, no verão.

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não apresentam diferenças significativas, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

**Tabela 8** - Efeito de rotação de culturas no rendimento de grãos de soja, cultivar BR-16, em 1997, BRS 137, de 1998 e 1999, e BRS 154, de 2000 a 2002. Passo Fundo, RS

Ano	Sistema de rotação				Média
	Sistema I: soja/trigo	Sistema II: soja/trigo milho/ervilhaca	Sistema III: soja/aveia branca, soja/trigo e milho/ervilhaca	Sistema III: soja/trigo milho/ervilhaca e soja aveia branca	
..... Rendimento de grãos (kg/ha) .....					
1997/98	2.636 Cc	2.932 Ac	2.789 Bc	2.692 Bc	2.762 c
1998/99	2.153 Ae	2.269 Ae	2.187 Ae	2.208 Ad	2.204 e
1999/00	2.703 Cc	3.167 Ab	3.098 Ab	2.870 Bb	2.960 b
2000/01	3.036 Ba	3.421 Aa	3.422 Aa	3.416 Aa	3.324 a
2001/02	2.427 Bd	2.720 Ad	2.466 Bd	2.699 Ac	2.578 d
2002/03	2.865 Ab	2.689 Bd	2.830 Ac	2.941 Ab	2.831 bc
Média	2.636 C	2.866 A	2.799 B	2.804 B	2.777

Sistema I: trigo/soja.

Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho ou sorgo, em 2001.

Sistema III: trigo/soja, ervilhaca/milho ou sorgo, em 2001 e aveia branca/soja.

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não apresentam diferenças significativas, a 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

**Tabela 10** - Efeito de sistemas de manejo de solo no rendimento de grãos de aveia branca, de 1990 a 1994, cultivar UFRGS 7, em 1995, cultivar UPF 16, e em 1996 e 1997, cultivar UFRGS 14. Passo Fundo, RS

Ano	Manejo de solo				Média
	PD	PCD	PCA	CM	
..... Rendimento de grãos (kg/ha) .....					
1990	4.271 A	3.787 B	3.989 AB	4.262 A	4.077
1991	3.515 A	3.175 C	3.234 C	3.419 B	3.336
1992	3.303 A	3.197 B	3.070 C	3.321 A	3.223
1993	2.520 A	2.541 A	2.430 A	2.844 A	2.584
1994	2.796 A	2.427 B	2.432 B	2.669 A	2.581
1995	2.256 A	1.797 B	1.751 B	2.213 A	2.004
1996	2.165 A	2.109 A	1.992 A	2.098 A	2.091
1997	2.845 A	2.638 A	2.554 A	2.679 A	2.679
Média	2.959 A	2.709 B	2.682 B	2.938 A	2.822

PD: plantio direto.

PCD: preparo convencional de solo com arado de discos.

PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas.

CM: cultivo mínimo marca JAN.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na horizontal, não apresentam diferenças significativas, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

**Tabela 12** - Efeito de sistemas de manejo de solo no rendimento de grãos de trigo, em 1988 e em 1989, cultivar BR-14, de 1990 a 1993, cultivar BR-23, e de 1994 a 1997, cultivar Embrapa 16. Passo Fundo, RS

Ano	Manejo de solo				Média
	PD	PCD	PCA	CM	
..... Rendimento de grãos de trigo (kg/ha) .....					
1988	2.183 Ad <sup>2</sup>	1.905 Ad	1.906 Ac	2.194 Ad	2.047 e
1989	2.909 Ac	3.013 Ab	2.871 Ab	2.959 Ac	2.938 bc
1990	3.167 Ab	2.429 Cc	2.789 Bb	3.082 Ab	2.866 c
1991	2.968 Ac	2.971 Ab	2.886 Ab	2.957 Ac	2.946 b
1992	4.151 Aa	4.031 Aa	3.820 Ba	3.942 Aba	3.986 a
1993	2.318 Ad	1.665 Be	1.379 Be	2.243 Ad	1.901 e
1994	3.407 Ab	2.776 Bb	2.853 Bb	3.322 Ab	3.090 b
1995	2.385 Ad	2.181 Ac	2.101 Ac	2.244 Ad	2.228 d
1996	1.868 Ae	1.874 Ade	1.810 Acd	1.953 Ad	1.876 f
1997	1.910 Ae	1.790 Ae	1.702 Ad	1.714 Ae	1.779 f
Média	2.727 A	2.463 B	2.412 B	2.661 A	2.566

<sup>1</sup>PD: plantio direto; PCD: preparo convencional de solo com arado de discos; PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas; e CM: cultivo mínimo.

<sup>2</sup>Médias seguidas da mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não apresentam diferenças significativas, a 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

do por Santos e Lhamby (2001), o rendimento de grãos de aveia branca (Tabela 10) em PD (2.959 kg/ha) e CM (2.938 kg/ha) foi superior ao rendimento em PCD (2.709 kg/ha) e PCA (2.682 kg/ha). Na análise conjunta realizada por Santos et al. (2003), o rendimento de grãos de milho (Tabela 11) cultivado sob PD (8.490 kg/ha) foi superior ao obtido sob CM (8.005 kg/ha), sob PCD (6.744 kg/ha) e sob PCA (6.862 kg/ha). Ainda no trabalho de Santos et al. (2000), o rendimento de grãos de trigo (Tabela 12) mais elevado ocorreu em PD (2.727 kg/ha) e no CM (2.661 kg/ha), em comparação com PCD (2.463 kg/ha) e PCA (2.412 kg/ha).

Pelo verificado nesse trabalho, o nível de MO em PD foi similar a FST, na camada 0-5 cm, que seria o ponto de referência do estado natural do solo. Isso por si mostra esse sistema de manejo de solo próximo da sustentabilidade. Deve ser considerado que isso por sua vez foi reflexo do acúmulo dos resíduos vegetais deixado na superfície do solo, pelas espécies componentes dos SRCs. Além disso, antecedendo o milho ou o sorgo, foi cultivada a ervilhaca, sem adubação de manutenção, que recicla e incorpora N ao sistema. Por sua vez, o milho foi semeado após ervilhaca ainda em fase vegetativa, sendo dessecada posteriormente com herbicida de pré ou pós-emergência. Além disso, nesse período de estudo, não foi aplicado N em cobertura na cultura de milho.

## Referências

- ALMEIDA, F.S. **A Alelopatia e as Plantas**. Londrina: IAPAR, 1988. 60 p. IAPAR. Circular, 53.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de Culturas de Cobertura em Acumular Carbono e Nitrogênio do Solo no Plantio Direto e a Melhoria da Qualidade Ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3. p. 189-197, 2001.
- BAYER, C.; BERTOL, I. Características Químicas de um Cambissolo Húmico Afetadas por Sistemas de Preparo com Ênfase à Matéria Orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n.3, p. 687-694, 1999.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio Total de um Solo Submetido a Diferentes Métodos de Preparo e Sistemas de Cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 235-239, 1997.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S.V. Organic Matter Storage in a Sandy Clay loam Acrisol Affected by Tillage and Cropping Systems in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, n. 1-2, p. 101-109, 2000.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431 p. Boletim Técnico, 30.
- CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R. ; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A. ; WOBETO, C. Acidificação de Latossolo sob Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1055-1064, 2002.
- DE MARIA, I. C.; NNABUDE, P. C.; CASTRO, O. M. 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.
- DICK, W. Organic Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Concentrations and pH in Soil Profiles as Affected by Tillage Intensity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, n. 1, p. 102-107, 1983.
- ERNANI, P.R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características Químicas de Solo e Rendimento de Massa Seca de Milho em Função do Método de Aplicação de Fosfatos, em dois Níveis de Acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 939-946, 2001.
- KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e Manejo do Sistema Plantio Direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 36 p. Documentos, 20.
- MATOWO, P. R.; PIERZYNSKI, G. M. ; WHITNEY, D. ; LAMOND, R.E. 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. Manejo da Matéria Orgânica no Sistema Plantio Direto. **Informativo Agrônomo**, Piracicaba, n.100, p. 6-10, 2002.
- PAIVA, P. J. R.; VALE, F.R.; FURTINI NETO, A.E.; FAQUIN, V. Acidificação de um Latossolo Roxo do Estado do Paraná sob Diferentes Sistemas de Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 71-75, 1996.
- RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, J. S. 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. M. Manejo da Fertilidade do Solo no Sistema Plantio Direto. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. **Plantio Direto no Brasil**. Passo Fundo, 1993. p. 37-60.

## Conclusões

Os valores de pH, de MO e de P diferiram entre os sistemas de manejo do solo.

Os teores de P e K foram maiores nos sistemas conservacionistas (PD e CM) do que no preparo convencional (arado de discos e de aivecas), na camada 0-5 cm do solo.

Os teores de MO, P e K diminuíram da camada 0-5 cm para a camada 15-20 cm, em todos os SMSs e SRCs. Para pH ocorreu o contrário.

Na camada superficial (0-5 cm) dos sistemas conservacionistas (PD e CM) e dos sistemas de rotação de culturas houve acidificação do solo.

FST não diferiu significativamente entre as camadas de solo amostradas quanto aos valores de acidez, matéria orgânica, Ca + Mg, P e K disponível.

Na média das safras e independentemente de rotação, a aveia branca, a soja e o trigo cultivado sob plantio direto e sob cultivo mínimo apresentaram maior rendimento de grãos que a aveia branca, a soja e o trigo cultivados sob preparo convencional de solo com arado de discos ou com arado de aivecas.

A rotação de culturas com um cultivo de verão (milho ou sorgo) propicia maior rendimento de grãos de soja, em comparação com os demais sistemas estudados. O menor rendimento de grãos de soja ocorreu em monocultura.

- SALET, R.L. **Dinâmica de Íons na Solução de um Solo Submetido ao Sistema Plantio Direto**. 1994. 111 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- \_\_\_\_\_.; **Toxidez de Alumínio no Sistema Plantio Direto**. 1998. 109 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B. Rendimento de Grãos de Aveia Branca em Sistemas de Manejo de Solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 227-235, 2001.
- \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; PRESTES, A. M.; LIMA, M. R. Efeito de Sistemas de Manejos de Solo e de Rotação de Culturas de Inverno no Rendimento de Grãos de Trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n.12, p. 2355-2361, 2000.
- \_\_\_\_\_.; REIS, E. M. Rotação de Culturas. In: \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. **Rotação de Culturas em Plantio Direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. Cap. 1, p. 11-132.
- \_\_\_\_\_.; 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.
- \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 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.
- \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; LHAMBY, J.C.B. Plantio Direto *versus* Convencional: Efeito na Fertilidade do Solo e no Rendimento de Grãos em Rotação de Culturas com Cevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 449-454, 1995.
- \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; KOCHHANN, R. A. Rendimento de Grãos de Milho em Função de Diferentes Sistemas de Manejo de Solo e de Rotação de Culturas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 9, n. 3, p. 251-256, 2003.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do Sistema de Manejo do Solo no seu Nível de Fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 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. 1, p. 387-394, 2001.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do solo, 2004. 394 p.
- 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: UFRGS, 2002. 126 p.
- TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análise de Solos, Plantas e outros Materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1985. 32 p. Boletim Técnico, 5.
- WIETHÖLTER, 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. **Fertbio 2000: Biodinâmica do Solo**. Santa Maria: UFSM, 2000. CD.ROM.
- WISNIEWSKI, C.; HOLTZ, G. P. Decomposição da Palhada com Liberação de Nitrogênio e Fósforo numa Rotação Aveia-Soja sob Plantio Direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 11, p. 1191-1197, 1997.