

# EFEITO DE SISTEMAS DE MANEJO DE SOLO E DE ROTAÇÃO DE CULTURAS NA FERTILIDADE DO SOLO, APÓS VINTE ANOS <sup>(1)</sup>

HENRIQUE PEREIRA DOS SANTOS <sup>(2,5\*)</sup>; SILVIO TULLIO SPERA <sup>(2,3)</sup>; GILBERTO OMAR TOMM <sup>(2)</sup>; RAINOLDO ALBERTO KOCHANN <sup>(2)</sup>; ALEXANDRE ÁVILA <sup>(4)</sup>

## RESUMO

No Brasil, ainda são escassos os estudos disponíveis com experimentos de longa duração em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. Após vinte anos (1985 a 2005), a fertilidade de solo foi avaliada, em Latossolo Vermelho distrófico típico, em Passo Fundo (RS), em quatro sistemas de manejo de solo (SMSs) - 1) plantio direto (PD), 2) cultivo mínimo (CM), 3) preparo convencional de solo com arado de discos e com grade de discos (PCD) e 4) preparo convencional de solo com arado de aivecas e com grade de discos (PCA) - e em três sistemas de rotação de culturas (SRCs): I (trigo/soja), II (trigo/soja e ervilhaca/milho) e III (trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja), incluindo como testemunha um fragmento adjacente de floresta subtropical (FST). O delineamento experimental foi em blocos completos ao acaso, com parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas (4 x 90 m) no total de 12, foram constituídas pelos SMSs, e as subparcelas, pelos SRCs (4 x 10 m), no total de 72. Os valores de pH, carbono, P extraível e K disponível diferiram entre os SMSs. No PD, houve acúmulo de carbono orgânico, P e K, na camada superficial. Não houve diferença do nível de matéria orgânica (MOS) entre PD e FST, em todas as camadas estudadas. O nível de MOS e os teores de P e K foram mais elevados na camada 0-0,05 m, quando comparados com os observados de 0,15-0,20 m de profundidade, sob PD e nas rotações II e III. Observou-se que em FST os valores de pH, Ca, P e de K foram menores do que os dos SMSs e SRCs.

**Palavras-chave:** plantio direto, acidez do solo, fósforo, potássio, carbono orgânico.

## ABSTRACT

### SOIL TILLAGE AND CROP ROTATION SYSTEMS ON SOIL FERTILITY ATTRIBUTES AFTER TWENTY YEARS

Long term field studies on crop rotation and soil tillage systems under Brazilian conditions are scarce. Soil fertility characteristics were assessed after twenty years (1985 to 2005) on a typical dystrophic Red Latosol located in Passo Fundo, in Rio Grande do Sul, the southernmost state of Brazil. Four soil tillage systems (STS) – 1) no-tillage, 2) minimum tillage, 3) conventional tillage using disk plow followed by disk harrow, and 4) conventional tillage using moldboard plow followed by disk harrow – and three crop rotation systems (CRS): I (wheat/soybean), II (wheat/soybean and common vetch/corn), and III (wheat/soybean, common vetch/corn, and white oat/soybean) were evaluated, including as check a fragment of subtropical forest (FST). A randomized complete block design, with split-plots and three replicates, was used. The main field plots (4 x 90 m) in a total of 12, were the soil tillage systems, whereas the subplots (4 x 10 m), in a total of 72 comprised the crop rotation systems. Values of soil pH, soil organic carbon, extractable P, and exchangeable K were affected by soil tillage systems (STSs). Higher levels of soil organic matter and contents of soil carbon, extractable P, and exchangeable K were observed in the 0-0,05 m layer for the no-tillage system. No statistical differences were found in soil organic matter levels between no-tillage and tropical forest, in any soil layer. Values of soil organic matter, P, and K were higher in the 0-0,05 m layer, when compared to the ones observed in the 0,15-0,20 m layer, in no-tillage and II and III CRSs. Values of pH, Ca, P, and K observed in all STSs and CRSs were higher than in the tropical forest area.

**Key words:** no-tillage, soil acidity, phosphorus, potassium, carbon organic.

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em 12 de dezembro de 2006 e aceito em 28 de setembro de 2007.

<sup>(2)</sup> Embrapa Trigo, Caixa Postal 451, 99001-970 Passo Fundo (RS). E-mail: hpsantos@cnpt.embrapa.br (\*)Autor correspondente; spera@cnpt.embrapa.br; tomm@cnpt.embrapa.br; rainoldo@cnpt.embrapa.br

<sup>(3)</sup> Doutorando do curso de pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal na UPF-FAMV, Passo Fundo, RS

<sup>(4)</sup> Acadêmico de Agronomia da UPF-FAMV, Caixa Postal 566, 99001 970 Passo Fundo (RS). Bolsista CNPq-IC.

<sup>(5)</sup> Com Bolsa de Produtividade em Pesquisa do CNPq.

## 1. INTRODUÇÃO

Após alguns anos sob plantio direto é possível observar que a matéria orgânica do solo (MOS) se concentra na superfície e diminui rapidamente com o aumento da profundidade. Este gradiente de concentração faz com que se deduza, às vezes de forma equivocada, que o solo está acumulando mais carbono do que no preparo convencional de solo. A incorporação dos resíduos vegetais no sistema de preparo convencional e homogeneização do solo na camada arável pode proporcionar uma distribuição mais uniforme da matéria orgânica até camadas mais profundas do solo (SANTOS et al., 1995; DE MARIA et al., 1999; SISTI et al., 2004). Dessa forma, dependendo da profundidade do solo estudada, resultados diferentes sobre acumulação de C, MOS, P e K no solo podem ser obtidos quando se compara sistemas de manejo de solo. Por outro lado, a utilização do estoque de C na floresta subtropical, como referencial de situação estável ao longo do tempo, permite inferir a contribuição dos sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas na emissão ou no seqüestro de CO<sub>2</sub> pelo solo.

Estudos sobre níveis de MOS e teores de C, P, K, Ca e Mg em áreas sob diferentes sistemas de manejo de solo e rotação de culturas têm demonstrado que os resultados positivos do plantio direto foram consistentes quando as rotações de cultura incluíam plantas de coberturas, especialmente leguminosas como adubo verde (BAYER et al., 2000; BERTOL et al., 2004; SISTI et al., 2004). Porém, alguns estudos, indicaram a ocorrência de acidificação de solo e presença de Al tóxico para as plantas (PAIVA et al., 1996; CIOTTA et al., 2002).

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas na fertilidade de solo, após vinte anos de cultivo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio vem sendo desenvolvido em área experimental da Embrapa Trigo, município de Passo Fundo (RS), desde 1985, em Latossolo Vermelho distrófico típico (STRECK et al., 2002).

Os tratamentos consistiram de quatro sistemas de manejo de solo (SMSs) – 1) plantio direto (PD); 2) preparo de solo com implemento de sete hastes, espaçadas de 0,50 m e no mínimo de 0,30 a 0,70 m de profundidade como 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) – e em três sistemas de rotação de

culturas (SRCs): I (trigo/soja); II (trigo/soja e ervilhaca/milho) e III (trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja). Como testemunha, um fragmento de floresta subtropical com araucárias (FST), adjacente ao experimento, também foi amostrado, com o mesmo número de repetições, e admitido como referencial do estado estrutural do solo antes de ser submetido às alterações antrópicas. O delineamento experimental usado foi em blocos completos ao acaso, com parcelas subdivididas, e três repetições. A parcela principal foi constituída por SMS, e a subparcela, por SRCs. A parcela principal media 360 m<sup>2</sup> e a subparcela, 40 m<sup>2</sup>.

Em novembro de 1985, antes da semeadura das culturas de inverno, para instalação do experimento, o solo foi escarificado com implemento de cinco hastes rígidas, de 0,30 a 0,70 m de profundidade e submetido à correção de acidez com 7,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (PRNT 90%), visando a elevar o pH em água a 6,0. Depois, não foi mais aplicado calcário na área experimental. A adubação de manutenção foi baseada na média dos valores observados nas análises químicas da área experimental. Valores de pH, Al, Ca, Mg trocáveis, matéria orgânica, P extraível e K trocável, nas camadas 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m, determinado após as culturas de inverno, em 1993, são apresentados nas tabelas 1 e 2.

Os tratamentos com preparo de solo foram realizados sempre antes da instalação das culturas de inverno somente uma vez por ano. As culturas de inverno foram estabelecidas em maio (aveia branca e ervilhaca) e junho (trigo). As culturas de verão, em sistema plantio direto, foram instaladas a partir de outubro (milho ou sorgo) e novembro (soja), após a colheita das culturas de inverno. Foram usadas, de 1986 a 2005, como adubação de manutenção para as culturas de inverno, de 200 a 300 kg ha<sup>-1</sup> das fórmulas 5-20-20 e 5-25-25; para milho, de 200 a 250 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 5-25-25; e para soja, de 200 a 300 kg ha<sup>-1</sup> das fórmulas 0-20-20 e 0-25-25. A cultura de ervilhaca não foi adubada, nesse período. A fonte de nitrogênio utilizada, como cobertura, nas culturas de inverno, foi a uréia. Milho e sorgo não receberam adubação de cobertura. As culturas tanto no inverno como no verão produziram mais sob PD e CM, em comparação com as mesmas sob PCD e PCA. A monocultura de trigo e de soja produziu menos do que sob rotação de culturas. A precipitação pluviométrica normal, na região de Passo Fundo tem sido, na média de 30 anos, em torno de 1.660 mm. Porém, em alguns meses do ano, tais como dezembro, janeiro ou março, ocorrem períodos relativamente secos (40 a 110 mm) e em outros excesso de precipitação: junho, setembro e outubro (130 a 160 mm). Nessa região, as quatro estações do ano são bem definidas quanto às temperaturas.

Em agosto de 2005, após a colheita ou o manejo das culturas de inverno, foram coletadas amostras de solo compostas (duas subamostras por parcela), nas profundidades 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m. As análises (pH em água, P, K, matéria orgânica, Al e Ca + Mg) seguiram o método descrito por TEDESCO et al. (1985). O

carbono orgânico, em cada camada, foi determinado pela expressão:  $C_{\text{acumulado}} = C \cdot D_s \cdot L$ , em que  $C_{\text{acumulado}}$  corresponde ao carbono acumulado em  $\text{Mg ha}^{-1}$ ;  $C$  é o conteúdo de carbono em  $\text{g kg}^{-1}$  de solo;  $D_s$ , a densidade do solo em  $\text{g cm}^{-3}$ ; e  $L$ , a espessura da camada em centímetros (ROSCOE e MACHADO, 2002).

**Tabela 1.** Valores de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, matéria orgânica, fósforo extraível, potássio trocável, determinado após culturas de inverno, nos quatro sistemas de manejo de solo, em 1993

Sistema de manejo de solo	Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
	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 aivecas	5,37	5,39	5,36	5,32
Cultivo mínimo	5,55	5,45	5,47	5,45
	Al ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )			
Plantio direto	0,25	0,40	0,46	0,53
Preparo convencional de solo com arado de discos	0,28	0,23	0,23	0,40
Preparo convencional de solo com arado de aivecas	0,44	0,42	0,46	0,54
Cultivo mínimo	0,19	0,28	0,26	0,38
	Ca ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )			
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 aiveca	41	41	40	39
Cultivo mínimo	49	47	48	44
	Mg ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )			
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 aivecas	22	21	22	22
Cultivo mínimo	24	23	25	25
	Matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ )			
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 aivecas	29	30	29	27
Cultivo mínimo	36	32	28	27
	P ( $\text{mg kg}^{-1}$ )			
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 aivecas	13,5	11,9	9,3	8,9
Cultivo mínimo	28,0	21,9	12,5	7,7
	K ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )			
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 aivecas	217	165	135	98
Cultivo mínimo	277	197	139	97

**Tabela 2.** Valores de pH em água, alumínio, cálcio, magnésio trocáveis, matéria orgânica, fósforo extraível, potássio trocável, determinado após culturas de inverno, nos três sistemas de rotação de culturas, em 1993

Sistema de rotação de culturas	Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
	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	0,33	0,30	0,34	0,43
Rotação de culturas II	0,29	0,33	0,38	0,45
Rotação de culturas III	0,28	0,35	0,34	0,49
	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 <sup>-1</sup> )			
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 <sup>-1</sup> )			
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 (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
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; II: trigo/soja e ervilhaca/milho; e III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

Os SMSs e os SRCs foram comparados para cada propriedade química de solo, na mesma 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 (SAS, 2003). A significância dos contrastes foi dada pelo teste F, levando-se em conta o desdobramento dos graus de liberdade do erro.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Sistemas de manejo de solo (SMSs)

Os resultados serão discutidos a partir da avaliação de 1993, na qual foi feita a amostragem do

solo em quatro profundidades. Os valores médios de pH do solo (Tabela 3), em todos os SMSs, em 2005, foram menores em relação ao observado, em 1993, em todas as camadas estudadas (Tabela 1). Nos SMSs e de rotação de culturas (SRCs) houve acidificação em todas as camadas estudadas, necessitando nova calagem, para restabelecer condição recomendada para leguminosas (SBCS, 2004). SANTOS e TOMM (1996), PAIVA et al. (1996) e CIOTTA et al. (2002), estudando SRCs e SMSs, obtiveram resultados concordantes para os valores de pH do solo. De acordo com ERNANI et al. (2001), a dissolução dos fertilizantes fosfatados e a nitrificação dos nitrogenados amoniacais ou amídicos pode contribuir para a acidificação da camada superficial de solo, principalmente quando se consideram 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 em toda a camada arável a acidez originada por fertilizantes. Esse processo também foi observado, neste estudo, nos tratamentos preparo convencional de solo com arado de discos (PCD) e preparo convencional de solo com arado de aivecas (PCA). Observaram-se em PCA e PCD valores maiores de pH, nas camadas 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m, em relação ao plantio direto (PD) e ao cultivo mínimo (CM). Todos os SMSs estudados tiveram valores superiores de pH em comparação à floresta subtropical (FST), em todas as camadas estudadas. SILVEIRA e STONE (2001) verificaram, em Latossolo Vermelho perférrico, que, sob PCA (5,56 e 5,55), os valores de pH foram mais elevados do que sob preparo convencional de solo com grade aradora (5,45 e 5,64) e sob PD (5,44 e 5,45), nas camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m. SANTOS et al. (1995) observaram, na mesma classe de solo, diferenças para valor de pH somente para a seqüência aveia branca/soja, cevada/soja e ervilhaca/milho, na qual o PCD (5,73 e 5,63) foi superior ao PD (5,40 e 5,40), nas camadas 0-0,05 cm e 0,05-0,10 m respectivamente. O valor de pH aumentou da camada 0-0,05 cm para a camada 0,15-0,20 m.

O valor de Al trocável de solo (Tabela 3), em todos os SMSs e em todas as profundidades, foi maior após treze anos, em relação a 1993 (Tabela 1). O teor de Al variou inversamente com o pH em todos os SMSs. Observou-se, nesse caso, que a calagem realizada em 1985 perdeu o efeito residual. Nas camadas 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m, sob PD houve valor maior de Al do que em PCD, PCA e CM. Em FST, ocorreu o maior valor de Al trocável, em relação a todos os SMSs estudados, nas camadas 0-0,05 m a 0,15-0,20 m, em razão da natureza ácida do Latossolo. SANTOS et al. (1995) observaram diferenças para valor de Al em dois sistemas de rotação de culturas que incluíam cevada, soja, ervilhaca, milho e aveia branca, em que o valor de Al do PCD ( $1,2$  e  $1,8$   $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) foi superior ao do PD ( $0,0$  e  $0,0$   $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), na camada 0-0,05 m. SILVEIRA e STONE (2001), em Latossolo Vermelho perférrico, verificaram que o valor de Al trocável sob PD ( $2,4$   $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) foi mais elevado do que sob PCA ( $1,9$   $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), na camada 0-10 cm. Em dois dos quatro SMSs, houve diferenças quanto ao valor de Al, em todas as camadas estudadas. O valor de Al trocável da camada 0-0,05 m foi menor, em relação à camada 0,10-0,15 m, no PD e no CM.

Os teores de Ca e de Mg trocáveis do solo observados em todas as camadas (Tabelas 4 e 5) são considerados elevados para o crescimento e desenvolvimento das culturas tradicionais da região (SBCS, 2004). Entretanto, esses valores foram menores que

os observados, em 1993 (Tabela 1). A acidez do solo da área experimental havia sido corrigida com calcário dolomítico vinte e um anos antes desta avaliação. Na camada 0-0,05 m, em PD o teor de Ca foi maior do que em PCD e PCA, porém, na camada 0,05-0,10 m ocorreu o inverso. Na camada 0,10-0,15 m, em PCD o teor de Ca foi mais elevado do que em PD e PCA (Tabela 2). Por sua vez, o CM foi superior no teor de Ca, em relação ao PD, nas camadas 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m. Em todas as camadas estudadas, o teor de Ca e de Mg de todos os SMSs foi maior do que da FST (Tabelas 3 e 4). Na camada 0-0,05 m, o teor de Mg sob PD foi maior do que nos demais SMSs, porém nas camadas 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m, PCD e PCA foram superiores ao PD e ao CM. Os teores de Ca e de Mg diminuíram da camada 0-0,05 cm para a camada 0,10-0,15 m no PD e no CM. CIOTTA et al. (2002), em Latossolo Bruno álico, verificaram concentrações variáveis de Ca (de 36 para 17  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) e Mg trocáveis (de 12 para 47  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na superfície de solo, no PD, enquanto no perfil do solo no PCD os teores foram praticamente uniformes, para 0,15-0,20 m (Ca: 17 e 18; e Mg: 5 e 5  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ).

O nível de matéria orgânica do solo - MOS (Tabela 4), nas duas primeiras camadas, no PD e no CM, foi superior ao registrado treze anos antes, em 1993 (Tabela 1). Nos SMSs, destacou-se o PD, sistema no qual tem sido observado acúmulo de MOS na camada superficial do solo, indicando que essa prática de manejo de solo pode contribuir para o aumento do nível de MOS, e, conseqüentemente, da fertilidade de solo. Nessa avaliação, o nível de MOS no PD não foi estatisticamente diferente da FST, revelando a eficiência do sistema PD em acumular carbono, assemelhando-se à floresta subtropical. No PD, o nível mais elevado de MOS ocorreu na camada superficial e, conseqüentemente, maior concentração de substâncias húmicas solúveis (SALET, 1994). Esse resultado sugere que o PD contribui para a manutenção da MOS na superfície e, após vários anos, provavelmente, para o aumento da capacidade de suprimento de N do solo (BAYER et al., 2000) que é o nutriente mais limitante ao rendimento de grãos para gramíneas. O PD foi superior a todos os demais SMSs estudados para nível de MOS, na camada 0-0,05 m, o que pode beneficiar, por exemplo, o maior rendimento de grãos de milho, soja e trigo, sob plantio direto em relação aos preparo convencionais de solo, por disponibilizar nutrientes, na camada de maior absorção pelas raízes das plantas. SANTOS et al. (1995) verificaram nível de MOS maior no PD ( $31$  a  $35$   $\text{g kg}^{-1}$ ), em relação ao PCD ( $27$  a  $28$   $\text{g kg}^{-1}$ ), na camada 0-0,05 m. DE MARIA et al. (1999), em Latossolo Vermelho, observaram nível de MOS superior no PD ( $43$   $\text{g kg}^{-1}$ ), em comparação ao CM ( $40$   $\text{g kg}^{-1}$ ) e ao PCD ( $38$   $\text{g kg}^{-1}$ ), na camada 0-0,05 m.

**Tabela 3.** Valores de pH em água, alumínio e cálcio trocáveis, avaliados após as culturas de verão, em quatro camadas e diferentes sistemas de manejo de solo, em 2005

Sistema de manejo de solo	Profundidade (m)									
	pH (1:1)				Contraste entre profundidades (P > F)					
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0-0,05 X 0,05-0,10	0-0,05 X 0,10-0,15	0-0,05 X 0,15-0,20	0,05-0,10 x 0,10-0,15	0,05-0,10 X 0,15-0,20	0,10-0,15 X 0,15-0,20
PD	5,03	4,93	5,02	5,13	*	ns	*	ns	**	*
PCD	5,09	5,13	5,22	5,20	ns	**	**	*	ns	ns
PCA	5,10	5,13	5,17	5,16	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CM	5,03	5,01	5,04	5,09	ns	ns	ns	ns	ns	ns
FST	4,43	4,37	4,37	4,40	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Contraste entre manejo									
PD x PCD	ns	**	**	ns						
PD x PCA	ns	**	**	ns						
PD x CM	ns	ns	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	9,33	19,10	19,37	15,99	**	**	**	ns	*	*
PCD	12,54	13,01	11,98	13,17	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PCA	12,79	12,86	13,67	13,28	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CM	11,04	13,66	14,70	15,72	*	**	**	ns	**	ns
FST	36,27	43,00	46,67	45,37	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Contraste entre manejo									
PD x PCD	ns	**	**	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	ns	ns	ns						
PCD x FST	**	**	**	**						
PCA x CM	ns	ns	ns	ns						
PCA x FST	**	**	**	**						
CM x FST	**	**	**	**						
	Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				Contraste entre profundidades (P > F)					
PD	37	28	28	32	**	**	**	ns	ns	ns
PCD	32	33	34	33	ns	*	ns	ns	ns	ns
PCA	31	31	31	32	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CM	34	33	32	32	ns	*	*	ns	ns	ns
FST	21	13	8	9	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						
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 convencional de solo com arado de aivecas; CM: cultivo mínimo; e FST: floresta subtropical.

**Tabela 4.** Valores de magnésio trocável, matéria orgânica e fósforo extraível, avaliados após as culturas de verão, em quatro camadas e diferentes sistemas de manejo de solo, em 2005

Sistema de manejo de solo	Profundidade (m)				Profundidade (m)					
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0-0,05 X 0,05-0,10	0-0,05 X 0,10-0,15	0-0,05 X 0,15-0,20	0,05-0,10 x 0,10-0,15	0,05-0,10 X 0,15-0,20	0,10-0,15 X 0,15-0,20
	Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				Contraste entre profundidades (P > F)					
PD	16	11	11	12	**	**	**	ns	ns	ns
PCD	14	14	15	14	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PCA	14	14	14	14	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CM	14	13	13	12	*	ns	ns	ns	*	ns
FST	7	4	3	4	ns	*	ns	ns	ns	ns
	Contraste entre manejo									
PD x PCD	**	**	**	*						
PD x PCA	**	**	**	*						
PD x CM	**	**	**	ns						
PD x FST	**	**	**	**						
PCD x PCA	ns	ns	ns	ns						
PCD x CM	ns	*	**	*						
PCD x FST	**	**	**	**						
PCA x CM	ns	*	*	*						
PCA x FST	**	**	**	**						
CM x FST	**	**	**	**						
	Matéria orgânica (g dm <sup>-3</sup> )				Contraste entre profundidades (P > F)					
PD	40	31	26	25	**	**	**	**	**	ns
PCD	28	28	28	27	ns	Ns	ns	ns	ns	ns
PCA	28	28	27	27	ns	Ns	ns	ns	ns	ns
CM	32	31	29	27	ns	**	**	*	**	ns
FST	36	29	26	28	*	*	*	ns	ns	ns
	Contraste entre manejo									
PD x PCD	**	**	*	ns						
PD x PCA	**	**	ns	ns						
PD x CM	**	ns	**	ns						
PD x FST	ns	ns	ns	ns						
PCD x PCA	ns	ns	ns	ns						
PCD x CM	**	**	ns	ns						
PCD x FST	**	ns	ns	ns						
PCA x CM	**	**	ns	ns						
PCA x FST	**	ns	ns	ns						
CM x FST	**	ns	ns	ns						
	P (mg kg <sup>-1</sup> )				Contraste entre profundidades (P > F)					
PD	59,6	53,9	37,6	18,6	ns	**	**	**	**	**
PCD	31,7	31,8	33,5	30,3	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PCA	33,7	33,0	33,8	29,6	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CM	46,1	49,7	39,2	27,8	ns	ns	**	ns	**	ns
FST	4,3	3,3	2,7	3,0	*	**	*	ns	ns	ns
	Contraste entre manejo									
PD x PCD	**	**	ns	*						
PD x PCA	**	**	ns	*						
PD x CM	**	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						
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 convencional de solo com arado de aivecas; CM: cultivo mínimo; e FST: floresta subtropical.

**Tabela 5.** Valores de potássio trocável e carbono orgânico, avaliados após as culturas de verão, em quatro camadas e diferentes sistemas de manejo de solo, em 2005

Sistema de manejo de solo	Profundidade (m)									
	0-0,05				0,05-0,10		0,10-0,15		0,15-0,20	
	X	X	X	x	X	X	X	X	X	
	K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				Contraste entre profundidades (P > F)					
PD	298	262	225	195	*	**	**	**	**	*
PCD	255	265	280	247	ns	ns	ns	ns	ns	*
PCA	273	283	287	264	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CM	276	263	249	222	ns	ns	**	ns	**	ns
FST	83	53	41	44	*	**	*	ns	ns	ns
	Contraste entre manejo									
PD x PCD	**	ns	**	**						
PD x PCA	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						
PCD x FST	**	**	**	**						
PCA x CM	ns	ns	*	**						
PCA x FST	**	**	**	**						
CM x FST	**	**	**	**						
	C orgânico (g kg <sup>-1</sup> )				Contraste entre profundidades (P > F)					
PD	24,1	23,8	20,3	19,7	ns	**	**	**	**	ns
PCD	17,4	19,9	20,1	19,3	**	**	**	ns	ns	ns
PCA	17,1	19,7	19,3	19,4	**	**	**	ns	ns	ns
CM	19,3	21,2	19,7	18,5	*	ns	ns	ns	**	ns
FST	18,5	16,9	15,5	16,4	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Contraste entre manejo									
PD x PCD	**	**	ns	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	ns	ns						
PCD x FST	ns	*	**	*						
PCA x CM	*	ns	ns	ns						
PCA x FST	ns	*	**	*						
CM x FST	*	**	**	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 convencional de solo com arado de aivecas; CM: cultivo mínimo; e FST: floresta subtropical.

Houve diferenças no nível de MOS entre as profundidades no PD e no CM, decrescendo progressivamente da camada 0-0,05 m para a camada 0,15-0,20 m. Na FST, isso foi verdadeiro até a camada 0,10-0,15 m. A manutenção do nível de MOS na camada superficial de solo em valores mais elevados, principalmente nos sistemas conservacionistas, decorre do acúmulo de resíduos vegetais sobre a superfície de solo sob PD, em virtude da ausência de incorporação física realizada pelo revolvimento de solo, o que diminui a taxa de mineralização no PD.

O teor de P extraível do solo, em todas as camadas e em todos os SMSs, foi superior ao valor considerado crítico (9,0mg kg<sup>-1</sup>, de acordo com SBCS (2004) nessa classe de solo para crescimento e desenvolvimento de culturas tradicionais (Tabela 4). O teor de P observado na avaliação de 2005, em todas as camadas e em SMSs, foi mais elevado que o teor avaliado em 1993 (Tabela 1). Provavelmente, esse fato foi decorrente da acumulação resultante da aplicação superficial desse nutriente duas vezes ao ano. O PD e o CM foram superiores ao PCD e ao PCA, para teor

de P, nas camadas 0-0,05 m e 0,05-0,10 m, sendo também verdadeiro, para PD, em comparação ao CM, na camada 0-0,05 m. Esse acúmulo de P extraível na camada superficial do solo nos sistemas conservacionista tem sido mais benéfico do que nos sistemas de preparo convencionais de solo, por estar mais prontamente disponível na camada de maior absorção de nutrientes pelas raízes das plantas. Em todos os SMSs o teor de P foi maior do que em FST, em todas camadas estudadas. Dados similares foram obtidos por SANTOS et al. (1995), na comparação do PD (26 a 39 mg kg<sup>-1</sup>) com PCD (17 a 18 mg kg<sup>-1</sup>); por DE MARIA et al. (1999), na comparação do PD (35 mg kg<sup>-1</sup>) com CM (28 mg kg<sup>-1</sup>) e com PCD (28 mg kg<sup>-1</sup>); e por MATOWO et al. (1999), comparando PD (60 a 88 mg kg<sup>-1</sup>) com CM (47 a 55 mg kg<sup>-1</sup>), na camada 0-5 cm. Desse modo, os sistemas conservacionistas provocaram alterações nas propriedades químicas de solo, as quais, por sua vez, refletem-se na fertilidade e na eficiência de uso de nutrientes pelas espécies (SÁ, 1993).

O acúmulo de P nas camadas mais próximas à superfície nos sistemas de manejo conservacionistas decorre da mínima mobilização de solo por ocasião da distribuição de sementes e de fertilizantes e da baixa mobilidade desse nutriente no solo. Os SMSs estudados diferiram quanto ao teor de P, na maioria das profundidades estudadas, diminuindo da camada 0-0,05 cm para a camada 0,15-0,20 m. Esse comportamento foi mais evidente no PD do que no CM, determinando diferenças no teor de P extraído, na camada 0-0,05 m, de 1,7 a 3,2 vezes superiores em relação à camada 0,15-0,20 m. Resultados semelhantes de acúmulo de P no PD foram registrados, na camada 0-0,05 m (291 mg kg<sup>-1</sup>), em relação à camada 0,15-0,20 m (19 mg kg<sup>-1</sup>) por BAYER e BERTOL, 1999. Além disso, em áreas sob longo período de PD, a adição sucessiva de fertilizantes fosfatados, associada à intensa atividade microbiana na camada superficial de solo coberto por resíduos vegetais, pode favorecer o carreamento vertical 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, visto que sob PD não há incorporação de resíduos vegetais pelo do revolvimento de solo.

O teor de K disponível, em todas camadas e em todos SMSs (Tabela 5), foi superior ao valor considerado crítico (80 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, de acordo com SBCS, 2004) para crescimento e desenvolvimento das culturas tradicionais. O teor de K, em todas as camadas e no PD, PCD e PCA, foi mais elevado que o teor avaliado em 1993 (Tabela 1). Em SMSs, em todas as camadas estudadas, o teor de K foi superior ao da FST. Além disso, sob PD o

teor de K trocável, na camada 0-0,05 m, foi maior que do PCD. Da mesma forma, para o teor de P extraível, o acúmulo de K trocável na camada superficial sob plantio direto tem sido mais benéfico na nutrição das espécies em estudo do que na camada 0,10 a 0,20 m, dos sistemas de preparo convencionais de solo.

Nos resultados verificados por DE MARIA et al. (1999), em PD (23 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e CM (22 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) ocorreu maior teor de K em relação ao PCD (17 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Houve diferença significativa do teor de K, na maioria das profundidades estudadas, diminuindo o valor da camada 0-0,05 m para a camada mais profunda (0,15-0,20 m). Essa tendência foi mais evidente no PD do que no CM, ou seja, o teor de K foi 1,2 a 1,5 vezes superior, na camada 0-0,05 m, em comparação à camada 0,15-0,20 m. Nos sistemas conservacionistas, os fertilizantes à base de K são depositados na superfície ou na linha de semeadura. Além disso, os resíduos vegetais são deixados na superfície, o que permite que esse elemento se acumule na camada superficial do solo. No PD e CM também pode haver perdas de menores quantidades desse nutriente por erosão, comparativamente aos sistemas desprovidos de cobertura de palha, conforme constataram HERNANI et al. (1999).

O nível de carbono orgânico (C) diferiu significativamente entre os SMSs, nas camadas 0-0,05 e 0,05-0,10 m (Tabela 5). No PD o teor de C foi superior aos demais SMSs e à FST, na camada 0-0,05 m. Além disso, PD foi superior a FST, nas camadas 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m. Por sua vez, o teor de C em CM foi mais elevado do que em PCD e PCA, na camada 0-0,05 m. Por outro lado, PCD e PCA foram superiores para teor de C, em comparação a FST, nas camadas 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m. No tratamento CM, ocorreu maior teor de C do que em FST, nas camadas 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m.

BERTOL et al. (2004), comparando SMSs, obteve teor de C de 27% no PD e 54% no campo nativo, em relação ao PCD, na camada 0-0,10 m. A explicação da diferença entre SMSs é que, nos sistemas de preparo convencionais de solo, a intensa mobilização do solo promove rápida diminuição da matéria orgânica e como conseqüência, aumenta a emissão de CO<sub>2</sub>, quando comparado com os sistemas conservacionistas (BAYER et al., 2000). Observa-se ainda que, PD e CM superaram a FST para o nível de carbono orgânico, na maioria das camadas estudadas. Segundo CORAZZA et al. (1999), existe a possibilidade de o PD promover aumento do teor de carbono, contribuindo assim para o seqüestro de C atmosférico, ao contrário dos sistemas de preparo convencionais que, com revolvimento sistemático do solo, tendem a atuar em sentido oposto. Houve acúmulo de carbono, na camada 0-0,05 m, em comparação à camada 0,15-0,20 m, no PD. Assim, o PD funcionou proporcionou maior acúmulo C no solo.

**Tabela 6.** Valores de pH em água, de alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, avaliados após as culturas de verão, em quatro camadas e diferentes sistemas de rotação de culturas, em 2005

Sistema de manejo de solo	pH (1:1)				Profundidade (m)					
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0-0,05 X 0,05-0,10	0-0,05 X 0,10-0,15	0-0,05 X 0,15-0,20	0,05-0,10 x 0,10-0,15	0,05-0,10 X 0,15-0,20	0,10-0,15 X 0,15-0,20
I	4,93	4,97	5,06	5,11	ns	ns	**	ns	*	ns
II	5,03	5,03	5,11	5,16	ns	*	**	**	**	ns
III	5,13	5,09	5,13	5,15	ns	ns	ns	ns	ns	ns
FST	4,43	4,37	4,37	4,40	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Contraste entre rotações										
I x II	ns	ns	ns	ns						
I x III	**	**	ns	ns						
I x FST	**	**	**	**						
II x III	**	ns	ns	ns						
II x FST	**	**	**	**						
III x FST	**	**	**	**						
Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )										
I	10,81	14,07	15,25	14,52	*	**	*	ns	ns	ns
II	12,09	15,28	14,45	13,79	*	ns	ns	ns	ns	ns
III	11,19	14,44	15,14	15,05	**	**	**	ns	ns	ns
FST	36,27	43,00	46,67	45,37	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Contraste entre rotações										
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 (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )										
I	35	32	32	33	ns	ns	ns	ns	ns	ns
II	32	30	31	32	ns	ns	ns	ns	ns	ns
III	34	31	31	32	**	**	*	ns	ns	ns
FST	21	13	8	9	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Contraste entre rotações										
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	**	**	**	**						
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )										
I	14	13	13	13	ns	ns	ns	ns	ns	ns
II	14	13	14	14	ns	ns	ns	ns	ns	ns
III	15	13	13	13	**	**	**	ns	ns	ns
FST	7	4	3	4	ns	*	ns	ns	ns	ns
Contraste entre rotações										
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%.

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

**Tabela 7.** Valores de matéria orgânica, fósforo extraível, potássio trocável e carbono orgânico, avaliados após as culturas de verão, em quatro camadas e diferentes sistemas de rotação de culturas, em 2005

Sistema de manejo de solo	Profundidade (m)				Profundidade (m)					
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0-0,05 X 0,05-0,10	0-0,05 X 0,10-0,15	0-0,05 X 0,15-0,20	0,05-0,10 x 0,10-0,15	0,05-0,10 X 0,15-0,20	0,10-0,15 X 0,15-0,20
Matéria orgânica (g dm <sup>-3</sup> )					Contraste entre profundidades (P > F)					
I	31	28	27	26	ns	**	**	ns	ns	ns
II	31	29	28	27	ns	**	**	ns	**	ns
III	33	29	27	27	**	**	**	*	*	ns
FST	36	29	26	28	*	*	*	ns	ns	ns
Contraste entre rotação										
I x II	ns	ns	ns	ns						
I x III	*	ns	ns	ns						
I x FST	**	ns	ns	ns						
II x III	*	ns	ns	ns						
II x FST	**	ns	ns	ns						
III x FST	ns	ns	ns	ns						
P (mg kg <sup>-1</sup> )					Contraste entre profundidades (P > F)					
I	47,4	57,1	47,1	36,1	ns	ns	ns	ns	*	ns
II	42,0	39,2	30,3	21,1	ns	**	**	*	**	*
III	41,7	39,0	36,1	27,0	ns	ns	**	ns	**	*
FST	4,3	3,3	2,7	3,0	*	**	*	ns	ns	ns
Contraste entre rotação										
I x II	ns	**	**	**						
I x III	ns	**	ns	ns						
I x FST	**	**	**	**						
II x III	ns	ns	ns	ns						
II x FST	**	**	**	*						
III x FST	**	**	**	**						
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )					Contraste entre profundidades (P > F)					
I	285	280	263	241	ns	ns	ns	ns	ns	ns
II	277	264	253	219	ns	ns	**	ns	**	*
III	272	267	265	238	ns	ns	**	ns	**	*
FST	83	53	41	44	*	**	*	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	**	**	**	**						
C orgânico (g kg <sup>-1</sup> )					Contraste entre profundidades (P > F)					
I	18,7	21,2	20,1	19,8	*	ns	ns	ns	ns	ns
II	19,4	21,0	20,0	19,0	*	ns	ns	ns	**	*
III	19,8	21,2	19,7	19,2	*	ns	ns	*	**	ns
FST	18,5	16,9	15,5	16,4	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	ns	**	**	*						
II x III	ns	ns	ns	ns						
II x FST	ns	**	**	ns						
III x FST	ns	ns	**	*						

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

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

De acordo com CORAZZA ET al. (1999), os sistemas não perturbados com pastagem cultivada, reflorestamento de eucalipto e lavoura em rotação sob PD foram superiores para nível de carbono, em relação à vegetação típica de cerrado ou lavoura sob preparo convencional de solo com arado de discos e com grade pesada (sistemas perturbados), na camada 0-1 m. Segundo LAL et al. (1995), a ocupação do solo por atividade com reduzida intensidade de preparo ou mesmo sem preparo indica que podem ocorrer recuperação e até mesmo acumulação de C superior à verificada em vegetação nativa. Além disso, uma estratégia econômica e ambientalmente sustentável para adicionar N, e conseqüentemente C no solo, é a utilização de leguminosas em sistemas de rotação de culturas.

### Sistemas de rotação de culturas (SRCs)

Os valores de pH em água, Ca, Mg e K trocáveis e de P extraível, e o teor de matéria orgânica (MOS), em todas as camadas e nos SRCs, em 2005, foram menores do que os valores avaliados, enquanto para o teor de Al trocável ocorreu o inverso, em 1993 (Tabela 2). Nos sistemas de SRCs estudados, os valores de pH, Ca, Mg e K trocáveis, P extraível e C foram maiores que os da FST, ao passo que para os valores de Al trocável ocorreu o inverso (tabelas 6 e 7). Por outro lado, o valor de MOS no sistema III foi maior que nos sistemas I e II, na camada 0-0,05 m. Não houve diferença significativa entre os valores de Al, Ca, Mg e K trocáveis e C, nos diferentes SRCs. Esse fato revela que as seqüências de espécies componentes dos SRCs não promoveram alterações na concentração desses nutrientes no solo. No sistema I (trigo/soja), nas camadas 0-0,05 e 0,05-0,10 m, ocorreu valor menor de pH (Tabela 6), em relação ao sistema III (trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja). Além disso, o sistema III foi superior ao sistema II (trigo/soja, ervilhaca/milho), na camada 0-5 cm. No sistema III, o teor de carbono orgânico (Tabela 6) foi mais elevado do que nos sistemas I e II, na camada 0,05-0,10 m. Em parte, pode ser decorrente da utilização de leguminosas como cobertura de solo, no inverno, e de adubação verde, no verão, no milho ou sorgo. Por sua vez, o teor de P, do sistema I, foi maior, em comparação ao sistema II, nas camadas 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m (Tabela 7). Esse fato também foi verificado entre o sistema I e o sistema III, nas camadas 0,05-0,10 m, para o teor de P extraível. Essa diferença entre os SRCs pode ser explicada, em parte, pelo fato de a ervilhaca ser estabelecida como cultura de cobertura de solo, sem aplicação de adubação de manutenção. SANTOS e TOMM (1999) verificaram diferenças no teor de P em monocultura trigo/soja ( $12 \text{ mg kg}^{-1}$ ), na camada 0 a 0,05 m, sob PD, em comparação aos SRCs: trigo/soja e aveia branca/soja ( $6 \text{ mg kg}^{-1}$ ); trigo/soja, ervilhaca/

milho e aveia branca/soja ( $7 \text{ mg kg}^{-1}$ ); e, trigo/soja, ervilhaca/milho, cevada/soja e aveia branca/soja ( $7 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Em FST o nível de MOS foi maior do que nos sistemas I e II, na camada 0-0,05 m.

Nos sistemas II e III e na FST, os níveis de MOS e os teores de P e de K diminuíram da camada 0 - 5 cm para a camada 0,10-0,15 m (Tabela 7). Também foi verdadeiro para o teor de Ca e de Mg, no sistema III, revelando que em sistemas naturais sob floresta também ocorre acúmulo de macronutrientes na superfície do solo (Tabela 6). Acúmulos similares de P e de K na camada 0 a 0,05 m, em relação à camada 0,15 a 0,20 m, foram relatados por MATOWO et al. (1999) e SANTOS e TOMM (1998, 1999). SANTOS et al. (1995) e SANTOS e TOMM (1998, 1999) em SRCs, sob PD, que os níveis de MOS decresceram progressivamente da camada 0-0,05 m para a camada 0,15-0,20 m. No sistema II e na FST, o valor de pH aumentou da camada 0-0,05 m para camada 0,10-0,15 m. Igualmente, foi verdadeiro para o teor de Al, nos sistemas I e III. Os valores de pH, Al, Ca e Mg refletem diferenças na distribuição de calcário na camada arável, em função dos SRCs. Os valores de MOS, P e K refletem as diferenças de seu acúmulo na superfície da camada arável, em razão da diferença no modo de revolvimento de solo dos distintos SMSs. Os resultados observados comprovam o efeito benéfico da rotação de culturas na ciclagem e na distribuição de nutrientes no solo. Ao se compararem os valores dos atributos químicos dos SRCs com os da FST, verificou-se que o uso do solo com agricultura induz alterações relevantes na quantidade de nutrientes e nos níveis de matéria orgânica, e esses aumentos evidenciaram que, no PD, a MOS é mais preservada. BAYER et al. (2000), estudando sistemas de rotação de culturas para milho, não observaram diferenças entre os tratamentos para o teor de C do solo. Porém, o teor de C nos SRCs foi maior do que na FST. Por outro lado, os SRCs aumentaram o teor de C do solo da camada 0-0,05 m para a camada 0,05-0,10 m.

### 4. CONCLUSÕES

1. No plantio direto houve acúmulo de matéria orgânica, fósforo extraível e potássio trocável, na camada 0-0,05 m.

2. Não houve diferença no teor de matéria orgânica entre o plantio direto e com floresta subtropical. Na camada 0-0,05 cm o teor de matéria orgânica da rotação III (trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja) foi igual ao da floresta subtropical. O teor de carbono orgânico foi mais elevado sob plantio direto em relação aos demais sistemas de manejo de solo e a floresta subtropical, nas camadas 0-0,05 e 0,05-0,10 m.

3. O teor de matéria orgânica e os teores de fósforo e de potássio diminuíram progressivamente da camada 0-0,05 m para a camada 0,15-0,20 m no plantio direto e nos sistemas de rotação de culturas II (trigo/soja, ervilhaca/milho) e III (trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja).

4. Na floresta subtropical, observaram-se menor valor de pH e teores de cálcio, fósforo e potássio, e maior teor de Al em relação aos sistemas de manejo do solo e aos sistemas de rotação de culturas.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L.P.; KUNTZE, M.A.G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e de plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.3, p.415-424, 2005.
- 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**, Viçosa, v.23, n.3, p.687-694, 1999.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIMNETO, 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.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.155-163, 2004.
- 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.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.425-432, 1999.
- 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.
- HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.1, p.145-154, 1999.
- LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; WHITMAN, C. World soils and greenhouse effect: an overview. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Ed.). **Soils and Global Change**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995. Chap. 1, p.1-7.
- MATOWO, P.R.; PIERYNSKI, G.M.; WHITENEY, 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.
- 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.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86p.
- 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 (Passo Fundo, RS). **Plantio direto no Brasil**. Passo Fundo, 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 Ciência do Solo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Estudos da fertilidade do solo sob quatro sistemas de 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.; 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 em rotação de culturas com cevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.3, p.449-454, 1995.
- 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.2, p.387-394, 2001.

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P. dos; KOHHANN, R. A.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.76, n.1, p.39-58, 2004.

SBCS - 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. 394p.

SAS - STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS INSTITUTE. *SAS system for Microsoft Windows, version 8.2*. Cary, 2003.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 126p.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 132 p. (Boletim Técnico, 5)