

FERTILIDADE DO SOLO EM ROTAÇÃO DE CULTURAS COM TRITICALE⁽¹⁾

H. P. dos SANTOS⁽²⁾ & G. O. TOMM⁽²⁾

RESUMO

A fertilidade do solo (pH, Al trocável, Ca + Mg trocáveis, matéria orgânica, P extraível e K trocável) foi avaliada, após seis anos de plantio direto, num latossolo vermelho-escuro distrófico (Passo Fundo, RS), em cinco sistemas de rotação de inverno: (1) monocultura de triticale; (2) triticale alternado com aveia-branca; (3) triticale alternado com ervilhaca; (4) triticale alternado com ervilhaca e com aveia-branca e (5) dois invernos sem e dois com triticale alternado com ervilhaca e com aveia-branca. No verão, foi semeado milho ou soja. Os valores de pH, Al trocável, Ca + Mg trocáveis e P extraível do solo não foram afetados pelos sistemas de rotação. Os teores de matéria orgânica foram menores na monocultura de triticale do que nas rotações, na profundidade de amostragem de solo de 10-15 cm. Na profundidade de 5-10 cm, observaram-se também teores de matéria orgânica menores na monocultura em relação ao sistema 5. Os teores de K trocável foram mais elevados na monocultura, em relação aos sistemas 2, 4 e 5, na profundidade de amostragem de solo de 15-20 cm. O pH e os teores de Ca + Mg trocáveis, matéria orgânica, P extraível e K diminuíram, e o de Al trocável aumentou, com a profundidade de amostragem.

Termos de indexação: pH, Al trocável, Ca + Mg trocável, matéria orgânica, P, K, rotação de culturas, triticale.

SUMMARY: SOIL FERTILITY IN CROP ROTATION SYSTEMS FOR TRITICALE

Changes in soil fertility parameters [pH in water (1:1), exchangeable Al, exchangeable Ca + Mg, organic matter, available P, and exchangeable K] were evaluated in 1992, after six years of no-till cropping in a dystrophic Dark-red Latosol (Passo Fundo, State of Rio Grande do Sul, Brazil), under five winter crop rotations: (1) triticales monoculture; (2) triticales alternated with oats; (3) triticales alternated with common vetch; (4) triticales alternated with common vetch and oats; and (5) a sequence of two winters under triticales alternated with two winters under vetch or oats. The crop grown in summer was soybean or maize. The pH, exchangeable Al, exchangeable Ca + Mg, and available P were not influenced by these crop rotations. The soil organic matter content at the 10-15 cm depth was lower under triticales monoculture than under winter crop rotations. The organic matter content in the rotation system 5 was higher than under the monoculture, at the 5-10 cm depth. Exchangeable K was higher in triticales monoculture than under crop rotations 2, 4, and 5, at the 15-20 cm depth. The pH, exchangeable Ca + Mg, organic matter content, available P and exchangeable K decreased, whereas higher exchangeable Al levels were observed, as soil sampling depth increased.

Index terms: pH, exchangeable Al, exchangeable Ca + Mg, organic matter, P, K, crop rotation, triticales.

⁽¹⁾ Trabalho da Série Sistemas de Cultivo para Triticale, n.º II. Recebido para publicação em novembro de 1994 e aprovado em julho de 1996.

⁽²⁾ Pesquisador da EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT), Caixa Postal 569, CEP 99001-970 Passo Fundo (RS).

INTRODUÇÃO

No plantio direto, ocorre acúmulo de restos culturais na superfície, causando efeitos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas. Dentre esses efeitos, destaca-se o acúmulo de nutrientes na superfície (Almeida & Rodrigues, 1985, e Santos, 1992), devido à aplicação de corretivos e de fertilizantes que não são incorporados ao solo. Pode-se afirmar que as principais mudanças ocorrem no regime de umidade, na temperatura e na distribuição dos nutrientes no perfil do solo (Muzilli, 1983, 1985).

Além disso, a calagem, nesse sistema de manejo, tem gerado intenso questionamento no meio agrônomo, principalmente quanto à necessidade ou não de incorporar o corretivo ao solo (Sá, 1995). A não-incorporação ao solo diminui a superfície de contato entre o colóide e a partícula de corretivo, constituindo-se o ponto central de discussão quanto à eficiência de sua aplicação em superfície, conforme resultados satisfatórios obtidos por Blevins et al. (1977) na década dos 70s, nos EUA.

Shear & Moschler (1969) e Triplett Jr. & Van Doren Jr. (1969) verificaram o acúmulo de restos culturais na superfície e a elevação dos teores de matéria orgânica, P, Ca, Mg e K, na camada de 0-5 cm, após seis anos de plantio direto. Nos mesmos estudos, verificaram a acidificação do solo, exigindo a aplicação de calcário. Segundo Blevins et al. (1978), 3,4 t ha⁻¹ de calcário, aplicadas na superfície, aumentaram o pH de 4,6 para 5,3, na camada de 0-5 cm.

Nos Estados do Paraná e do Rio Grande do Sul, acúmulo de Ca, Mg e K trocáveis, bem como de P extraível, foi observado nas camadas superficiais, a partir de três a quatro anos de cultivos sob plantio direto (Bouglé & Pereira, 1978; Muzilli, 1983, e Sidiras & Pavan, 1985). Houve aumento de pH e, como consequência, redução do nível de Al trocável na camada de 0-10 cm. A fertilidade do solo não foi afetada pelos sistemas de rotação.

Em latossolo bruno álico e em sistema plantio direto, houve aumento de pH e Ca + Mg trocáveis, com o aumento da profundidade de 0-20 cm, enquanto os teores de Al trocável, matéria orgânica, P extraível e K trocável foram superiores na superfície (0-5 cm), em relação a camadas mais profundas (15-20 cm) (Santos & Lhamby, 1992, e Santos & Siqueira, 1992). Os mesmos autores não verificaram efeitos na fertilidade do solo devidos aos sistemas de rotação. Sá (1993) verificou que o pH se elevou de 4,5 para 5,6 com a aplicação de calcário na superfície.

O acúmulo de P e seu melhor aproveitamento pela cultura de milho, em sistema plantio direto, evidenciado pelo aumento no rendimento de grãos de 5,5 t ha⁻¹ para 6,4 t ha⁻¹, em relação ao cultivo convencional, sugere a possibilidade de reduzir a recomendação de adubação fosfatada sob plantio direto (Muzilli, 1981, 1983).

Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a fertilidade do solo em diversos sistemas de rotação de culturas com triticale, sob plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de sistemas de rotação de culturas para triticale foi desenvolvido no Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT)/EMBRAPA, município de Passo Fundo (RS), em latossolo vermelho-escuro distrófico, de textura argilosa (Brasil, 1973).

Antes da sua instalação (abril de 1986), a área foi descompactada e 4,0 t ha⁻¹ de calcário, aplicadas para corrigir a acidez de solo. Nessa ocasião, os valores da análise da camada de 0-20 cm de solo foram: pH = 5,5; Al trocável = 2,5 mmol_c kg⁻¹; Ca + Mg trocáveis = 69,8 mmol_c kg⁻¹; matéria orgânica = 33,0 g kg⁻¹; P extraível = 13,3 mg kg⁻¹, e K trocável = 61 mg kg⁻¹. Inicialmente, a aveia-preta (*Avena strigosa* Schieb) foi semeada (1986) e ceifada com rolo-faca na floração plena. A seguir, a soja foi semeada (1986) em plantio direto.

A fertilidade do solo foi estudada em cinco sistemas de rotação de culturas para triticale, incluindo monocultura e rotações de um e de dois invernos sem triticale (Quadro 1). Para permitir a avaliação do efeito do ano, o experimento teve uma combinação de tratamentos em que todas as espécies estiveram presentes a cada ano, permitindo que o efeito dos sistemas de rotação fosse separado do efeito que as condições climáticas de cada ano causam no desempenho das culturas. Todas as culturas foram estabelecidas em plantio direto, em blocos ao acaso, com três repetições. A área total das parcelas foi de 24 m² (3 m de largura x 8 m de comprimento).

Em maio de 1989, antes da semeadura de inverno, foram aplicadas 2,8 t ha⁻¹ de calcário com PRNT 70%, correspondentes à dose máxima recomendada para solos sob plantio direto. O calcário não foi incorporado. As quantidades e as fórmulas de fertilizantes aplicados nas diversas culturas encontram-se nos quadros 2 e 3. O nitrogênio, em todos os anos, foi aplicado na forma de uréia.

Em maio de 1992, após as culturas de verão, coletaram-se amostras de solo compostas (quatro subamostras por parcela) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm. As análises (pH em água, fósforo extraível, potássio trocável, matéria orgânica, alumínio trocável e cálcio + magnésio trocáveis) seguiram o método descrito por Tedesco et al. (1985).

A fertilidade do solo, para os diversos sistemas de rotação de culturas para triticale e sob diferentes profundidades de amostragem, foi comparada mediante contrastes com um grau de liberdade (Steel & Torrie, 1980) e as médias, entre si, pelo teste F, ao nível de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em vista que o revolvimento do solo sob preparo convencional propicia a homogeneização na distribuição de nutrientes no mesmo solo (Muzilli, 1985), admite-se que as diferenças na concentração dos elementos químicos e no teor de matéria orgânica entre as diferentes profundidades de amostragem sejam em função do plantio direto.

Quadro 1. Sistemas de rotação de culturas para triticale, com espécies de inverno e de verão, em plantio direto, em 1987-92 EMBRAPA-CNPT, Passo Fundo, 1994⁽¹⁾

Sistema de rotação	1987	1988	1989	1990	1991	1992
1. Monocultura de triticale	Tcl/S	Tcl/S	Tcl/S	Tcl/S	Tcl/S	Tcl/S
2. Um inverno sem triticale intercalado por aveia-preta ou aveia-branca	Tcl/S Ap/S	Ap/S Tcl/S	Tcl/S Ap/S	Ab/S Tcl/S	Tcl/S Ab/S	Ab/S Tcl/S
3. Um inverno sem triticale intercalado por ervilhaca	Tcl/S E/M	E/M Tcl/S	Tcl/S E/M	E/M Tcl/S	Tcl/S E/M	E/M Tcl/S
4. Dois invernos sem triticale intercalado por aveia-preta ou aveia-branca e ervilhaca	Tcl/S Ap/S E/M	Ap/S E/M Tcl/S	E/M Tcl/S Ap/S	Tcl/S E/M Ab/S	E/M Ab/S Tcl/S	Ab/S Tcl/S E/M
5. Dois invernos sem triticale e dois com triticale intercalado por aveia-preta ou aveia-branca e ervilhaca	Tcl/S Tcl/S Ap/S E/M	Tcl/S Ap/S E/M Tcl/S	Ap/S E/M Tcl/S Tcl/S	Ab/S Tcl/S Tcl/S E/M	Tcl/S Tcl/S E/M Ab/S	Tcl/S E/M Ab/S Tcl/S

⁽¹⁾ Ab = aveia-branca; Ap = aveia-preta; E = ervilhaca; M = milho; S = soja, e Tcl = triticale.

Quadro 2. Adubação nitrogenada, fosfatada e potássica aplicada nas culturas de inverno e de verão de 1987 a 1992

Cultura	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg ha ⁻¹		
Aveia-preta	5-10	25-50	25-50
Aveia-branca	5	25	25
Ervilhaca	0	0	0
Milho	10-12	50-67	50-67
Soja	0	40-60	60-90
Triticale	55-60	50-75	50-75

Quadro 3. Fertilizante total aplicado em 1987-92

Sistema de rotação	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg ha ⁻¹		
1	348	635	780
2	190-193 ⁽¹⁾	540-560	685-705
3	207-208	489	559-564
4	147-152	467-489	557-589
5	149-247	492-577	587-722

⁽¹⁾ Intervalo entre a menor e a maior quantidade de fertilizante aplicado ao longo dos anos.

pH do solo

Os valores de pH do solo não diferiram entre os diferentes sistemas de rotação (Quadro 4). Resultados similares foram encontrados por Santos & Roman (1989), trabalhando com sistema de rotação para trigo. Entretanto, observaram-se diferenças significativas do pH do solo entre determinadas profundidades de amostragem, exceto no sistema 3.

Os valores de pH do solo, nos sistemas 2, 3 e 5, foram mais elevados na camada de 0-5 cm (5,45-5,60) do que na 15-20 cm (5,16-5,24). A diferença verificada no pH do solo, entre a profundidade de 5-10 cm e as de 10-15 e 15-20 cm, no sistema 2, ocorreu devido a pequeno erro experimental, mas não é agronomicamente significativa. No sistema 3, não se observaram diferenças de pH do solo entre as diferentes profundidades de amostragem de solo.

O maior pH na profundidade 0-5 cm, em relação à camada de solo imediatamente inferior, nos sistemas 2, 4 e 5, sugere que a aplicação de calcário na superfície do solo corrigiu, em parte, o processo de acidificação na camada de 0-5 cm. Esses resultados concordam com os obtidos por Blevins et al. (1978), em solo "tilsit silt loam", em temperatura e em precipitação média anual, de 14°C e de 1.150 mm, na qual a aplicação de 3,4 t ha⁻¹ de calcário, após três anos, aumentou o pH de 4,6 para 5,3, na camada 0-5 cm.

O valor médio do pH do solo na camada de 0-5 cm foi praticamente igual ao verificado na época da instalação do experimento na de 0-20 cm (5,5). A aplicação de calcário, em maio de 1989, contribuiu, provavelmente, para a manutenção de pH mais elevado na superfície, a exemplo do observado por Blevins et al. (1978) e por Sá (1993). Nas demais camadas (5-10, 10-15 e 15-20 cm), verificaram-se pHs mais baixos do que o inicial. Isso ocorreu devido à perda do efeito residual da calagem, realizada em abril de 1986, e à ausência de redistribuição no perfil do solo do calcário aplicado na superfície em maio de 1989. Nesse solo, seriam necessárias 5,8 t ha⁻¹ de calcário com PRNT 100% para elevar o pH em água a 6,0 na camada de 0-20 cm (Comissão de Fertilidade..., 1989). No entanto, foram aplicadas apenas 2,8 t ha⁻¹. Trabalhos com sistemas de rotação de culturas para cevada e para trigo, sob plantio direto, revelaram efeito residual de aproximadamente 2,5 anos para a calagem, em latossolo bruno álico, de textura franco-argilosa (Guarapuava, PR) (Santos & Lhamby, 1992, e Santos & Siqueira, 1992).

Al trocável do solo

Não houve diferenças entre as médias dos diferentes sistemas de rotação (Quadro 4), para os valores de Al trocável do solo, comparados através de contrastes. Santos & Roman (1989) não observaram diferenças nos valores de Al trocável, em função dos diversos sistemas de rotação de culturas para trigo. Todavia,

registraram-se diferenças significativas do Al trocável do solo, entre determinadas profundidades de amostragem do solo, em todos os sistemas de rotação.

No presente estudo, os valores mais baixos de Al trocável ocorreram na camada de 0-5 cm ($0,8 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e os mais elevados, na camada de 15-20 cm ($5,4 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Em nenhum dos sistemas de rotação

Quadro 4. Valores médios de pH em água, alumínio trocável, cálcio + magnésio trocáveis, matéria orgânica, fósforo extraível e potássio trocável nos diversos sistemas de rotação, nas profundidades de amostragem de solo, determinados após as culturas de verão de 1992

Sistema de rotação	Camada (cm)										
	0-5	5-10	10-15	15-20	CV	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 profundidade					
1	5,63	5,30	5,27	5,20	3	ns	*	*	ns	ns	ns
2	5,45	5,17	5,17	5,16	2	*	*	ns	ns	*	*
3	5,45	5,24	5,22	5,24	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns
4	5,56	5,27	5,18	5,13	3	*	ns	ns	*	*	ns
5	5,60	5,30	5,21	5,18	3	*	ns	*	*	*	*
Al ($\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$)											
						Contraste entre profundidade					
1	0,0	4,3	4,3	5,8	61	ns	ns	*	ns	ns	ns
2	0,8	5,9	5,6	5,5	32	*	ns	ns	*	ns	*
3	0,8	4,3	4,1	5,4	58	ns	ns	*	ns	ns	*
4	1,5	4,7	5,4	6,9	47	*	ns	ns	*	*	ns
5	0,7	5,3	5,5	5,6	50	*	ns	ns	*	*	ns
Ca + Mg ($\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$)											
						Contraste entre profundidade					
1	90,1	66,0	68,0	65,6	9	*	*	*	ns	ns	ns
2	86,2	63,0	66,0	61,7	11	*	ns	ns	*	ns	*
3	82,8	69,0	78,3	65,6	18	ns	ns	ns	ns	ns	ns
4	87,0	70,7	67,9	63,7	10	*	ns	ns	*	*	ns
5	93,2	71,7	69,8	66,1	32	*	ns	ns	*	*	ns
Matéria orgânica (g kg^{-1})											
						Contraste entre profundidade					
1	29,6	24,3	22,7	22,3	6	*	*	*	ns	ns	ns
2	29,3	25,2	24,2	23,3	4	*	ns	*	*	ns	*
3	29,7	24,8	24,3	23,2	4	*	ns	*	*	ns	*
4	29,7	25,4	24,3	23,1	4	*	*	*	*	*	*
5	29,5	26,1	24,1	23,8	3	*	ns	ns	*	*	ns
P (mg kg^{-1})											
						Contraste entre profundidade					
1	30,2	18,8	11,5	7,9	22	*	*	*	ns	*	ns
2	36,2	22,7	11,4	8,9	29	*	ns	*	*	ns	*
3	27,4	16,6	13,0	9,3	34	*	ns	*	ns	ns	*
4	33,6	20,6	11,6	8,2	27	*	ns	*	*	*	*
5	27,9	20,1	11,2	8,0	34	*	ns	*	*	*	*
K (mg kg^{-1})											
						Contraste entre profundidade					
1	200	127	89	71	7	*	*	*	*	*	*
2	197	111	69	54	25	*	ns	*	*	ns	*
3	191	107	66	58	20	*	ns	*	*	ns	*
4	189	105	78	53	20	*	ns	*	*	*	*
5	190	102	61	48	19	*	ns	*	*	*	*

ns: não significativo; *: significativo a 5%.

estudados houve diferenças de Al trocável entre as profundidades de amostragem de 0-5 e 10-15 cm. Os valores de Al trocável relacionaram-se com os verificados para pH: os menores na camada de 0-5 cm, nos sistemas 1 e 5, coincidem com o pH mais elevado dessa profundidade de amostragem de solo, em relação à camada de 5-10 cm.

Em função da aplicação de calcário na superfície, o valor médio do teor de Al trocável dos sistemas de rotação ($0,8 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$), na camada de 0-5 cm, foi inferior ao verificado no início do experimento ($2,5 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$). A ausência de tratamentos com incorporação de calcário não permite a determinação da magnitude da influência da sua aplicação na superfície. Entretanto, a comparação entre os níveis de pH na camada de 0-5 cm e nas mais profundas sugere que a aplicação de calcário na superfície diminuiu o Al trocável, naquela camada.

Ca + Mg trocáveis do solo

Os valores de Ca + Mg do solo (Quadro 4) não diferiram entre os sistemas de rotação. Resultados semelhantes foram relatados por Santos & Roman (1989) em sistemas de rotação de culturas para trigo. Contudo, foram verificadas diferenças significativas nos níveis de Ca + Mg trocáveis do solo, entre determinadas profundidades de amostragem, em alguns sistemas de rotação.

Os teores médios de Ca + Mg trocáveis, a exemplo do pH, diminuíram com o aumento da profundidade. Os valores de Ca + Mg trocáveis foram mais elevados, provavelmente, na camada de 0-5 cm do que na imediatamente inferior, devido ao calcário aplicado na superfície e não incorporado. Similarmente, Blevins et al. (1978) observaram que os valores de Ca diminuíram da camada de 0-5 cm (1.300 mg kg^{-1}) para a de 15-20 cm (800 mg kg^{-1}), com a aplicação de calcário na superfície do solo. O sistema 3 não mostrou diferença de Ca + Mg trocáveis entre as diferentes profundidades de amostragem, a exemplo do verificado para o pH do solo.

O valor de Ca + Mg trocáveis nas camadas de solo estudadas é considerado alto para o crescimento e desenvolvimento das culturas da região (Comissão de Fertilidade..., 1989). Além disso, o da camada de 0-5 cm ($82,8\text{-}93,2 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$) foi superior ao teor medido antes do início do experimento ($69,8 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$).

Matéria orgânica do solo

A monocultura de triticales apresentou teores de matéria orgânica ($22,7 \text{ g kg}^{-1}$) menores do que todos os demais sistemas de rotação de inverno (de $24,1$ a $24,3 \text{ g kg}^{-1}$), na profundidade 10-15 cm (Quadro 4). Na profundidade de amostragem de 5-10 cm, do sistema 5 ($26,1 \text{ g kg}^{-1}$), houve teores de matéria orgânica mais elevados do que no sistema 1 ($24,3 \text{ g kg}^{-1}$). A substituição de triticales por aveia-branca, no sistema 2, foi suficiente para determinar acréscimo significativo no teor de matéria orgânica na profundidade de 10-15 cm. Segundo Roman (1990), a cultura de aveia-branca

produz mais que o dobro de biomassa da de triticales ($7,4$ e $3,0 \text{ t ha}^{-1}$ de biomassa na parte aérea da planta respectivamente). A diferença cumulativa no aporte de biomassa de aveia-branca provavelmente tenha contribuído para o acréscimo no teor de matéria orgânica, determinando a diferença significativa nas amostras coletadas em 10-15 cm. Os teores de matéria orgânica na camada superficial (0-5 cm) foram idênticos nos diferentes sistemas de rotação. Entretanto, o aumento na proporção de invernos em que o triticales foi substituído por outras culturas (sistema 4) não determinou acréscimo adicional no teor de matéria orgânica do solo, em nenhuma profundidade.

Observou-se maior decréscimo nos teores de matéria orgânica, na camada superficial (0-5 cm), e diminuição gradual na proporção de matéria orgânica, com o aumento da profundidade de amostragem, independentemente do sistema de rotação. Tendências semelhantes nas variações entre o teor de matéria orgânica da camada de 0-5 cm e o da camada 15-20 cm foram verificadas por Santos & Lhamby (1992) (de $72,7$ para $69,8 \text{ g kg}^{-1}$), por Santos & Siqueira (1992) (de $69,2$ para $64,7 \text{ g kg}^{-1}$), e por Sá (1993) (de $52,8$ para $35,4 \text{ g kg}^{-1}$), em sistemas de rotação de culturas para cevada e para trigo, em plantio direto. Os teores de matéria orgânica, em todas as camadas, foram menores em valores absolutos do que o observado por ocasião da instalação do experimento ($33,0 \text{ g kg}^{-1}$), sugerindo que a taxa de mineralização de materiais orgânicos cresceu após a instalação do experimento ou que quantidades menores desses materiais retornaram ao solo.

P extraível do solo

Os valores de P extraível do solo (Quadro 4) não apresentaram diferenças significativas entre os diferentes sistemas de rotação. Santos & Roman (1989) encontraram resultados semelhantes em sistemas de rotação para trigo. Todavia, foram verificadas diferenças significativas de P extraível, entre a maioria das profundidades de amostragem do solo, nos sistemas de rotação avaliados.

Observaram-se teores de P extraível, na camada de 0-5 cm, três a quatro vezes maiores do que os registrados na camada 15-20 cm ($8,0 \text{ mg kg}^{-1}$). Tendências similares foram verificadas por Shear & Moschler (1969) (de 59 para 11 mg kg^{-1}), por Triplett Jr. & Van Doren Jr. (1969) (de 117 para 37 mg kg^{-1}), por Santos & Lhamby (1992) (de $13,6$ para $5,8 \text{ mg kg}^{-1}$), por Santos & Siqueira (1992) (de $6,7$ para $4,3 \text{ mg kg}^{-1}$) e por Sá (1993) (de $35,2$ para $12,5 \text{ mg kg}^{-1}$) em sistemas de rotação de culturas sob plantio direto.

O teor de P extraível nas três primeiras camadas (0-5 a 10-15 cm) esteve acima do valor considerado crítico, nesse tipo de solo (9 mg kg^{-1}), para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Comissão de Fertilidade..., 1989). Os teores de P extraível na camada de 0-5 cm (de $27,4$ a $36,2 \text{ mg kg}^{-1}$) e na de 5-10 cm (de $16,6$ a $22,7 \text{ mg kg}^{-1}$) foram mais elevados do que o medido sob preparo convencional, antes do início do experimento ($13,3 \text{ mg kg}^{-1}$).

K trocável do solo

Foram observadas diferenças significativas entre alguns sistemas para o K trocável do solo (Quadro 4), cujos valores foram mais elevados no sistema 1 (71 mg kg⁻¹), sendo que, na profundidade de amostragem de 15-20 cm, foram significativamente superiores aos dos sistemas 2 (54 mg kg⁻¹), 4 (53 mg kg⁻¹) e 5 (48 mg kg⁻¹). Isso pode ser devido à maior quantidade de K trocável aplicada como adubo de manutenção (Quadro 3).

Os teores de K trocável decresceram com o aumento na profundidade de amostragem: os da camada de 0-5 cm (200 mg kg⁻¹) foram de 1,9 a 4,0 vezes maiores que a concentração da camada 15-20 cm. Acúmulos similares de K trocável, na camada de 0-5 cm, em relação à de 15-20 cm, em sistemas de rotação de culturas, sob plantio direto, foram observados por Shear & Moschler (1969) (de 159 para 98 mg kg⁻¹), por Triplett Jr. & Van Doren Jr. (1969) (de 278 para 121 mg kg⁻¹), por Santos & Lhamby (1992) (de 167 para 55 mg kg⁻¹) e por Santos & Siqueira (1992) (de 157 para 55 mg kg⁻¹).

Os teores de K trocável verificados nas camadas 0-5 e 5-10 cm foram superiores ao valor considerado crítico (80 mg kg⁻¹) para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Comissão de Fertilidade..., 1989). Os teores de K trocável das camadas de 0-5 cm (200 a 189 mg kg⁻¹), 5-10 cm (127 a 102 mg kg⁻¹) e 10-15 cm (89 a 61 mg kg⁻¹) mantiveram-se iguais ou superiores ao teor, observado sob plantio convencional antes do início deste experimento (61 mg kg⁻¹).

Considerações gerais

Os níveis de adubação fosfatada e potássica, aplicados seguindo as recomendações de adubação, elevaram os teores desses elementos no solo, em comparação com os existentes antes do estabelecimento do experimento. Santos & Lhamby (1992) e Santos & Siqueira (1992) observaram efeitos similares em solo franco-argiloso, sob as seguintes culturas, em plantio direto: aveia-branca, cevada, ervilhaca, linho, milho, soja, trigo e tremoço. Esses resultados, confirmados por outros estudos na região, sugerem a possibilidade de reduzir a adubação fosfatada e a potássica nas lavouras sob plantio direto, se o objetivo for a manutenção do mesmo nível de produtividade e os teores de P e de K no solo.

A partir de cinco anos sob plantio direto, observaram-se acúmulo de resíduos orgânicos na superfície e elevação dos teores de fósforo e de potássio, na camada de 0-5 cm. A aplicação dos fertilizantes e das sementes, em linhas, próximo da superfície, e a lenta mineralização dos resíduos vegetais determinaram o acúmulo de fósforo e de potássio na camada superficial. A aplicação de calcário na superfície determinou a formação de um gradiente de pH e Ca + Mg trocáveis com valores mais elevados na camada superficial, decrescendo em direção às mais profundas. Sá (1993) observou que a diminuição da acidez ativa e a redução do nível de Al trocável, somadas ao aumento do suprimento de Ca na camada superficial (0-5 cm), manti-

veram os rendimentos de milho nos mesmos níveis desta cultura em solos em que o calcário foi incorporado.

CONCLUSÕES

1. Os valores de pH, Al trocável, Ca + Mg trocáveis e P extraível do solo não diferiram entre os sistemas de rotação avaliados. Por outro lado, os teores de matéria orgânica foram menores sob a monocultura de triticales do que nas rotações de culturas de inverno, na profundidade de 10-15 cm. Na profundidade de amostragem de 5-10 cm, do sistema 5, observaram-se teores de matéria orgânica mais elevados do que no 1. Os teores de K trocável foram mais elevados na monocultura de triticales do que nos sistemas 2, 4 e 5, na profundidade de amostragem de solo de 15-20 cm.

2. O valor de pH e os teores de Ca + Mg trocáveis, matéria orgânica, P extraível e K trocável diminuíram com o aumento da profundidade do solo, em todos os sistemas de rotação. Conforme esperado, o Al trocável foi menor, mais próximo à superfície, devido ao pH mais elevado nessa camada.

LITERATURA CITADA

- ALMEIDA, F. & RODRIGUES, B.N. Guia de herbicidas: contribuição para o uso adequado em plantio direto e convencional. Londrina, IAPAR, 1985. 468p.
- BLEVINS, R.L.; MURDOCK, L.W. & THOMAS, G.W. Effect of lime application on no-tillage and conventionally tilled corn. *Agron. J.*, Madison, 70(2):322-326, 1978.
- BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W. & CORNELIUS, P.L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. *Agron. J.*, Madison, 69(3): 383-386, 1977.
- BOUGLÉ, B.R. & PEREIRA, L.R. Sistemas de produção de trigo-soja: informe preliminar sobre a evolução de algumas características do solo. In: REUNIÃO ANUAL CONJUNTA DE PESQUISA DE TRIGO, 10., Porto Alegre, 1978. Solos e técnicas culturais, economia e sanidade. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 1978. v.2, p.31-39.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30)
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO, RS/SC. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 2.ed. Passo Fundo, SBCS-Núcleo Regional Sul/EMBRAPA-CNPT, 1989. 128p.
- MUZILLI, O. Cultura do milho. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRÔNOMICO DO PARANÁ. Plantio direto no Estado do Paraná. Londrina, 1981. p.203-206. (IAPAR, Circular, 23)
- MUZILLI, O. Fertilidade do solo em plantio direto. In: FACELLI, A.L.; TORRADO, P.V. & MACHADO, J., eds. Atualização em plantio direto. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.147-160.

- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 7(1):95-102, 1983.
- ROMAN, E.S. Effect of cover crops on the development of weeds. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS, Passo Fundo, 1990. Conservation tillage for subtropical areas. Passo Fundo, CIDA/EMBRAPA-CNPT, 1990. p.258-262.
- SÁ, J.C. de M. Calagem em solos sob plantio direto da região dos campos gerais, centro-sul do Paraná. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. Anais. Castro, Fundação ABC, 1955. p.73-107.
- SÁ, J.C. de M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: Plantio direto no Brasil. Passo Fundo, Editora Aldeia Norte, 1993. EMBRAPA-CNPT/FUNDACEP/FECOTRIGO/FUNDAÇÃO ABC, Passo Fundo, 1993. p.37-60.
- SANTOS, H.P. dos. Efeito da rotação de culturas no rendimento, na eficiência energética e econômica do trigo, em plantio direto. Piracicaba, USP-ESALQ, 1992. 136p. (Tese de Doutorado)
- SANTOS, H.P. dos & LHAMBY, J.C.B. Rotação de culturas em Guarapuava. XII. Efeitos de algumas culturas de inverno e de verão na evolução dos níveis de nutrientes e de matéria orgânica do solo, em plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, 1992. Anais. Piracicaba, SBCS, 1992. p.114-115.
- SANTOS, H.P. dos & ROMAN, E.S. Rotação de culturas. XIV. Efeito de culturas de inverno e de verão na disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica do solo, no período agrícola de 1980 a 1986. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 13(3):303-310, 1989.
- SANTOS, H.P. dos & SIQUEIRA, O.J.F. de. Rotação de culturas em Guarapuava. XI. Efeito de algumas culturas de inverno e de verão em algumas propriedades químicas do solo, num período de cinco anos, em plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, 1992. Anais. Piracicaba, SBCS, 1992. p.112-113.
- SHEAR, G.M. & MOSCHLER, W.W. Continuous corn by the no-tillage and continuous tillage methods: a six-year comparison. Agron. J., Madison, 58(1):524-526, 1969.
- SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo de solo no seu nível de fertilidade. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 9(3):249-254, 1985.
- STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 2.ed. New York, McGraw-Hill, 1980. 633p.
- TEDESCO, M.J.; VOKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análise de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre, UFRGS, 1985. 32p. (Boletim Técnico, 15)
- TRIPLETT JR., G.B. & VAN DOREN JR., D.M. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization of non-tilled maize. Agron. J., Madison, 61(4):637-639, 1969.