

Avaliação da Fertilidade do Solo em Sistemas de Rotação de Culturas de 1993 a 2005

Henrique Pereira dos Santos¹

Renato Serena Fontaneli¹

Silvio Tulio Spera²

Gilberto Omar Tomm¹

Diones Aroldo Mentz³

Leticia Ré Signor⁴

Introdução

Os trabalhos com sistemas de rotação de culturas ou sistemas de produção de grãos desenvolvidos por De Maria et al. (1999) e por Amado et al. (2001), avaliando a qualidade de solo sob plantio direto têm evidenciado

¹ Eng. Agrôn., Pesquisador da Embrapa Trigo, Caixa Postal 451, 99001-970 Passo Fundo, RS. Bolsista CNPq. E-mail: hpsantos@cnpt.embrapa.br; renatof@cnpt.embrapa.br; tomm@cnpt.embrapa.br.

² Eng. Agrôn., Pesquisador da Embrapa Trigo. E-mail: spera@cnpt.embrapa.br

³ Acadêmico de Agronomia da Universidade de Passo Fundo-UPF, Passo Fundo, RS.

⁴ Bolsista de Iniciação Científica-CNPq. Acadêmico de Agronomia da UPF.

acúmulos de matéria orgânica, de carbono (C), de Ca, de Mg, de P e de K, na camada superficial, em relação às camadas mais profundas. Nesses estudos, também foram obtidas informações sobre a acidificação do solo e o comportamento do pH e do Al tóxico para as plantas. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de sistemas de rotação de culturas na fertilidade de solo, após vinte anos de cultivo.

Método

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

Os tratamentos consistiram em 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 ou sorgo) e III (trigo/soja, ervilhaca/milho ou sorgo 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 do mesmo ser submetido às alterações antrópicas. O delineamento experimental usado foi blocos completos ao acaso, com parcelas subdivididas, e três repetições. A parcela principal foi constituída pelos SMS, e a subparcela, pelos SRCs. A parcela principal media 360 m² e a subparcela, 40 m². No presente trabalho serão abordados os dados sobre os SRCs.

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 m de profundidade e submetido a correção de acidez com 7,0 t/ha 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.

Em abril de 2001 e 2003, após as culturas de verão, e em agosto de 2005, durante o manejo das culturas de inverno, foram coletadas amostras de solo compostas (duas subamostras por parcela), nas profundidades 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm. As análises (pH em água, P, K, matéria orgânica, Al e Ca + Mg) seguiram o método descrito por Tedesco et al. (1995). O carbono orgânico, em cada camada foi determinado pela expressão: $C_{\text{acumulado}} = C * D_s * L$, onde $C_{\text{acumulado}}$ corresponde ao carbono acumulado em Mg/ha; C é o conteúdo de carbono em g/kg de solo; D_s é a densidade do solo em g/cm³; e L é a espessura da camada em centímetros (Roscoe & Ma-

chado, 2002).

Os SRCs foram comparados, dentro de cada ano e análise conjunta dos anos, para cada propriedade química de solo, na mesma profundidade de amostragem. As profundidades de amostragem de solo foram comparadas no mesmo 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.

Resultados

Os valores de pH em água, Ca e Mg trocáveis, em todas camadas e nos SRCs, em 2001, 2003 e 2005 foram menores do que os valores avaliados, em 1993, enquanto que para o teor de Al trocável ocorreu o inverso. Em 2001, 2003 e 2005, os sistemas de SRCs estudados apresentaram valores de pH, Ca, Mg e K trocáveis, P extraível e C acumulado maiores que os da FST, ao passo que para os valores de Al ocorreu o inverso (tabelas 1 e 2). Em 2001, 2003 e 2005, não houve diferença entre os valores de Al, Ca e Mg, nos diferentes SRCs. Isso indica que as seqüências de espécies componentes dos SRCs não promoveram alterações na concentração desses nutrientes no solo. Em 2003, o sistema I (trigo/soja) mostrou maior valor de pH, em comparação aos sistemas II (trigo/soja, ervilhaca/milho) e III (trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja), na camada 0-5 cm.

Em 2005, o sistema I, nas camadas 0-5 e 5-10 cm, apresentou valor menor de pH, em relação ao sistema III. O valor de matéria orgânica do solo (MOS) no sistema III foi maior do que os sistemas I e II, na camada 0-5 cm. Em 2001, todos os sistemas estudados mostraram maior nível de carbono acumulado do que a FST, na camada 0-20 cm. Em 1993 e 2003 o sistema I, na profundidade 5-10 cm, mostrou maior teor de P, em relação ao sistema II, e na camada 5 a 10 cm, o teor de K, foi maior no sistema I do que no sistema III. Além disso, o sistema I apresentou maiores valores de K, em comparação aos sistemas II e III, nas camadas 10 e 15 e 15 a 20 cm. Em 2001, o sistema I mostrou maior teor de P, em relação ao sistema III, na camada 0-5 cm, e, na mesma camada, o teor de K foi maior no sistema II do que no sistema I. Em 2005, o teor de P, do sistema I, foi maior, em comparação ao sistema II, nas camadas 5-10, 10-15 e 15-20 cm. Isso também foi verificado entre o sistema I e o sistema III, nas camadas 5-10 cm, para o teor de P extraível. Essa diferença entre os SRCs, 2001 e 2005, pode ser explicada, em parte, pelo fato de a ervilhaca ser estabelecida como cultura de cobertura de solo, sem aplicação de adubação de manutenção.

Em 1993, no sistema III, os valores de pH e Ca e Mg, diminuíram da camada 0-5 cm para a camada 15-20 cm, enquanto que, para o valor de Al, nos sistemas II e III ocorreu o contrário. Os valores de pH, Al, Ca e Mg refletem diferenças na distribuição de calcário na camada arável, em função dos SRCs. Em 1993, 2001 e 2005, na maioria dos sistemas estudados, os níveis de MOS e os teores de P e de K diminuíram da camada 0-5 cm

para a camada 15-20 cm. Em 2005, no sistema II e na FST, o valor de pH aumentou da camada 0-5 cm para camada 10-15 cm. 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. Porém, o teor de carbono acumulado nos SRCs foi maior do que na FST. Por outro lado, os SRCs aumentaram o teor de carbono acumulado do solo na camada 0-20 cm. Por outro lado, os SRCs aumentaram o teor de C acumulado do solo na camada 0-20 cm, em relação a FST. O nível de C acumulado, decresceu de 2001 a 2005 de forma intensa. Essa redução, em todos os SRCs, e na FST pode ser consequência da menor produção de biomassa como resultado dos baixos índices pluviométricos nos verões de 2001/2002 e 2004/2005, sendo que nesse último, decorreu das maiores estiagem já registrada no Rio Grande do Sul. O aquecimento do clima global pode estar também provocando redução nos estoques de C do solo, pelo aumento da decomposição microbiana intensificada por maiores períodos de temperaturas elevadas.

Conclusões

1. Os sistemas de rotação de culturas não promovem alterações nos teores de Al, Ca e Mg trocáveis e carbo-

no acumulado.

2. Na maioria dos anos e dos sistemas de rotação de culturas, os teores de matéria orgânica, fósforo e potássio diminuem progressivamente da camada 0-5 cm para a camada 15-20 cm.

3. A floresta subtropical apresenta menor valor de pH e teores de cálcio, fósforo e potássio, e maior teor de Al em relação aos sistemas de rotação de culturas.

Referências Bibliográficas

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L.; BRUM, A. C. 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. 1, p. 189-197, 2001.

DE MARIA, I. C.; NNABUDE, P. C.; CASTRO, O. M. de. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amstérdam, v. 51, n. 1, p. 71-79, 1999.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86 p.

SAS 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. 126 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. 2. ed. rev. e ampl. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim técnico, 5).

Tabela 1. Valores médios de pH em água, de alumínio, de cálcio e magnésio trocáveis, avaliados em 1993, 2001 e 2003, após a colheita das culturas de verão, e em 2005, durante o manejo das culturas de inverno, em quatro camadas de solo e para diferentes sistemas de rotação de culturas.

Sistema de Rotação de culturas	Profundidade (cm)							
	0-5				5-10			
	1993	2001	2003	2005	1993	2001	2003	2005
----- pH (água 1:1) -----								
Sistema I	5,44 A	5,16 B	5,34 A	4,93 C	5,47 A	5,17 B	5,26 B	4,97 C
Sistema II	5,59 A	5,19 C	5,29 B	5,03 D	5,47 A	5,20 B	5,29 B	5,03 C
Sistema III	5,49 A	5,19 C	5,30 B	5,13 C	5,40 A	5,20 BC	5,24 B	5,09 C
Floresta	-	4,30 A	4,73 A	4,43 A	-	4,40 A	4,57 A	4,37 A
----- Alumínio (mmol _c /dm ³) -----								
Sistema I	0,33 D	8,8 B	5,77 C	10,81 A	0,30 D	10,0 B	7,28 C	14,07 A
Sistema II	0,29 D	7,9 B	5,97 C	12,09 A	0,33 C	9,1 B	8,10 B	15,28 A
Sistema III	0,28 C	7,6 B	6,61 B	11,19 A	0,35 C	9,6 B	8,71 B	14,44 A
Floresta	-	29,1 A	18,93 A	36,27 A	-	26,8 A	31,40 A	43,00 A
----- Cálcio (mmol _c /dm ³) -----								
Sistema I	45 A	31 C	39 B	35 BC	47 A	31 B	35 B	32 B
Sistema II	45 A	31 C	36 B	32 C	45 A	31 BC	34 B	30 C
Sistema III	47 A	32 C	36 B	34 BC	44 A	31 C	33 B	31 C
Floresta	-	11 A	28 A	21 A	-	11 A	11 A	13 A

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Sistema de Rotação de culturas	Profundidade (cm)							
	0-5				5-10			
	1993	2001	2003	2005	1993	2001	2003	2005
	----- Magnésio (mmol _c /dm ³) -----							
Sistema I	21 A	16 B	16 B	14 C	23 A	17 B	15 BC	13 C
Sistema II	23 A	18 B	18 B	14 C	23 A	18 B	16 C	13 C
Sistema III	23 A	18 B	18 B	15 C	23 A	17 B	16 C	13 C
Floresta	-	8 A	21 A	7 A	-	9 A	11 A	4 A

Sistema I: trigo/soja; Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/ milho ou sorgo; Sistema III: trigo/soja, ervilhaca/milho ou sorgo e aveia branca/soja; e floresta: floresta subtropical. Médias seguidas da mesma letra por profundidade, nos sistemas de rotação de culturas, na horizontal, não apresentam diferenças significativas, pelo teste de Duncan a 5%.

Tabela 1. Continuação.

Sistema de Rotação de culturas	Profundidade (cm)							
	10-15				15-20			
	1993	2001	2003	2005	1993	2001	2003	2005
----- pH (água 1:1) -----								
Sistema I	5,47 A	5,20 BC	5,34 AB	5,06 C	5,42 A	5,28 A	5,38 A	5,11 B
Sistema II	5,44 A	5,24 C	5,32 B	5,11 D	5,40 A	5,31 A	5,35 A	5,16 B
Sistema III	5,42 A	5,22 C	5,31 B	5,13 D	5,37 A	5,27 A	5,34 A	5,15 B
Floresta		4,23 A	4,53 A	4,37 A		4,23 B	4,60 A	4,40 AB
----- Alumínio (mmol _c /dm ³) -----								
Sistema I	0,34 C	9,4 B	7,34 B	15,25 A	0,43 C	8,80 B	6,67 B	14,52 A
Sistema II	0,38 C	8,9 B	7,85 B	14,45 A	0,45 C	8,40 B	7,45 B	13,79 A
Sistema III	0,34 C	9,2 B	8,48 B	15,14 A	0,49 C	8,70 B	8,34 B	15,05 A
Floresta		36,1 A	34,23 A	46,67 A		37,80 A	34,53 A	45,37 A
----- Cálcio (mmol _c /dm ³) -----								
Sistema I	44 A	31 B	34 B	32 B	43 A	31 B	36 B	33 B
Sistema II	44 A	31 B	34 B	31 B	42 A	32 B	36 B	32 B
Sistema III	45 A	31 C	34 B	31 C	42 A	32 C	35 B	32 C
Floresta		2 A	8 A	8 A		1 B	8 A	9 A

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Sistema de Rotação de culturas	Profundidade (cm)							
	10-15				15-20			
	1993	2001	2003	2005	1993	2001	2003	2005
	----- Magnésio (mmol _c /dm ³) -----							
Sistema I	23 A	17 B	16 B	13 C	23 A	19 B	17 B	13 C
Sistema II	24 A	18 B	17 B	14 C	24 A	19 B	18 B	14 C
Sistema III	24 A	18 B	17 B	13 C	23 A	18 B	18 B	13 C
Floresta		4 A	7 A	3 A		4 A	7 A	4 A

Sistema I: trigo/soja; Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/ milho ou sorgo; Sistema III: trigo/soja, ervilhaca/milho ou sorgo e aveia branca/soja; e floresta: floresta subtropical. Médias seguidas da mesma letra por profundidade, nos sistemas de rotação de culturas, na horizontal, não apresentam diferenças significativas, pelo teste de Duncan a 5%.

Tabela 2. Valores médios de matéria orgânica, de P extraível, de K trocável e de C acumulado, avaliados em 1993, 2001 e 2003, após a colheita das culturas de verão, e em 2005, durante o manejo das culturas de inverno, em quatro camadas de solo e para diferentes sistemas de rotação de culturas.

Sistema de Rotação de culturas	Profundidade (cm)							
	0-5				5-10			
	1993	2001	2003	2005	1993	2001	2003	2005
----- Matéria orgânica (g/kg ³) -----								
Sistema I	33 B	31 B	37 A	31 B	30 AB	30 A	32 A	28 B
Sistema II	33 B	33 B	36 A	31 B	30 BC	31 AB	33 A	29 C
Sistema III	34 AB	33 B	37 A	33 B	31 B	31 B	33 A	29 B
Floresta	-	38 A	48 A	36 A	-	39 A	36 AB	29 B
----- Fósforo (mg/kg ³) -----								
Sistema I	26,6 B	31,3 AB	44,9 A	47,4 A	22,2 C	28,4 BC	42,5 AB	57,1 A
Sistema II	21,1 C	26,8 BC	29,5 B	42,0 A	16,3 C	26,2 B	25,7 B	39,2 A
Sistema III	23,9 C	25,2 B	32,7 B	41,7 A	16,9 C	24,1 B	28,2 B	39,0 A
Floresta	-	3,8 A	6,3 A	4,3 A	-	5,0 A	2,5 C	3,3 A
----- Potássio (mg/kg ³) -----								
Sistema I	240 B	199 C	301 A	285 B	198 B	170 B	264 A	280 A
Sistema II	244 B	229 B	296 A	277 A	177 B	194 B	244 A	264 A
Sistema III	249 BC	223 C	290 A	272 AB	166 C	178 C	230 B	267 A
Floresta	-	54 A	75 A	83 A	-	55 A	36 A	53 A

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Sistema de Rotação de culturas	Profundidade (cm)							
	10-15				15-20			
	1993	2001	2003	2005	1993	2001	2003	2005
	----- Matéria orgânica (g/kg ³) -----							
Sistema I	33 B	31 B	37 A	31 B	30 AB	30 A	32 A	28 B
Sistema I	29 AB	29 B	31 A	27 C	27 C	28 AB	29 A	26 B
Sistema II	29 B	30 AB	31 A	28 B	27 BC	28 AB	29 A	27 BC
Sistema III	29 B	29 B	30 A	27 C	27 BC	29 AB	29 A	27 C
Floresta	-	37 A	30 A	26 A	-	40 A	27 A	28 A
	----- Fósforo (mg/kg ³) -----							
Sistema I	11,4 C	18,5 BC	23,6 B	47,1 A	7,3 B	13,8 B	15,4 B	36,1 A
Sistema II	12,8 C	16,6 BC	19,4 B	30,3 A	8,4 C	12,5 B	13,1 B	21,1 A
Sistema III	11,6 C	17,6 B	17,9 B	36,1 A	8,4 C	11,0 B	12,9 B	27,0 A
Floresta	-	2,8 A	1,8 A	2,7 A	-	2,8 A	1,8 A	3,0 A
	----- Potássio (mg/kg ³) -----							
Sistema I	163 B	154 B	233 A	263 A	126 C	129 C	199 B	241 A
Sistema II	136 C	159 C	206 B	253 A	95 D	135 C	165 B	219 A
Sistema III	126 C	147 C	181 B	265 A	87 D	119 C	148 B	238 A
Floresta	-	31 B	22 C	41 A	-	25 B	23 B	44 A

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Sistema de Rotação de culturas	Profundidade (cm)							
	10-15				15-20			
	1993	2001	2003	2005	1993	2001	2003	2005
	0-20 cm							
	Carbono acumulado (Mg/ha)							
Sistema I	-	-	-	-	-	125 Aa	100 Ba	80 Ca
Sistema II	-	-	-	-	-	122 Aa	98 Ba	79 Ca
Sistema III	-	-	-	-	-	125 Aa	101 Ba	80 Ca
Floresta	-	-	-	-	-	87 Ab	92 Aa	67 Ab

Sistema I: trigo/soja; Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/ milho ou sorgo; Sistema III: trigo/soja, ervilhaca/milho ou sorgo e aveia branca/soja; e floresta: floresta subtropical. *No ano de 1995, não foi coletada amostra para determinação dos atributos físicos do solo, para juntamente com matéria orgânica calcular o carbono orgânico do solo. Médias seguidas da mesma letra maiúscula por profundidade, nos sistemas de rotação de culturas, na horizontal e letra minúscula, na vertical, não apresentam diferenças significativas, pelo teste de Duncan a 5%.