

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

TEORES DE NUTRIENTES E DE MATÉRIA ORGÂNICA AFETADOS PELA ROTAÇÃO DE CULTURAS E SISTEMA DE PREPARO DO SOLO⁽¹⁾

P. M. SILVEIRA⁽²⁾ & L. F. STONE⁽²⁾

RESUMO

Este trabalho foi realizado na Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás (GO), em Latossolo Vermelho perférrico, sob pivô central, por seis anos consecutivos, durante os quais se efetuaram 12 cultivos. Estudaram-se os efeitos de quatro sistemas de preparo do solo e seis rotações de culturas sobre o pH em água, Al e Ca + Mg trocáveis, teor de matéria orgânica, P extraível e K trocável. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas foram constituídas pelos sistemas de preparo: arado/grade, arado, grade e plantio direto; as subparcelas, pelas rotações: (a) arroz-feijão, (b) milho-feijão, (c) soja-trigo, (d) soja-trigo-soja-feijão-arroz-feijão, (e) arroz consorciado com calopogônio-feijão e (f) milho-feijão-milho-feijão-arroz-feijão. As rotações *a*, *b*, *c* e *e* foram anuais e as *d* e *f*, trienais. As diferenças observadas entre os sistemas de preparo do solo, quanto aos valores de pH, Al e Ca + Mg trocáveis, deveram-se à profundidade de mobilização do solo e à incorporação do calcário. A distribuição do K trocável e do P extraível no perfil do solo variou com a profundidade do solo mobilizada pelos diferentes sistemas de preparo, especialmente no caso do P, em que a menor mobilização causou maior concentração na camada superficial. Os sistemas de rotação que incluíram soja propiciaram maiores valores de pH e Ca + Mg trocáveis e menores de Al trocável. Os sistemas de preparo do solo e de rotação mantiveram, após 12 cultivos, teores de matéria orgânica do solo semelhantes aos iniciais.

Termos de indexação: arado de aiveca, grade aradora, plantio direto.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em setembro de 1999 e aprovado em dezembro de 2000.

⁽²⁾ Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Caixa Postal 179, CEP 75375-000 Santo Antônio de Goiás (GO). Bolsista do CNPq.
E-mail: pmarques@cnpaf.embrapa.br; stone@cnpaf.embrapa.br

SUMMARY: *NUTRIENT AVAILABILITY AND SOIL ORGANIC MATTER AS AFFECTED BY CROP ROTATIONS AND SOIL TILLAGE SYSTEMS*

An experiment, covering 12 cultivations, was carried out at Embrapa Rice & Beans Research Center, Santo Antônio de Goiás, Goiás, Brazil, in an Oxisol under center pivot, for six consecutive years. The effects of four soil tillage systems and six crop rotations on pH in water, exchangeable Al and Ca + Mg, organic matter, extractable P, and exchangeable K were evaluated, using a completely randomized design, in a splitplot arrangement, with three replications. The tillage treatments were: moldboard plough/harrow disc, moldboard plough, harrow disc, and no-tillage. Tillage treatments constituted the main plots and the rotation treatments, the subplots. The crop rotations were: (a) upland rice-common bean, (b) corn-common bean, (c) soybean-wheat, (d) soybean-wheat-soybean-common bean-upland rice-common bean, (e) upland rice associated to calopogonium-common bean, and (f) corn-common bean-corn-common bean-upland rice-common bean. Crop rotations a, b, c, and e were annuals and d and f were of three years' duration. Differences observed among soil tillage treatments in relation to pH and exchangeable Al and Ca + Mg were due to the depth of soil turnover and lime incorporation. The distribution of exchangeable K and extractable P in the soil profile varied with the depth of soil turnover. Tillage systems that cause less soil turnover improved P concentration at upper soil surface layer. Crop rotations including soybean showed higher pH and exchangeable Ca + Mg and lower exchangeable Al than other rotations. Soil tillage systems and rotations maintained soil organic matter at initial level after 12 cultivations.

Index terms: moldboard plough, harrow, no-tillage.

INTRODUÇÃO

Os Latossolos argilosos do cerrado brasileiro, susceptíveis à compactação, têm sido utilizados com sistemas de preparo que revolvem o solo. A semeadura direta sobre a resteva da cultura anterior vem sendo adotada gradativamente nessa região. Ela pode ser uma alternativa ao sistema convencional de preparo do solo e contribuir para a sustentabilidade de sistemas agrícolas intensivos.

Os sistemas de preparo, ao alterarem as propriedades físicas do solo, podem afetar a disponibilidade de água para as plantas. Em consequência, a absorção de nutrientes também é afetada, pois a sua relação com a água é muito estreita, pelo efeito desta sobre os mecanismos de contato íon-raiz (Rosolem, 1987).

Além disto, os sistemas de preparo influem na distribuição de nutrientes no perfil do solo. Preparos com menor mobilização do solo favorecem o acúmulo de nutrientes na camada superficial (0-5 cm), enquanto os que mobilizam mais intensamente o solo proporcionam distribuição mais uniforme de nutrientes na camada arável (Klepker & Anghinoni, 1995). Normalmente, observa-se maior teor de fósforo na camada superficial do solo sob plantio direto, em comparação ao sob preparo convencional, decorrente da pouca mobilização do solo, que mantém o adubo residual na profundidade de

aplicação, e da imobilidade e baixa solubilidade dos compostos de fósforo, sobretudo em solos de natureza ácida e com altos teores de argila e metais, como o ferro e o alumínio (Muzilli, 1983; Siqueira, 1989; De Maria & Castro, 1993; Selles et al., 1997).

Silveira et al. (1994) observaram, após quatro anos de rotações arroz-trigo-milho-feijão e arroz-feijão, que a aração feita a 30 cm de profundidade causou, em relação aos valores iniciais, redução no teor de fósforo extraível na camada de solo de 0-10 cm de profundidade e aumento na de 20-30 cm.

Com relação ao potássio, os resultados variam, conforme o tipo de solo (textura, mineral de argila), regime de drenagem e quantidade adicionada na adubação. Muzilli (1983) observou distribuição similar do potássio no solo nos sistemas plantio direto e preparo convencional. Já De Maria & Castro (1993) observaram, após sete anos, que os teores de potássio foram mais elevados nas camadas superficiais dos preparos reduzidos. Klepker & Anghinoni (1995) verificaram maior concentração de potássio nas camadas superficiais do tratamento sem revolvimento do solo, já no segundo ano do experimento.

Diferentes sucessões e rotações de culturas podem também afetar o teor de nutrientes no solo, em vista das diferenças em exigência nutricional, profundidade de raízes e quantidade de material vegetal que permanece no solo. De Maria & Castro

(1993), verificaram que, após cultura da soja, na sucessão com aveia, os teores de nutrientes no solo foram maiores que os encontrados após milho e na sucessão com crotalária. No caso do fósforo, tal ocorrência deveu-se à maior quantidade adicionada na adubação da soja, 89,6 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em relação à do milho, 44 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e à maior quantidade de massa e ao sistema radicular mais agressivo da aveia em relação à crotalária. No do potássio, foi devida não só à mais rápida decomposição dos restos culturais da soja, liberando este elemento na superfície do solo antes da amostragem, mas também à maior massa verde produzida pela aveia, promovendo reciclagem do potássio.

Os sistemas de preparo do solo aparentemente não têm afetado os teores de Al, Ca e Mg trocáveis, nem o pH. Klepker & Anghinoni (1995) constataram que a distribuição de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, o pH em água e a necessidade de calcário no solo foram semelhantes nos diferentes manejos: preparo convencional, em faixas e sem revolvimento do solo. Quanto ao pH, Muzilli (1983) e Santos et al. (1995) verificaram que a aplicação de calcário na superfície no solo sob plantio direto foi eficiente para evitar a reacidificação da camada superficial do solo, causada, principalmente, pelo uso de fertilizantes nitrogenados.

Paiva et al. (1997) constataram aumento no teor de matéria orgânica no solo sob plantio direto em relação ao preparo convencional, nas sucessões milho-pousio e milho-tremoço, em um Latossolo Roxo, após sete anos de cultivo. De Maria & Castro (1993) verificaram, após o mesmo período de tempo, que o teor de matéria orgânica diminuiu em todos os sistemas de preparo do solo em relação aos valores obtidos no início do experimento, após o primeiro cultivo das culturas de verão. Entretanto, na camada de 0-5 cm, os sistemas de preparo começaram a se diferenciar a partir do terceiro ano de cultivo, sendo o teor de matéria orgânica do solo sob plantio direto sempre maior que o dos solos sob outros sistemas.

O objetivo deste trabalho foi verificar como diferentes sistemas de preparo do solo e de rotações de culturas afetam o teor de nutrientes e de matéria orgânica no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado na Fazenda Capivara, da Embrapa Arroz e Feijão, localizada no município de Santo Antônio de Goiás (GO), sobre Latossolo Vermelho perférrico e em área irrigada por pivô central. Esta área, originalmente sob vegetação de cerrado, foi desmatada em 1977, cultivada anualmente, na época das chuvas, com as culturas do milho ou do arroz, e adubada de acordo com as

recomendações da Comissão Estadual de Fertilidade de Solos (s.d.). Em 1989, foi instalado um pivô central na área. Em novembro deste ano e de 1991, foi semeado milho na área e, em novembro de 1990, semeado arroz. O feijão foi semeado anualmente em junho, a partir de 1989. Em outubro de 1992 iniciou-se o experimento. De 1977 até junho de 1992, o solo da área experimental foi preparado com grade aradora. Em maio de 1989 e de 1992, foram aplicadas 2,5 t ha⁻¹ de calcário, seguindo-se as recomendações de adubação e calagem baseadas na análise de solo e indicadas para as culturas de arroz, soja, milho, feijão e trigo, segundo Comissão de Fertilidade de Solos de Goiás (1988). O experimento foi realizado durante seis anos, setembro de 1992 a setembro de 1998, durante os quais foram feitos 12 cultivos. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas (Chacín Lugo, 1997), com três repetições.

Os tratamentos se constituíram na forma de preparo do solo: (a) aração com arado de aiveca, realizada em novembro-dezembro e grade aradora, em maio-junho (arado/grade); (b) aração com arado de aiveca, em ambos os períodos (arado); (c) aração com grade aradora, em ambos os períodos (grade), e (d) plantio direto. No preparo do solo, de acordo com o tratamento, foram utilizados arado de três aivecas comuns, operando na profundidade de aproximadamente 30 cm, e grade aradora de 20 discos de 66 cm de diâmetro, operando de 10 a 15 cm.

Nas subparcelas, estudaram-se os sistemas de rotação de culturas: (a) arroz-feijão (A-F); (b) milho-feijão (M-F); (c) soja-trigo (S-T); (d) soja-trigo-soja-feijão-arroz-feijão (S-T-S-F-A-F); (e) arroz consorciado com calopogônio-feijão (A/C-F) e (f) milho-feijão-milho-feijão-arroz-feijão (M-F-M-F-A-F). As rotações *a*, *b*, *c* e *e* foram anuais e as *d* e *f*, trienais. A semeadura do calopogônio foi feita manualmente 30 dias após a do arroz, para evitar a concorrência com esta cultura. As culturas de arroz, soja e milho foram semeadas em novembro-dezembro, e as de feijão e trigo, em maio-junho.

Em outubro de 1995, foram aplicadas 2,5 t ha⁻¹ de calcário em toda a área experimental, o qual foi incorporado ao solo de acordo com o sistema de preparo, até à profundidade de operação dos implementos. No plantio direto, foi aplicado na superfície e não foi incorporado.

Os adubos foram aplicados no sulco de semeadura, na profundidade de 5-6 cm, na forma de formulados. As adubações nitrogenadas em cobertura foram feitas com uréia, em 1993 e 1994, e com sulfato de amônio, nos demais anos. Em média, as doses de adubo aplicadas por safra foram de 72 kg ha⁻¹ de N, 94 de P₂O₅ e 53 de K₂O, para arroz e milho; de 61 kg ha⁻¹ de N, 110 de P₂O₅ e 56 de K₂O, para feijão e trigo, e de 73 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 67 de K₂O, para soja.

Foram coletadas, com trado, amostras de solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, considerando dez amostras simples para formar uma amostra composta. As coletas foram realizadas em outubro de 1992, antes do preparo do solo de verão, e de 1993 a 1998, em setembro, após a colheita das culturas de inverno, com exceção de 1997, quando não foram coletadas amostras. Determinaram-se o pH em água, o teor de matéria orgânica, os teores de Al, Ca + Mg e K trocáveis e o teor de P extraível.

As análises químicas foram realizadas de acordo com métodos apresentados em EMBRAPA (1997). Os valores iniciais de pH em água, Al e Ca + Mg trocáveis, em $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, matéria orgânica, em g kg^{-1} , P extraível e K trocável, em mg dm^{-3} , na camada de 0-10 cm, foram, respectivamente, de 5,78; 1,0; 26,8; 14,6; 6,1 e 71,8. Na camada de 10-20 cm, os valores foram, respectivamente, de 5,76; 1,2; 24,4; 14,8; 3,1 e 57,6 e, na camada de 20-30 cm, foram de 5,72; 1,2; 21,2; 13,8; 1,9 e 45,2.

Foram feitas análise de variância conjunta dos anos por profundidade, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5%, e análise de regressão, considerando o número de anos de cultivo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise conjunta mostrou que apenas as interações entre ano e sistemas de preparo do solo e entre ano e sistemas de rotação de culturas foram significativas, embora nem para todas as características químicas e camadas de solo consideradas. Como a tendência do comportamento dessas características foi semelhante ao longo dos anos, para efeito de discussão, foram consideradas as médias dos anos para comparar os efeitos dos diferentes sistemas de preparo do solo e das rotações de culturas no teor de nutrientes e de matéria orgânica do solo.

Os sistemas de preparo do solo diferiram significativamente quanto ao pH e aos teores de Al e Ca + Mg trocáveis (Quadro 1). Apesar de serem as diferenças pequenas e todos os valores situarem-se na classe mediantemente ácida, segundo a classificação proposta pela Comissão de Fertilidade de Solos de Goiás (1988), o solo preparado com grade e o sob plantio direto, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, apresentaram menores valores de pH que o preparado com arado. O solo sob plantio direto também apresentou nessas camadas maior teor de

Quadro 1. Valores de pH, Al e Ca + Mg trocáveis, matéria orgânica, P extraível e K trocável, nas camadas de solo de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, determinados após as culturas de inverno, em quatro sistemas de preparo do solo e seis sistemas de rotação de culturas

Característica química	Sistema de preparo do solo ⁽¹⁾				Sistema de rotação de cultura ⁽²⁾					
	A/G	A	G	PD	A-F	M-F	S-T	S-T-S-F-A-F	A/C-F	M-F-M-F-A-F
0-10 cm										
pH em água (1:2,5)	5,50 ab	5,56 a	5,45 b	5,44 b	5,33 c	5,47 b	5,68 a	5,63 a	5,34 c	5,48 b
Al ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$)	1,9 ab	1,5 b	1,9 ab	2,4 a	2,7 a	2,0 b	1,1 c	1,3 c	2,6 a	1,9 b
Ca + Mg ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$)	25,2 a	26,1 a	26,1 a	24,2 a	22,6 c	25,2 b	29,7 a	27,2 ab	22,4 c	25,3 b
M. O. (g kg^{-1})	15,5	15,9	16,3	16,1	15,8	16,0	16,3	15,7	15,9	15,9
P (mg dm^{-3})	13,8 ab	10,8 b	14,2 a	13,1 ab	12,6	13,6	11,2	10,9	15,0	14,5
K (mg dm^{-3})	86,5	87,7	86,6	79,3	80,3	92,8	81,9	78,6	86,0	90,6
10-20 cm										
pH em água (1:2,5)	5,47 ab	5,55 a	5,46 b	5,45 b	5,35 c	5,44 bc	5,67 a	5,60 a	5,37 bc	5,46 b
Al ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$)	1,7 b	1,5 b	1,8 ab	2,2 a	2,4 a	2,0 a	1,0 c	1,4 bc	2,1 a	1,9 ab
Ca + Mg ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$)	24,3 ab	26,4 a	24,7 ab	23,6 b	22,9 c	24,3 bc	27,5 a	26,0 ab	23,4 c	24,5 bc
M. O. (g kg^{-1})	14,9	15,4	15,2	15,3	15,2	15,2	15,6	15,0	15,1	15,2
P (mg dm^{-3})	11,4 a	9,4 a	8,6 a	5,7 b	9,8	10,2	8,1	6,9	9,2	8,5
K (mg dm^{-3})	69,0 b	90,2 a	70,8 b	62,3 b	71,7 ab	79,2 a	64,1 b	64,3 b	76,1 ab	83,0 a
20-30 cm										
pH em água (1:2,5)	5,45	5,51	5,46	5,54	5,41 b	5,45 b	5,65 a	5,58 a	5,39 b	5,45 b
Al ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$)	1,7	1,4	1,7	1,6	1,8 ab	1,9 a	1,2 c	1,3 bc	1,9 a	1,8 ab
Ca + Mg ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$)	23,4	24,4	22,4	24,3	22,8 ab	23,3 ab	24,7 ab	25,0 a	22,4 b	23,6 ab
M. O. (g kg^{-1})	13,8	14,9	14,6	14,3	14,6	14,1	14,4	14,3	14,3	14,6
P (mg dm^{-3})	7,9 a	8,3 a	4,3 b	3,3 b	7,9	5,0	5,8	5,1	6,4	5,7
K (mg dm^{-3})	53,3 b	73,4 a	54,1 b	51,6 b	65,5 a	57,9 ab	47,4 b	52,0 b	58,1 ab	66,1 a

Médias seguidas pela mesma letra, na linha, dentro de preparo do solo ou de rotação de culturas, não apresentam diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey.

⁽¹⁾ Médias de seis sistemas de rotação, cinco anos e três repetições, A/G – arado/grade, A – arado, G – grade e PD- plantio direto.

⁽²⁾ Médias de quatro sistemas de preparo do solo, cinco anos e três repetições, A – arroz, F – feijão, M – milho, S – soja, T – trigo e A/C – arroz consorciado com calopogônio.

Al e, na camada de 10-20 cm, menor teor de Ca + Mg em comparação ao preparado com arado.

No plantio direto, o calcário aplicado em outubro de 1995 não foi incorporado, o que deve ter retardado o seu aprofundamento no solo. Ao contrário, no preparo com arado, o calcário foi incorporado mais profundamente, corrigindo as camadas mais profundas. Além disto, no plantio direto e no preparo com grade, pode ter ocorrido discreta reacidificação das camadas superficiais do solo, causada, principalmente, pelo uso da adubação nitrogenada.

Pela sua maior mobilização do solo, o arado distribui os nutrientes mais uniformemente nas camadas consideradas, evitando sua concentração nas camadas superficiais, o que pode ter minimizado essa reação.

O preparo alternado, com relação ao pH e aos teores de Al e Ca + Mg, não diferiu significativamente nem do preparo com arado nem do com grade. O comportamento do plantio direto quanto a essas características foi semelhante ao da grade, concordando com resultados obtidos por Klepker & Anghinoni (1995) e Santos et al. (1995).

Quadro 2. Equações de regressão ajustadas para o pH e os teores de Al trocável (Y), nas camadas de solo de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, determinados após as culturas de inverno, em quatro sistemas de preparo do solo e seis sistemas de rotação, como variáveis dependentes do número de anos de cultivo (X)

Tratamento	Camada	pH em água (1:2,5)	r	Al trocável	r
Preparo do solo	cm			mmol. dm ⁻³	
A/G	0-10	Y = 5,76 - 0,078X	-0,82*	Y = 1,0 + 0,283X	0,94**
	10-20	Y = 5,75 - 0,087X	-0,93**	Y = 1,0 + 0,256X	0,88*
	20-30	Y = 5,68 - 0,070X	-0,93**	Y = 1,1 + 0,191X	0,94**
A	0-10		ns		ns
	10-20		ns		ns
	20-30		ns		ns
G	0-10	Y = 5,79 - 0,107X	-0,98**	Y = 0,8 + 0,351X	0,91*
	10-20	Y = 5,79 - 0,105X	-0,99**	Y = 1,0 + 0,249X	0,91*
	20-30	Y = 5,73 - 0,086X	-0,99**	Y = 1,2 + 0,159X	0,87*
PD	0-10	Y = 5,78 - 0,108X	-0,94**	Y = 0,9 + 0,459X	0,94**
	10-20	Y = 5,82 - 0,120X	-0,98**	Y = 0,8 + 0,456X	0,90*
	20-30	Y = 5,75 - 0,068X	-0,95**		ns
Rotação de culturas					
A-F	0-10	Y = 5,79 - 0,143X	-0,98**	Y = 0,8 + 0,613X	0,99**
	10-20	Y = 5,80 - 0,146X	-0,99**	Y = 0,6 + 0,600X	0,87*
	20-30	Y = 5,73 - 0,098X	-0,97**	Y = 0,8 + 0,321X	0,87*
M-F	0-10	Y = 5,78 - 0,095X	-0,98**	Y = 1,0 + 0,291X	0,98**
	10-20	Y = 5,80 - 0,116X	-0,99**	Y = 1,0 + 0,316X	0,85*
	20-30	Y = 5,73 - 0,086X	-0,99**		ns
S-T	0-10		ns		ns
	10-20		ns		ns
	20-30		ns		ns
S-T-S-F-A-F	0-10		ns		ns
	10-20		ns		ns
	20-30		ns		ns
A/C-F	0-10	Y = 5,78 - 0,139X	-0,98**	Y = 0,7 + 0,629X	0,97**
	10-20	Y = 5,78 - 0,128X	-0,99**	Y = 0,8 + 0,420X	0,90*
	20-30	Y = 5,71 - 0,101X	-0,99**		ns
M-F-M-F-A-F	0-10	Y = 5,73 - 0,091X	-0,93**	Y = 1,0 + 0,267X	0,94**
	10-20	Y = 5,73 - 0,085X	-0,93**	Y = 1,1 + 0,270X	0,91*
	20-30	Y = 5,67 - 0,067X	-0,96**	Y = 1,3 + 0,153X	0,95**

A/G - arado/grade, A - arado, G - grade e PD- plantio direto.

A - arroz, F - feijão, M - milho, S - soja, T - trigo e A/C - arroz consorciado com calopogônio.

*, ** e ns: Significativos a 1 e a 5% e não-significativo, respectivamente.

A análise de regressão mostrou que, apesar da aplicação de calcário em 1995, o pH do solo diminuiu e o teor de Al trocável aumentou significativamente com o número de anos de cultivo (Quadro 2), em todos os sistemas de preparo do solo, com exceção do preparo com arado, conforme foi discutido. No solo sob plantio direto, os teores de Ca + Mg trocáveis, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, diminuíram com os anos de cultivo, segundo as equações $Y = 26,8 - 0,763X$, $r = -0,90^*$ e $Y = 27,2 - 1,274X$, $r = -0,81^*$, respectivamente.

O pH do solo e os teores de Al e Ca + Mg trocáveis também foram afetados significativamente pelos sistemas de rotação de culturas (Quadro 1). De maneira geral, os maiores valores de pH e Ca + Mg trocáveis e os menores de Al trocável, em todas as camadas amostradas, foram observados nos sistemas S-T e S-T-S-F-A-F. Se a fertilização nitrogenada contribui para a reacidificação do solo, pode-se inferir que, provavelmente, isto está relacionado à presença da soja no sistema. O fato de esta cultura não ter recebido adubação nitrogenada contribuiu para minimizar essa reacidificação.

Paiva et al. (1997) observaram que a adubação sucessiva com sulfato de amônio acarretou a redução dos teores de bases trocáveis no solo. Além disto, as espécies vegetais diferem em sua capacidade de adaptar-se à acidez do solo provocada pelos fertilizantes nitrogenados. Segundo Pierre & Banwart (1973), esta capacidade depende da relação entre o balanço de cátions e ânions do material vegetal e o seu teor de nitrogênio. Santos & Roman (1989) observaram maiores teores de Ca + Mg após sucessões com leguminosas que após gramíneas. Miyazawa et al. (1993) observaram que leguminosas provocaram maiores diminuições nos teores de Al trocável e na acidez do solo, em comparação com gramíneas.

De acordo com a classificação proposta pela Comissão de Fertilidade de Solos de Goiás (1988), o pH do solo nos sistemas com soja situou-se na classe fracamente ácido enquanto nos demais sistemas situou-se na classe medianamente ácido. Isto ocorreu porque os valores do pH diminuíram significativamente com o tempo (Quadro 2), em todos os sistemas que não incluíram soja. Nesses sistemas, os teores de Al trocável, de maneira geral, aumentaram com o tempo, mostrando que a calagem realizada não foi suficiente para eliminar o Al trocável do solo. Os teores de Ca + Mg permaneceram, ao longo dos anos, no nível médio, segundo Comissão de Fertilidade de Solos de Goiás (1988), mesmo com as maiores reduções verificadas nos sistemas que não incluíram soja.

Os teores de matéria orgânica do solo não foram afetados significativamente pelos sistemas de preparo do solo (Quadro 1). Este resultado difere do observado por De Maria & Castro (1993) e Paiva et al. (1997), que constataram aumento no teor de

matéria orgânica no plantio direto em comparação com o preparo convencional, em experimentos sem irrigação e com culturas de cobertura no inverno.

Neste experimento, o plantio direto foi feito na palhada da cultura anterior, sem a intercalação de uma cultura de cobertura. As condições climáticas da região, com verão quente e úmido e inverno com temperaturas médias acima de 20°C, aliadas à prática da irrigação, favorecem a rápida mineralização do material orgânico. Nestas condições, nem mesmo o menor contato dos resíduos das plantas com o solo e a menor temperatura da superfície no plantio direto foram suficientes para elevar o teor de matéria orgânica do solo. É necessário, como preconiza o sistema plantio direto, a intercalação de culturas de cobertura para que sejam evidenciados os efeitos favoráveis deste sistema nas características químicas e físicas do solo.

Os sistemas de rotação de culturas também não afetaram significativamente os teores de matéria orgânica do solo (Quadro 1); isto deve ter ocorrido pelas razões já discutidas.

Perceberam-se diferenças significativas entre os sistemas de preparo do solo, com relação aos teores de P extraível (Quadro 1). O preparo com grade propiciou maior teor de P na camada superficial em comparação ao preparo com arado. Este, por mobilizar o solo mais profundamente, apresentou maior teor de P na camada de 20-30 cm de profundidade. Resultados semelhantes foram observados por Silveira et al. (1994). O preparo alternado não diferiu do preparo com arado. No plantio direto, houve maior acúmulo de P na camada superficial, concordando com o observado por Muzilli (1983), Siqueira (1989) e Selles et al. (1997). Em todos os preparos, com exceção do arado, na camada de 0-10 cm, e do plantio direto, na camada de 20-30 cm, os teores de P aumentaram significativamente com os anos de cultivo (Quadro 3). No caso do arado, deve ter sido pela distribuição mais uniforme do P entre as camadas e, no caso do plantio direto, pelo não-revolvimento do solo.

Apesar das diferentes doses de P_2O_5 aplicadas às culturas, os sistemas de rotação não afetaram significativamente os teores de P extraível no solo (Quadro 1). De maneira geral, os teores de P aumentaram significativamente com os anos de cultivo (Quadro 3), em todas as rotações estudadas, com exceção de uma ou outra camada de solo. A adubação fosfatada aplicada foi suficiente para elevar o teor de P, após 12 cultivos, considerando a média das duas primeiras camadas, do nível muito baixo para o nível alto, segundo Comissão de Fertilidade de Solos de Goiás (1988), em solo com 40% de argila.

Com relação ao K, observou-se distribuição mais uniforme deste nutriente em profundidade no preparo com arado (Quadro 1). Este sistema de preparo propiciou maiores teores de K nas camadas

Quadro 3. Equações de regressão ajustadas para os teores de P extraível (Y), em mg dm⁻³, nas camadas de solo de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, determinados após as culturas de inverno, em quatro sistemas de preparo do solo e seis sistemas de rotação, como variáveis dependentes do número de anos de cultivo (X)

Tratamento	Camada	Equação	r	
Preparo do solo	cm			
		A/G	0-10 Y = 7,4 + 1,916X	0,84*
			10-20 Y = 5,0 + 1,874X	0,92**
			20-30 Y = 2,8 + 1,544X	0,96**
	A	0-10		ns
		10-20	Y = 4,5 + 1,444X	0,95**
		20-30	Y = 3,4 + 1,454X	0,87*
	G	0-10	Y = 3,9 + 3,353X	0,97**
		10-20	Y = 2,9 + 1,810X	0,91*
		20-30	Y = 2,3 + 0,601X	0,83*
	PD	0-10	Y = 3,3 + 3,223X	0,95**
		10-20	Y = 3,3 + 0,744X	0,99**
20-30			ns	
Rotação de culturas	A-F	0-10	Y = 5,3 + 2,303X	0,99**
		10-20	Y = 3,0 + 2,137X	0,91*
		20-30		ns
	M-F	0-10		ns
		10-20	Y = 4,1 + 1,843X	0,86*
		20-30	Y = 2,3 + 0,803X	0,97**
	S-T	0-10	Y = 4,9 + 2,046X	0,95**
		10-20		ns
		20-30	Y = 2,9 + 0,837X	0,85*
	S-T-S-F-A-F	0-10	Y = 3,9 + 2,289X	0,94**
		10-20	Y = 4,0 + 0,866X	0,92**
		20-30	Y = 2,3 + 0,849X	0,91*
	A/C-F	0-10	Y = 5,1 + 3,146X	0,91*
		10-20	Y = 3,9 + 1,599X	0,96**
		20-30	Y = 2,7 + 1,093X	0,90*
	M-F-M-F-A-F	0-10	Y = 5,6 + 2,166X	0,93**
		10-20	Y = 4,2 + 1,274X	0,93**
		20-30		ns

A/G – arado/grade, A – arado, G – grade e PD- plantio direto. A – arroz, F – feijão, M – milho, S – soja, T – trigo e A/C – arroz consorciado com calopogônio. *, ** e ns: Significativos a 1 e a 5% e não-significativo, respectivamente.

de solo de 10-20 e 20-30 cm de profundidade, em relação aos sistemas que mobilizaram menos o solo, tendo, inclusive, nessa última camada, o teor aumentado significativamente com os anos de cultivo, segundo a equação $Y = 50,6 + 6,49 X$, $r = 0,84^*$. No plantio direto, o K não se concentrou na camada superficial, concordando com Muzilli (1983).

Os sistemas de rotação de culturas afetaram significativamente os teores de K trocável

(Quadro 1). Os teores de K, nas camadas de 10-20 e de 20-30 cm de profundidade, foram menores nos sistemas que incluíram soja, embora tais sistemas não tenham diferido significativamente de outros. Isto foi devido, provavelmente, às diferenças na exportação de K pelos grãos, considerando as diferentes rotações e produtividades obtidas, e às diferentes doses de K₂O aplicadas. Das culturas estudadas, a soja e o feijão apresentaram os maiores valores de exportação de K por tonelada de grãos produzida. Para as rotações estudadas, não houve correlação significativa entre o teor de K no solo e o número de anos de cultivo. A adubação potássica aplicada, considerando a média das duas primeiras camadas, foi suficiente para manter os teores de K no nível alto, segundo Comissão de Fertilidade de Solos de Goiás (1988).

O comportamento diferenciado dos sistemas de preparo do solo em relação ao pH e aos teores de nutrientes no solo não contribuiu para diferenças expressivas na produtividade média das culturas. A produção total de grãos, durante a duração do experimento, foi de 38,5; 37,4; 37,6 e 36,7 t ha⁻¹, no preparo alternado, com arado, com grade e plantio direto, respectivamente. Isto provavelmente ocorreu porque, embora tenham sido observadas diferenças significativas nas características químicas do solo, na maioria dos casos, essas se situaram nas mesmas classes de interpretação de análise de solo, segundo Comissão de Fertilidade de Solos de Goiás (1988).

CONCLUSÕES

1. As diferenças observadas entre os sistemas de preparo do solo, quanto aos valores de pH, Al e Ca + Mg trocáveis, deveram-se à profundidade de mobilização do solo e à incorporação do calcário.

2. A distribuição do K trocável e do P extraível no perfil do solo variou com a profundidade do solo mobilizada pelos diferentes sistemas de preparo, especialmente no caso do P, em que a menor mobilização causou maior concentração na camada superficial.

3. Os sistemas de rotação de culturas que incluíram soja propiciaram maiores valores de pH e Ca + Mg trocáveis e menores de Al trocável.

4. Os sistemas de preparo do solo e de rotação de culturas mantiveram, após 12 cultivos, teores de matéria orgânica do solo semelhantes aos iniciais.

LITERATURA CITADA

CHACÍN LUGO, F.B. Cursos de avances recientes en el diseño y análisis de experimentos. S.I., Universidad Central da Venezuela. Facultad de Agronomía, 1997. 145p.

- COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DE SOLOS - CEFS. Recomendações de fertilizantes para Goiás: 4ª aproximação. Goiânia, EMATER-GO, s.d. 54p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DE GOIÁS - CFSGO. Recomendações de corretivos e fertilizantes para Goiás: 5ª aproximação. Goiânia, Universidade Federal de Goiás, 1988. 101p. (Convênio Informativo Técnico, 1)
- DE MARIA, I.C. & CASTRO, O.M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. R. Bras. Ci. Solo, 17:471-477, 1993.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. R. Bras. Ci. Solo, 19:395-401, 1995.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. R. Bras. Ci. Solo, 17:411-416, 1993.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. R. Bras. Ci. Solo, 7:95-102, 1983.
- PAIVA, P.L.R.; FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R. & FAQUIN, V. Efeito do manejo do solo sobre os teores de matéria orgânica, nitrogênio mineral, fósforo e bases trocáveis. Ci. Agrotec., 21:35-43, 1997.
- PIERRE, W.H. & BANWART, W.L. Excess-base and excess-base/nitrogen ratio of various crop species and parts of plants. Agron. J., 65:91-96, 1973.
- ROSOLEM, C.A. Nutrição e adubação do feijoeiro. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 93p. (Boletim Técnico, 8)
- SANTOS, H.P. & 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, 13:303-310, 1989.
- SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. & LHAMBY, J.C.B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com a cevada. R. Bras. Ci. Solo, 19:449-454, 1995.
- SELLES, F.; KOCHANN, R.A.; DENARDIN, J.E.; ZENTNER, R.P. & FAGANELLO, A. Distribution of phosphorus fractions in a Brazilian Oxisol under different tillage systems. Soil Till. Res., 44:23-34, 1997.
- SILVEIRA, P.M.; SILVA, S.C.; SILVA, O.F. & DAMACENO, M.A. Estudo de sistemas agrícolas irrigados. Pesq. Agropec. Bras., 29:1243-1252, 1994.
- SIQUEIRA, N.S. Efeito de sistemas de preparo do solo sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e sobre algumas propriedades físicas e químicas do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1989. 106p. (Tese de Mestrado)