

ATRIBUTOS QUÍMICOS DE LATOSSOLO SOB PLANTIO DIRETO AFETADOS PELO MANEJO DO SOLO E ROTAÇÃO DE CULTURAS¹

ADRIANO STEPHAN NASCENTE^{2*}, PEDRO MARQUES DA SILVEIRA², MURILLO LOBO JUNIOR², GLÊNIO GUIMARÃES SANTOS³, PAULO CESAR RIBEIRO DA CUNHA⁴

RESUMO - O objetivo do trabalho foi determinar os efeitos de sistemas de manejo do solo sob plantio direto (SPD) e de rotações de culturas sobre atributos químicos do solo. O experimento foi conduzido por seis anos consecutivos, durante os quais efetuaram-se 12 cultivos (verão e inverno). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, arranjado em parcelas divididas. Os tratamentos incluíram quatro sistemas de manejo do solo (parcelas): P₁ = SPD seguido anualmente de um preparo com arado; P₂ = SPD seguido bianualmente de um preparo com arado; P₃ = SPD seguido trienalmente de um preparo com arado e P₄ = SPD contínuo. As subparcelas constituíram-se da rotação de culturas com cultivos de verão e inverno: R₁ = Milheto-feijão-milheto-feijão-arroz-feijão-milheto-feijão-milheto-feijão-arroz-feijão; R₂ = Soja-feijão-soja-trigo-arroz-feijão-soja-feijão-soja-trigo-arroz-feijão; R₃ = Milho-feijão-milho-tomate-arroz-feijão-milho-feijão-milho-tomate-arroz-feijão; R₄ = Milheto-feijão-soja-feijão-arroz-feijão-milheto-feijão-soja-feijão-arroz-feijão; R₅ = Milheto-feijão-milho-feijão-arroz-feijão-milheto-feijão-milho-feijão-arroz-feijão; R₆ = Soja-feijão-milho-feijão-arroz-feijão-soja-feijão-milho-feijão-arroz-feijão. Cada ciclo de rotação de três anos agrícolas foi repetido por duas vezes. Os sistemas de manejo do solo e as rotações de cultura afetaram significativamente os atributos químicos do solo. Os atributos químicos Ca, Mg, matéria orgânica, P, K, Mn e Zn se concentraram na camada mais superficial independentemente da rotação de culturas utilizada nos manejos com menor revolvimento do solo. Os valores de pH foram semelhantes durante o período de 12 cultivos em seis anos agrícolas. As rotações de culturas utilizadas, nos diferentes manejos de solo sob PD, proporcionaram melhoria da fertilidade do solo, com valores de matéria orgânica, P, K, Cu, Mn e Zn iguais ou superiores aos teores iniciais.

Palavras-chave: Arroz. Feijão. Soja. Milho. Nutrientes. Fertilidade do solo.

CHEMICAL PROPERTIES OF AN OXISOL UNDER NO-TILLAGE SYSTEM AS AFFECTED BY SOIL MANAGEMENT AND CROP ROTATION

ABSTRACT - The aim of this study was to determine the effects of soil management systems in no-tillage system (NTS) and crop rotations and on soil chemical properties. The experiment was conducted for six consecutive years, during which were made 12 crops (summer and winter). The experimental design was completely randomized in a split plot scheme. Treatments included four soil management (plots): P₁ = NTS followed annually for a plowing in the winter; P₂ = NTS followed biennially for a plowing in the winter; P₃ = NTS followed every three years for a plowing and P₄ = continuous NTS. Subplots were crop rotation with crops in the summer and winter: R₁ = millet-common bean-millet-common bean-rice-common bean-millet-common bean-millet-common bean-rice-common bean; R₂ = Soybean-common bean- soybean-wheat-rice -soybean-common bean- soybean-wheat-rice-common bean; R₃ = corn-common bean-corn-tomato-rice-common bean-corn-common bean-corn-tomato-rice-common bean; R₄ = millet-soybean-common bean -rice-common bean-millet-soybean-common bean-rice-common bean; R₅ = millet-common bean-corn-common bean -rice-common bean-millet-common bean-corn-common bean-rice-common bean; R₆ = Soybean-common bean-corn -common bean-rice-soybean-corn-common bean-rice-common bean. Each rotation cycle of three years crop season was repeated twice. Systems of soil management and crop rotations significantly affected soil chemical properties. The chemical attributes Ca, Mg, organic matter, P, K, Mn and Zn concentrated in the top-soil regardless of the crop rotation used in the managements of less soil disturbance. The pH values were similar during the 12 seasons in six years. The crop rotations used in different soil managements under NTS provided the improvement of soil fertility with values of organic matter, P, K, Cu, Mn and Zn contents equal to or higher than the initial values.

Keywords: Rice. Common bean. Soybean. Corn. Nutrients. Soil fertility.

*Autor para correspondência.

¹Recebido para publicação em 05/06/2013; aceito em 25/07/2014.

²Embrapa Arroz e Feijão, Caixa Postal 179, CEP 75375-000, Santo Antonio de Goias, GO, adriano.nascente@embrapa.br; pedro.silveira@embrapa.br; murillo.lobo@embrapa.br.

³Escola de Agronomia, Engenharia de Alimentos e Engenharia Florestal, UFG, Caixa Postal 131, CEP 74690-900, Goiania, GO, gleni-ogm@ufg.br.

⁴Instituto Federal Goiano - Câmpus Urutaí. Rodovia Geraldo Silva Nascimento, km 2,5, Zona Rural, Urutaí, GO. CEP 75790 000, paulo.cunha@ifgoiano.edu.br.

INTRODUÇÃO

O sistema plantio direto (SPD) é considerado o sistema de manejo do solo mais importante para a sustentabilidade dos agroecossistemas brasileiros (CAIRES et al., 2008; CRUSCIOL et al., 2010; NASCENTE et al., 2013a, 2013b). No entanto, apesar das várias décadas de pesquisas e observações acumuladas por produtores, técnicos e pesquisadores, alguns problemas ainda persistem e, merecem ser melhor estudados. Dentre eles, destaca-se a existência, em quase todas as áreas sob SPD, de uma camada de maior grau de compactação, geralmente posicionada a 0,1-0,2 m de profundidade (FRANCHINI et al., 2009, 2012; MORAES, 2013).

A compactação do solo reduz a produtividade das culturas, porque causa a degradação da qualidade física do solo, diminui o desenvolvimento radicular e a disponibilidade de água, oxigênio e nutrientes às plantas (SILVEIRA NETO et al., 2006). Uma alternativa seria a adoção de sistemas de rotação de culturas que contemplem plantas com elevado potencial de produção de fitomassa e caracterizadas por possuírem sistemas radiculares abundantes, profundos e agressivos (FRANCHINI et al., 2000, 2012; SILVEIRA NETO et al., 2006). Entretanto os benefícios da rotação de culturas sobre a qualidade física do solo nem sempre são detectados, o que pode ser atribuído principalmente ao fato de a maioria dos trabalhos serem embasados em experimentos de curto-médio prazo (FRANCHINI et al., 2000; MORAES, 2013).

Outra opção de melhoria da qualidade do solo seria o revolvimento a cada dois ou três anos de SPD visando o rompimento das camadas compactadas. Em pesquisas de Silveira et al. (2008) na mesma área do presente trabalho, verificaram que na camada 0,0-0,10 m os maiores valores de densidade do solo foram encontrados nos tratamentos de SPD contínuo ($1,390 \text{ Mg m}^{-3}$), diminuindo com o aumento da frequência de revolvimento do solo com arado, aração a cada 3 anos ($1,361 \text{ Mg m}^{-3}$), aração a cada 2 anos ($1,330 \text{ Mg m}^{-3}$) e aração anual ($1,301 \text{ Mg m}^{-3}$).

Adicionalmente, constata-se que a prática do SPD proporciona a concentração dos nutrientes nas camadas mais superficiais do solo (SÁ, 1993; FRANZLUEBBERS; HONS, 1996; FALLEIRO et al., 2003; SANTOS; TOMM, 2003; ROSOLEM et al., 2006; SILVEIRA NETO et al., 2006; CARPIM et al., 2008; REDDY et al., 2009; CUNHA et al., 2011). Nesse sentido, verifica-se que o revolvimento do solo pode proporcionar a uniformização dos nutrientes no perfil do solo. No entanto ainda são escassos os experimentos de avaliação dos atributos químicos do solo em áreas de SPD de longa duração.

Dessa forma, o conhecimento das alterações causadas nos atributos químicos do solo devido à utilização de rotação de culturas e do SPD contínuo com a utilização de araões ocasionais, pode proporcionar a melhor compreensão dessas alterações que

ocorrem no solo e poderia resultar em uso mais eficiente de nutrientes para as culturas subseqüentes (CRUSCIOL et al., 2010). Partiu-se das hipóteses: 1. O SPD contínuo proporciona incrementos significativos da fertilidade do solo, principalmente nas camadas mais superficiais; 2. O manejo do solo em SPD seguido de araões periódicas proporciona distribuições mais uniformes dos nutrientes no perfil do solo; 3. A rotação de culturas proporciona incrementos significativos na fertilidade do solo. O objetivo do trabalho foi de identificar as alterações nos atributos químicos do solo afetados pelo manejo do solo sob plantio direto alternado com preparo convencional e por rotação de culturas, envolvendo milho, soja, arroz, trigo, tomate, feijão e milheto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido por seis anos consecutivos, em área irrigada por pivô central, na Embrapa Arroz e Feijão, no município de Santo Antônio de Goiás – GO, localizado a $16^{\circ}28'00''$ de latitude Sul e longitude $49^{\circ}17'00''$ WG e altitude de 823 metros. O clima da região é tropical de savana, classificado como Aw segundo a classificação de Köppen. Há duas estações bem definidas, normalmente seco de maio a setembro (outono / inverno) e chuvoso de outubro a abril (primavera / verão), a precipitação média anual está entre 1.500 a 1.700 mm. A temperatura média anual é de $22,7^{\circ} \text{C}$, variando anualmente de $14,2^{\circ} \text{C}$ a $34,8^{\circ} \text{C}$. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho distrófico com as seguintes características químicas e físicas, quando se iniciou o estudo: pH (H_2O) = 5,4; Ca ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) = 20,7; Mg ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) = 5,5; P (Melich) (mg dm^{-3}) = 6,5; K (mg dm^{-3}) = 70; Matéria Orgânica (g dm^{-3}) = 16,4; areia (g kg^{-1}) = 140; silte (g kg^{-1}) = 440 e argila (g kg^{-1}) = 420, textura argilosa. A área encontrava-se há 5 anos no SPD, onde se cultivava milho e soja em rotação na safra de verão e feijoeiro comum no inverno (irrigado).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em parcelas divididas, com um total de 24 tratamentos. Os tratamentos incluíram quatros sistemas de manejo do solo (parcelas): P_1 = plantio direto no verão seguido anualmente de um preparo com arado no inverno; P_2 = plantio direto seguido bianualmente de um preparo com arado no inverno; P_3 = plantio direto seguido trienalmente de um preparo com arado no inverno e P_4 = plantio direto contínuo, e seis rotações de culturas (subparcelas): R_1 = Milheto-feijão-milheto-feijão-arroz; R_2 = Soja-feijão-soja-trigo-arroz; R_3 = Milho-feijão-milho-tomate-arroz; R_4 = Milheto-feijão-soja-feijão-arroz; R_5 = Milheto-feijão-milho-feijão-arroz; R_6 = Soja-feijão-milho-feijão-arroz. Cada ciclo de rotação de três anos agrícolas foi repetido por duas vezes na mesma área (Tabela 1). As parcelas tinham dimensões de 10 metros de largura x 120 metros de com-

priminto, enquanto as subparcelas tinham 10 metros de largura com 20 metros de comprimento.

Tabela 1. Sequência das rotações de culturas (RC) utilizadas nos tratamentos de manejo do solo, durante seis anos consecutivos, nos doze cultivos realizados.

RC ¹	Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4		Ano 5		Ano 6	
	verão	Invern ²	verão	invern	verão	invern	verão	invern	verão	invern	verão	invern
R ₁	Milh ³	Feijão	Milh	Feijão	Arroz	Feijão	Milh	Feijão	Milh	Feijão	Arroz	Feijão
R ₂	Soja	Feijão	Soja	Trigo	Arroz	Feijão	Soja	Feijão	Soja	Trigo	Arroz	Feijão
R ₃	Milho	Feijão	Milho	Tomate	Arroz	Feijão	Milho	Feijão	Milho	Tomate	Arroz	Feijão
R ₄	Milh	Feijão	Soja	Feijão	Arroz	Feijão	Milh	Feijão	Soja	Feijão	Arroz	Feijão
R ₅	Milh	Feijão	Milho	Feijão	Arroz	Feijão	Milh	Feijão	Milho	Feijão	Arroz	Feijão
R ₆	Soja	Feijão	Milho	Feijão	Arroz	Feijão	Soja	Feijão	Milho	Feijão	Arroz	Feijão

¹R₁ = Milheto-feijão-milheto-feijão-arroz-feijão- milheto-feijão-milheto-feijão-arroz-feijão; R₂ = Soja-feijão-soja-trigo-arroz-feijão-soja-feijão-soja-trigo-arroz-feijão; R₃ = Milho-feijão-milho-tomate-arroz-feijão-milho-feijão-milho-tomate-arroz-feijão; R₄ = Milheto-feijão-soja-feijão-arroz-feijão-milheto-feijão-soja-feijão-arroz-feijão; R₅ = Milheto-feijão-milho-feijão-arroz-feijão-milheto-feijão-milho-feijão-arroz-feijão; R₆ = Soja-feijão-milho-feijão-arroz-feijão-soja-feijão-milho-feijão-arroz-feijão. ²Invern – Inverno, ³Milh – Milheto.

A aração do solo, nos tratamentos P₁, P₂ e P₃, foi realizada no plantio de inverno devido ao fato de que no inverno são bem menores as chances de ocorrer erosão laminar provocada pela água das chuvas como acontece no verão, visto que as precipitações pluviais são praticamente nulas nesse período. A aração foi efetuada com arado de três aivecas comuns de doze polegadas, operando na profundidade de trinta centímetros. No plantio direto contínuo (P₄) foi usada uma semeadora-adubadora apropriada, provida de discos de corte de palhada, de sulcadores com haste para adubação, e de discos duplos desencontrados para semeadura.

O milho híbrido BR 3123 foi semeado em novembro no espaçamento de 0,90 m entre linhas e cerca de quatro a cinco sementes por metro. O plantio da soja foi feito em novembro com a cultivar Doko (1º cultivo), com a cultivar Crixás (3º cultivo) e com a cultivar Conquista (7º, 9º e 11º cultivo), utilizando-se 20 sementes por metro, no espaçamento de 0,45 m entre linhas. O milheto, cultivar BN-2, foi semeado em novembro, no espaçamento de 0,22 m entre linhas, e colhido como forragem. O arroz foi semeado em dezembro com a cultivar Bonança, utilizando-se 70 a 80 sementes por metro, no espaçamento de 0,30 m entre linhas. Os plantios de feijão foram feitos em junho com a cultivar Pérola, no espaçamento de 0,45 m entre linhas e 10 sementes por metro. O trigo foi semeado em junho com a cultivar BR 42, no espaçamento de 0,20 m entre linhas e 80 sementes por metro. As mudas de tomate, variedade Hy pell, foram plantadas em julho, no espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,40 m entre plantas.

Nas culturas do milho, milheto, arroz, feijão e trigo realizou-se a adubação de semeadura com 20 kg ha⁻¹ de N (Ureia), 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Superfosfato simples) e 60 kg ha⁻¹ de K₂O (Cloreto de potássio). Na cultura da soja utilizou-se 80 kg ha⁻¹

de P₂O₅ (Superfostafó simples) e 80 kg ha⁻¹ de K₂O (Cloreto de potássio). Na cultura do tomate utilizou-se 75 kg ha⁻¹ de N (Ureia), 375 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Superfosfato simples) e 225 kg ha⁻¹ de K₂O (Cloreto de potássio), 50 kg ha⁻¹ de FTE (fritted trace elements) BR-12 como fonte de micronutrientes (2,2% B, 9,2% Zn, 0,8% Cu, 3,8% Fe, 3,5% Mn, and 0,1% Mo), 11,2 kg ha⁻¹ de Ca e 9,1 kg ha⁻¹ de S (sulfato de cálcio) e 50 kg N ha⁻¹ (ureia) em cobertura. Na cultura do arroz utilizou-se ainda 30 kg ha⁻¹ de FTE Br-12 e 60 kg N ha⁻¹ (ureia) em cobertura. Na cultura do milho utilizou-se ainda 60 kg N ha⁻¹ (ureia) em cobertura. Na cultura do feijão utilizou-se ainda 60 kg N ha⁻¹ (ureia) em cobertura.

No controle das irrigações das culturas do feijoeiro, do trigo e do tomate no inverno foram usados três tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade e as irrigações foram feitas quando a média das leituras se situavam na faixa de 30 a 40 kPa.

Foram realizadas amostragens estratificadas do solo no mês de outubro de cada ano nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,30 m de profundidade. Foram retiradas aleatoriamente oito amostras simples em cada profundidade, por subparcela, para constituir uma amostra composta com a utilização de trado holandês. As amostras compostas foram secas ao ar e peneiradas (malha 2 mm). Posteriormente foram submetidas à análise para determinação do pH (água), matéria orgânica, P, Mg, Ca, K, Cu, Fe, Zn e Mn trocáveis conforme metodologia proposta pela Embrapa (CLAESSEN, 1997).

Os dados dos atributos químicos em função do manejo do solo e das rotações de culturas foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Adicionalmente fez-se a avaliação dos teores iniciais (1º cultivo) e finais (12º cultivo) de cada atributo químico avaliado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise de variância, constatou-se efeitos significativos dos tratamentos para a maioria dos atributos químicos avaliados, ocorrendo interação entre os fatores manejo do solo x rotação de culturas. O pH não foi afetado pelo manejo do solo nas rotações R₁, R₂ e R₄, na profundidade de 0-0,10 m, o mesmo ocorreu no manejo R₂ na profundidade de 0,10-0,30 m (Tabela 2). Por outro lado, o manejo do solo afetou significativamente o pH nas rotações R₃, R₅ e R₆, na profundidade 0-0,10 m e em todas as rotações na profundidade de 0,10-0,30 m, com exceção da R₂. De maneira geral os menores valores de pH foram obtidos nos sistemas com menor revolvimento do solo, principalmente no SPD contínuo; essa observação ficou mais evidenciada na profundidade de 0,10-0,30 m. No SPD a prática da calagem é feita na superfície do solo sem incorporação, o que proporciona reações mais lentas no perfil do solo (CAIRES et al., 2008). Nos tratamentos com maior mobilização do solo há uma tendência de se obter maiores valores de pH em

profundidade devido à melhor distribuição do corretivo (FAGERIA, 2009).

Com relação às rotações de cultura verificou-se, de modo geral, que a R₁, R₂ e R₄, nas duas profundidades, proporcionaram os maiores valores de pH em todos os manejos de solo (Tabela 2). As rotações R₂ e R₄ continham a cultura da soja, que não recebeu adubação nitrogenada, e a rotação R₁ continha o milho, em dois cultivos, que não recebeu adubação nitrogenada de cobertura. Os adubos nitrogenados contribuem para o aumento da acidez do solo, pois o fertilizante mais utilizado é a ureia, onde o N-NH₄⁺ no solo rapidamente se oxida a nitrato liberando H⁺ (MALAVOLTA, 2006; NASCENTE et al., 2012). Silveira e Stone (2001) também relataram maiores valores de pH em todas as camadas avaliadas quando se utilizou soja na rotação e justificaram o resultado pela ausência da aplicação de ureia. As rotações R₃ e R₆ continham maior número de culturas que receberam adubação nitrogenada, o que pode ter proporcionado os menores valores de pH do solo.

No atributo matéria orgânica do solo, constatou-se valores similares para os manejos de

Tabela 2. Valores de pH e matéria orgânica do solo nas profundidades de 0-0,10 m e 0,10-0,30 m em razão do sistema de manejo do solo (MS) e da rotação de culturas.

MS ¹	Rotação de culturas ²						Média
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	
pH (água)							
-----0-0,10 m-----							
P ₁	5,80 a A ³	5,68 abc A	5,48 bc A	5,68 abc A	5,60 abc AB	5,42 c B	5,61
P ₂	5,63 a A	5,54 ab A	5,19 c B	5,64 a A	5,44 ab B	5,34 bc B	5,46
P ₃	5,58 a A	5,64 a A	5,52 a A	5,55 a A	5,70 a A	5,70 a A	5,62
P ₄	5,59 ab A	5,71 a A	5,46 ab A	5,71 a A	5,41 ab B	5,34 b B	5,54
Média	5,65	5,64	5,41	5,65	5,54	5,45	-
-----0,10-0,30 m-----							
P ₁	5,79 a A	5,55 abc A	5,42 bc A	5,63 ab A	5,66 ab A	5,36 c AB	5,57
P ₂	5,55 a A	5,49 ab A	5,11 c B	5,63 a A	5,27 bc BC	5,38 ab AB	5,41
P ₃	5,26 a B	5,34 a A	5,39 a AB	5,28 a B	5,48 a AB	5,48 a A	5,37
P ₄	5,19 ab B	5,50 ab A	5,16 ab AB	5,57 a AB	5,06 b C	5,08 b B	5,26
Média	5,45	5,47	5,27	5,53	5,37	5,32	-
Matéria orgânica (g dm ⁻³)							
-----0-0,10 m-----							
P ₁	17,6 a A	17,4 a A	17,2 a A	17,9 a A	17,4 a A	17,4 a A	17,5
P ₂	17,6 a A	17,6 a A	18,2 a A	17,6 a A	18,4 a A	17,6 a A	17,8
P ₃	16,8 a A	17,9 a A	17,2 a A	17,3 a A	17,3 a A	16,9 a A	17,2
P ₄	17,4 a A	17,2 a A	17,5 a A	17,1 a A	17,3 a A	17,3 a A	17,3
Média	17,3	17,5	17,5	17,5	17,6	17,3	-
-----0,10-0,30 m-----							
P ₁	14,3 a A	14,2 a A	13,7 a A	14,3 a A	14,3 a A	14,5 a A	14,2
P ₂	13,8 a A	14,3 a A	14,2 a A	14,3 a A	14,0 a A	13,7 a A	14,1
P ₃	13,5 a A	14,5 a A	13,8 a A	13,7 a A	13,3 a A	13,5 a A	13,7
P ₄	13,8 a A	13,7 a A	14,0 a A	13,5 a A	14,0 a A	13,7 a A	13,8
Média	13,9	14,2	13,9	14,0	13,9	13,8	-

¹P₁ = plantio direto seguido anualmente de um preparo com arado no inverno; P₂ = plantio direto seguido bianualmente de um preparo com arado no inverno e P₄ = plantio direto contínuo. ²R₁ = Milheto-feijão-milheto-feijão-arroz-feijão- milheto-feijão-milheto-feijão-arroz-feijão; R₂ = Soja-feijão-soja-trigo-arroz-feijão-soja-feijão-soja-trigo-arroz-feijão; R₃ = Milho-feijão-milho-tomate-arroz-feijão-milho-feijão-milho-tomate-arroz-feijão; R₄ = Milheto-feijão-soja-feijão-arroz-feijão-milheto-feijão-soja-feijão-arroz-feijão; R₅ = Milheto-feijão-milho-feijão-arroz-feijão-milheto-feijão-milho-feijão-arroz-feijão; R₆ = Soja-feijão-milho-feijão-arroz-feijão-soja-feijão-milho-feijão-arroz-feijão. ³Média seguidas pela mesma letra, maiúscula na vertical ou minúscula na horizontal, não diferem entre si pelo teste Tukey para p<0,05.

solo utilizados e também para as rotações de culturas, sem interação entre os fatores nas duas profundidades avaliadas (Tabela 2). Nascete et al. (2013a) também relataram valores similares nos teores de matéria orgânica do solo quando utilizou cinco diferentes plantas de cobertura no SPD. Segundo os autores, os tratamentos proporcionaram incrementos nos teores de matéria orgânica sem destaque para nenhuma das culturas utilizadas. Chama a atenção o fato dos valores serem semelhantes para todos os manejos utilizados, uma vez que era de se esperar maiores valores nos tratamentos com menor revolvimento do solo na camada de 0,10-0,30 m, uma vez que no SPD a deposição dos resíduos vegetais sobre o solo sem revolvimento resulta em incrementos nos teores de matéria orgânica nas camadas superficiais (SILVEIRA et al., 2000).

Entretanto, Kluthcouski et al. (2003) relataram que sistemas de rotação de culturas do tipo grão/grão sem a introdução de espécies capazes de produzir grande quantidade de matéria seca (superior a 10 ton ha⁻¹) não proporciona incrementos significativos nos teores de matéria orgânica do solo

ao longo dos anos. Apesar de no presente experimento o teor inicial da matéria orgânica era de 16,4 g dm⁻³, e aumentar com as rotações utilizadas, esses valores são bem inferiores aos que poderiam ser obtidos caso tivesse ocorrido a inclusão de plantas de cobertura com grande capacidade de produção de biomassa como observado por Nascete et al. (2013b). Além disso, 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 (D'ÁNDREA et al., 2004).

Para os teores de cálcio e magnésio, observou-se que as rotações R₁ e R₅, na profundidade de 0-0,10 m para os dois nutrientes e R₂ e R₆ na profundidade 0,10-0,30 m para cálcio e R₂, R₄ e R₆ para magnésio, não foram afetadas pelo manejo do solo (Tabela 3). Pode-se observar tendência de maiores valores desse nutriente nos manejos com menor revolvimento de solo na profundidade 0-0,10 m. Na camada de 0,10-0,30 m, contata-se uma tendência inversa, com maiores valores nos tratamentos com maior revolvimento de solo. Dessa forma, os resultados permitem inferir que no SPD e

Tabela 3. Teores de Ca e Mg no solo nas profundidades de 0-0,10 m e 0,10-0,30 m em razão do sistema de manejo do solo (MS) e da rotação de culturas.

MS ¹	Rotação de culturas ²						Média
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	
Ca (cmol _c dm ⁻³)							
-----0-0,10 m-----							
P ₁	17,2 a A ³	16,7 ab B	15,5 ab B	16,6 ab B	17,2 a A	13,6 b B	16,1
P ₂	17,2 ab A	17,1 ab B	15,1 b B	19,5 a AB	17,6 ab A	15,6 b B	17,0
P ₃	16,4 b A	21,0 a AB	20,6 ab A	17,7 ab B	18,9 ab A	20,4 ab A	19,2
P ₄	19,0 a A	22,9 a A	17,0 a AB	22,4 a A	16,9 a A	17,0 a AB	19,2
Média	17,4	19,5	17,1	19,1	17,6	16,6	-
-----0,10-0,30 m-----							
P ₁	16,7 ab A	15,4 ab A	16,1 ab AB	15,6 ab AB	18,8 a A	13,4 b A	16,0
P ₂	16,2 ab A	15,0 ab A	13,0 b B	18,8 a A	15,9 ab AB	15,6 ab A	15,8
P ₃	10,7 c B	15,7 abc A	18,5 a A	11,6 bc B	16,3 ab AB	16,1 abc A	14,8
P ₄	12,1 a AB	16,2 a A	11,9 a B	16,0 a AB	10,7 a B	12,2 a A	13,2
Média	13,9	15,6	14,9	15,5	15,4	14,3	-
Mg (cmol _c dm ⁻³)							
-----0-0,10 m-----							
P ₁	6,14 a A	5,06 abc B	4,59 bc B	5,48 ab B	5,84 a A	4,12 c C	5,21
P ₂	5,63 ab A	5,39 abc B	4,23 c B	6,18 a B	5,81 ab A	4,76 c BC	5,33
P ₃	5,46 b A	7,31 a A	6,48 ab A	5,94 ab B	6,02 ab A	6,73 ab A	6,32
P ₄	6,40 abc A	7,33 ab A	5,48 c AB	7,55 a A	5,30 c A	5,54 bc AB	6,27
Média	5,91	6,27	5,19	6,28	5,74	5,29	-
-----0,10-0,30 m-----							
P ₁	5,78 a A	4,59 ab A	4,57 ab AB	5,23 ab A	5,98 a A	3,94 b A	5,01
P ₂	4,52 ab AB	4,03 b A	3,39 b B	5,47 a A	4,42 ab AB	4,40 ab A	4,37
P ₃	3,29 c B	4,70 abc A	5,56 a A	3,81 bc A	4,84 abc AB	4,98 ab A	4,53
P ₄	3,44 ab B	4,91 ab A	3,51 ab B	5,64 a A	3,21 b B	3,37 ab A	4,01
Média	4,26	4,56	4,26	5,04	4,61	4,17	-

¹P₁ = plantio direto seguido anualmente de um preparo com arado no inverno; P₂ = plantio direto seguido bianualmente de um preparo com arado no inverno; P₃ = plantio direto seguido trienalmente de um preparo com arado no inverno e P₄ = plantio direto contínuo. ²R₁ = Milheto-feijão-milheto-feijão-arroz-feijão; R₂ = Soja-feijão-soja-trigo-arroz-feijão-soja-feijão-soja-trigo-arroz-feijão; R₃ = Milho-feijão-milho-tomate-arroz-feijão-milho-feijão-milho-tomate-arroz-feijão; R₄ = Milheto-feijão-soja-feijão-arroz-feijão-milheto-feijão-soja-feijão-arroz-feijão; R₅ = Milheto-feijão-milho-feijão-arroz-feijão-milheto-feijão-milho-feijão-arroz-feijão; R₆ = Soja-feijão-milho-feijão-arroz-feijão-soja-feijão-milho-feijão-arroz-feijão. ³Média seguidas pela mesma letra, maiúscula na vertical ou minúscula na horizontal, não diferem entre si pelo teste Tukey para p<0,05.

maneios com menor revolvimento de solo ocorre concentração dos nutrientes nas camadas superficiais, enquanto que nos maneios com aração mais frequente ocorre melhor distribuição do nutriente no perfil do solo. Esses resultados corroboram os obtidos por Silveira et al. (2000) em experimentos comparando os atributos do solo no SPD e no preparo convencional (aração e gradagens).

Em relação às rotações de cultura, em todas constatou-se maiores valores de Ca nos tratamentos sob SPD contínuo, enquanto que a rotação R₆ proporcionou os menores valores nos maneios de solo P₁ (aração anual) e P₂ (aração a cada dois anos), o que pode ser indicativo de baixa ciclagem de Ca nessa rotação. Vale destacar os valores obtidos na rotação R₃, que continha tomate, onde os teores de Ca foram similares aos obtidos em outras rotações, mesmo tendo-se realizado adubação com 70 kg ha⁻¹ de sulfato de cálcio, o que não foi feito nas outras rotações. Com isso pode-se constatar a capacidade de extração do Ca pelas plantas de tomate que não pro-

porcionaram incrementos significativos desse elemento no solo. Com relação ao magnésio, verificou-se menores valores nas rotações R₃ e R₆. Essas rotações incluíram a cultura do milho que recebeu maior quantidade de adubação nitrogenada, que contribuiu para a acidificação do solo, e provavelmente proporcionou maior redução dos teores de Mg no solo conforme relatado por Malavolta (2006).

Não houve efeito do manejo do solo para os teores de fósforo nas rotações R₂, R₃ e R₄ na camada 0-0,10 m (Tabela 4). Na camada 0,10-0,30 m, constatou-se que não houve efeito do manejo do solo e nem das rotações. De maneira geral, o manejo de solo sob SPD proporcionou os maiores teores de P na camada superficial (0-0,10 m). Provavelmente por que o P sendo um nutriente imóvel no solo e as adubações sendo realizadas anualmente a 0,05-0,08 m de profundidade no sulco de semeadura ocorre tendência de esse nutriente ficar concentrado na camada superficial tendo poucas alterações nas camadas mais profundas (FAGERIA, 2009).

Tabela 4. Teores de P e K no solo nas profundidades de 0-0,10 m e 0,10-0,30 m em razão do sistema de manejo do solo (MS) e da rotação de culturas.

MS ¹	Rotação de culturas ²						Média
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	
P (mg dm ⁻³)							
-----0-0,10 m-----							
P ₁	8,8 c B ³	14,4 bc A	20,6 a A	12,1 bc B	14,7 b A	11,2 bc B	13,6
P ₂	10,7 b B	18,1 ab A	23,7 a A	14,4 b AB	15,4 b A	14,8 b A	16,2
P ₃	18,7 a A	15,2 a A	16,9 a A	18,0 a AB	17,0 a A	12,6 a AB	16,4
P ₄	24,8 a A	13,8 b A	17,6 ab A	21,6 ab A	21,2 ab A	17,4 ab A	19,4
Média	15,8	15,4	19,7	16,5	17,1	14,0	-
-----0,10-0,30 m-----							
P ₁	9,6 a A	12,0 a A	16,1 a A	7,9 a A	11,4 a A	13,3 a A	11,7
P ₂	5,8 a A	12,7 a A	13,8 a A	10,1 a A	11,1 a A	10,1 a A	10,6
P ₃	11,8 a A	11,7 a A	16,1 a A	13,1 a A	10,6 a A	10,1 a A	12,2
P ₄	12,5 a A	7,6 a A	14,4 a A	13,5 a A	11,4 a A	12,7 a A	12,0
Média	9,9	11,0	15,1	11,2	11,1	11,56	-
K (mg dm ⁻³)							
-----0-0,10 m-----							
P ₁	103,6 ab B	110,8 ab AB	104,4 ab A	94,5 b AB	118,7 a A	97,7 ab A	105,0
P ₂	106,7 a B	92,5 ab BC	109,7 a A	81,1 b B	100,1 ab A	98,9 ab A	98,2
P ₃	118,1 a B	115,6 a A	119,1 a A	111,9 a A	115,2 a A	99,5 a A	113,2
P ₄	143,5 a A	84,6 b C	125,1 a A	91,3 b AB	126,0 a A	76,9 b A	107,9
Média	118,0	100,9	114,6	94,7	115,0	93,3	-
-----0,10-0,30 m-----							
P ₁	92,9 a A	82,2 a AB	106,1 a A	84,1 a A	81,3 a A	90,4 a A	89,5
P ₂	94,4 a A	87,3 ab AB	90,7 a A	69,3 ab A	60,8 b A	78,9 ab AB	80,2
P ₃	85,9 a A	89,8 a A	86,7 a A	85,0 a A	72,2 a A	76,9 a AB	82,8
P ₄	89,6 a A	63,6 ab B	76,2 ab A	74,8 ab A	74,8 ab A	50,6 b B	71,6
Média	90,7	80,7	89,9	78,3	72,3	74,2	-

¹P₁ = plantio direto seguido anualmente de um preparo com arado no inverno; P₂ = plantio direto seguido bianualmente de um preparo com arado no inverno; P₃ = plantio direto seguido trienalmente de um preparo com arado no inverno e P₄ = plantio direto contínuo. ²R₁ = Milheto-feijão-milheto-feijão-arroz-feijão- milheto-feijão-milheto-feijão-arroz-feijão; R₂ = Soja-feijão-soja-trigo-arroz-feijão-soja-feijão-soja-trigo-arroz-feijão; R₃ = Milho-feijão-milho-tomate-arroz-feijão-milho-feijão-milho-tomate-arroz-feijão; R₄ = Milheto-feijão-soja-feijão-arroz-feijão-milheto-feijão-soja-feijão-arroz-feijão; R₅ = Milheto-feijão-milho-feijão-arroz-feijão-milheto-feijão-milho-feijão-arroz-feijão; R₆ = Soja-feijão-milho-feijão-arroz-feijão-soja-feijão-milho-feijão-arroz-feijão. ³Média seguidas pela mesma letra, maiúscula na vertical ou minúscula na horizontal, não diferem entre si pelo teste Tukey para p<0,05.

Com relação às rotações, merece destaque a rotação R₃ onde foi observado os maiores teores de P em todos os manejos de solo (Tabela 4). Uma possível explicação seria porque nessa rotação houve dois cultivos de tomate (ano 2 e ano 5), onde adubou-se com 375 kg ha⁻¹ de P₂O₅ valores bem superiores aos das outras rotações onde na mesma época foi feita adubação com 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅. O P normalmente é o nutriente mais aplicado nas culturas agrícolas na região dos Cerrados devido à alta fixação por óxido/ hidróxido de Fe e Al (FAGERIA, 2009). Com isso nem todo o P aplicado é absorvido pelas culturas, o que pode ter proporcionado esses maiores valores na rotação R₃. A rotação R₂ foi a que proporcionou os menores teores de P no manejo SPD contínuo na profundidade 0-0,10 m, possivelmente por que nessa rotação houve quatro ciclos de soja (ano 1, ano 2, ano 4 e ano 5), nessa cultura a adubação foi com 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ enquanto que nas demais utilizou-se 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Para o valor médio de potássio no solo, a análise de variância conjunta revelou efeitos significativos da interação manejo do solo e rotação de culturas (Tabela 4). Não houve efeito do manejo do solo nas rotações R₃, R₅ e R₆ na camada 0-0,10 m, o mesmo resultado foi observado nas rotações R₁, R₃, R₄ e R₅ na camada 0,10-0,30 m. O manejo do solo com SPD contínuo proporcionou os maiores teores desse nutriente na camada de 0-0,10 m em todas as rotações com exceção da R₂. Possivelmente por que nesse sistema de manejo do solo a palhada na superfície proporcionou incrementos desse nutriente na camada mais superficial, enquanto que nos outros manejos do solo, com revolvimento, o nutriente foi distribuído em maior volume do solo. Vale ressaltar os valores relativamente elevados obtidos na camada 0,10-0,30 m, o que pode ter ocorrido devido ao K ser extremamente móvel no solo (CRUSCIOL et al., 2010), descendo no perfil do solo.

Com relação às rotações verifica-se que as rotações R₁, R₃ e R₅ normalmente proporcionaram maiores teores de K na camada de 0-0,10 m (Tabela 4). Esses resultados podem ser reflexos da rotação ter incluído as gramíneas milho e milho que possuem sistema radicular profundo e alta capacidade de extração, acumulação e reciclagem de nutrientes, principalmente o milho (CARPIM et al., 2008; CRUSCIOL et al., 2010; NASCENTE et al., 2013a) e contribuíram significativamente para o incremento dos teores desse nutriente. Por outro lado as rotações R₂, R₄ e R₆ incluíam a soja, cultura caracterizada por ser grande extratora de potássio. Segundo Foloni e Rosolem (2008) o potássio depois do N é o nutriente mais extraído pela soja, sendo que para cada 1000 kg de grãos produzidos são extraídos 20 kg de K.

Houve interação entre manejo do solo e rotação de culturas para os teores de cobre no solo (Tabela 5). O sistema de manejo sob SPD contínuo proporcionou os maiores valores nas rotações R₁, R₅

e R₆ na profundidade de 0-0,10 m e R₁, R₂, R₅ e R₆ na camada 0,10-0,30 m. Com relação às rotações, constatou-se maiores valores na R₃. Nessa rotação aplicou-se 50 kg ha⁻¹ de FTE BR 12, fertilizante rico em micronutrientes, nas duas safras de tomate (ano 2 e 5) o que pode justificar esse resultado.

Os teores de zinco no solo tiveram tendência de maiores valores nos manejos de solo com maior frequência de revolvimento e menores valores nos tratamentos sob SPD (Tabela 5). O Zn é muito influenciado pelo pH, onde a elevação de seus valores proporciona redução dos teores de Zn no solo (FAGERIA; STONE, 2004). Na profundidade de 0,10-0,30 m o tratamento sob SPD contínuo proporcionou os menores valores de Zn, podendo ser indicativo de concentração do nutriente nas camadas superficiais. Com relação às rotações, da mesma forma observada para o Cu, a rotação R₃ proporcionou os maiores teores de Zn, sendo que nos manejos do solo com revolvimento menos frequente (P₃) e o SPD contínuo, não houve diferença entre as rotações.

Os teores de Fe foram pouco afetados pelo manejo do solo e rotações de cultura (Tabela 6), possivelmente por que os latossolos são caracterizados por possuírem grande quantidade desse nutriente sendo raros os casos de manejo agrícola que altere o balanço desse nutriente no solo (FAGERIA et al., 2002). Com relação ao Mn, constatou-se efeito em todos os manejos de solo na camada de 0-0,10 m, havendo tendência de maiores valores nos tratamentos sob SPD (Tabela 6). Esse resultado pode ser reflexo do pH obtido nesse sistema de manejo do solo (mais baixo), condição que proporciona aumento nos teores de Mn (FAGERIA et al., 2002). Segundo Vendrame et al. (2007) com a acidificação do solo o Mn é o nutriente disponibilizado em primeiro lugar e em maiores quantidades em relação aos demais micronutrientes. Com relação às rotações, observou-se menores valores na R₁ e R₅, essas rotações incluíam milho e milho que são grandes extratores de nutrientes do solo.

Comparando-se os atributos do solo para cada manejo e nas diferentes profundidades, observa-se maiores valores na superfície do solo (0-0,10 m) do que 0,10-0,30 m, nos manejos com menor revolvimento do solo (P₃ e P₄) para os atributos pH, Ca, Mg, matéria orgânica, P, K Mn e Zn (Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6), isso reforça a hipótese de que no SPD, devido ao não revolvimento do solo, os nutrientes tendem a se concentrar nas camadas mais superficiais (SILVEIRA et al., 2000).

Quando se comparou a fertilidade do solo no ano 1 com a fertilidade do último ano do estudo (ano 6), verificou-se alterações significativas em quase todos os atributos do solo (Tabela 7). No pH não houve diferença entre os períodos avaliados; esse resultado é extremamente interessante, uma vez que, normalmente se recomenda a prática da calagem a

Tabela 5. Teores de Cu e Zn no solo nas profundidades de 0-0,10 m e 0,10-0,30 m em razão do sistema de manejo do solo (MS) e da rotação de culturas.

MS ¹	Rotação de culturas ²						Média
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	
Cu (mg dm ⁻³)							
-0,0-10 m-							
P ₁	1,99 b BC ³	2,06 b AB	2,26 a B	1,94 b B	2,03 b A	2,06 b BC	2,06
P ₂	2,16 bc AB	2,15 bc A	2,66 a A	2,30 b A	2,08 c A	2,27 bc A	2,27
P ₃	1,87 b C	1,99 ab AB	2,11 a B	1,87 b B	1,90 b B	1,92 b C	2,02
P ₄	2,37 a A	1,95 b B	2,17 ab B	1,92 b B	2,05 b A	2,14 ab AB	2,10
Média	2,10	2,04	2,30	2,01	2,02	2,10	-
-0,10-0,30 m-							
P ₁	2,01 ab B	2,06 ab A	2,10 a B	1,89 b B	2,06 ab BC	2,08 ab A	2,03
P ₂	2,17 b AB	2,21 b A	2,67 a A	2,32 b A	2,21 b AB	2,23 b A	2,30
P ₃	1,96 a B	2,05 a A	2,07 a B	1,97 a B	1,93 a C	2,12 a A	1,94
P ₄	2,31 a A	2,06 a A	2,12 a B	2,09 a B	2,23 a A	2,12 a A	2,15
Média	2,11	2,09	2,24	2,07	2,10	2,14	-
Zn (mg dm ⁻³)							
-0,0-10 m-							
P ₁	4,84 c A	6,36 ab AB	7,36 a AB	5,18 bc A	6,85 a A	5,38 bc B	5,99
P ₂	6,08 b A	6,44 b AB	8,23 a A	6,10 b A	6,49 b AB	6,98 ab A	6,72
P ₃	6,71 a A	7,10 a A	6,95 a AB	6,01 a A	6,01 a AB	5,56 a B	6,39
P ₄	5,60 a A	5,16 a B	6,30 a B	5,83 a A	5,19 a B	5,08 a B	5,53
Média	5,81	6,27	7,21	5,78	6,14	5,75	-
-0,10-0,30 m-							
P ₁	4,45 b A	5,34 ab A	6,53 a A	4,42 b A	5,61 ab A	5,16 ab AB	5,25
P ₂	4,94 b A	5,30 ab A	6,92 a A	5,12 ab A	6,28 ab A	5,75 ab A	5,72
P ₃	5,37 a A	5,52 a A	5,56 a A	4,53 a A	4,14 a B	5,09 a AB	5,04
P ₄	3,44 a A	3,09 a B	3,82 a B	4,22 a A	3,28 a B	3,89 a B	3,63
Média	4,55	4,81	5,71	4,57	4,83	4,97	-

¹P₁ = plantio direto seguido anualmente de um preparo com arado no inverno; P₂ = plantio direto seguido bianualmente de um preparo com arado no inverno; P₃ = plantio direto seguido trienalmente de um preparo com arado no inverno e P₄ = plantio direto contínuo. ²R₁ = Milheto-feijão-milheto-feijão-arroz-feijão- milheto-feijão-milheto-feijão-arroz-feijão; R₂ = Soja-feijão-soja-trigo-arroz-feijão-soja-feijão-soja-trigo-arroz-feijão; R₃ = Milho-feijão-milho-tomate-arroz-feijão-milho-feijão-milho-tomate-arroz-feijão; R₄ = Milheto-feijão-soja-feijão-arroz-feijão-milheto-feijão-soja-feijão-arroz-feijão; R₅ = Milheto-feijão-milho-feijão-arroz-feijão-milheto-feijão-milho-feijão-arroz-feijão; R₆ = Soja-feijão-milho-feijão-arroz-feijão-soja-feijão-milho-feijão-arroz-feijão. ³Média seguidas pela mesma letra, maiúscula na vertical ou minúscula na horizontal, não diferem entre si pelo teste Tukey para p<0,05.

Tabela 6. Teores de Fe e Mn no solo nas profundidades de 0-0,10 m e 0,10-0,30 m em razão do sistema de manejo do solo (MS) e da rotação de culturas.

MS ¹	Rotação de culturas ²						Média
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	
Fe (mg dm ⁻³)							
-----0-0,10 m-----							
P ₁	43,8 a A	39,4 a B	43,4 a A	41,8 a A	40,1 a A	42,5 a A	43,8
P ₂	44,8 ab A	47,4 ab A	48,1 a A	40,5 ab A	42,6 ab A	40,0 b A	43,9
P ₃	47,4 a A	45,1 a AB	45,4 a A	44,6 a A	43,9 a A	40,7 a A	44,5
P ₄	46,2 a A	44,4 ab AB	44,1 ab A	43,7 ab A	41,3 ab A	38,4 b A	43,0
Média	45,6	44,1	45,3	42,6	42,0	40,4	-
-----0,10-0,30 m-----							
P ₁	47,5 a A	41,4 a A	50,7 a A	45,1 a A	45,9 a A	45,7 a A	46,1
P ₂	49,5 a A	48,2 a A	50,7 a A	42,8 a A	47,7 a A	45,9 a A	47,5
P ₃	43,6 a A	44,5 a A	43,4 a A	40,4 a A	44,7 a A	45,3 a A	43,7
P ₄	43,7 a A	44,9 a A	42,9 a A	45,4 a A	40,2 a A	43,2 a A	43,4
Média	46,1	44,8	46,9	43,4	44,6	45,1	-
Mn (mg dm ⁻³)							
-----0-0,10 m-----							
P ₁	8,6 c C	10,5 ab C	11,0 a AB	11,2 a B	9,7 bc B	10,6 ab B	10,3
P ₂	12,1 b A	12,1 b B	12,9 b A	12,3 b AB	13,1 b A	15,1 a A	13,0
P ₃	10,7 b B	12,7 a B	11,7 ab B	11,6 ab B	11,6 ab A	10,6 b B	11,5
P ₄	12,7 a A	14,4 a A	12,6 a AB	13,5 a A	12,0 a A	14,2 a A	13,2
Média	11,1	12,4	12,1	12,1	11,6	12,6	-
-----0,10-0,30 m-----							
P ₁	8,3 b B	9,7 ab B	11,6 a AB	10,9 a A	9,6 ab B	10,6 ab BC	10,1
P ₂	11,4 b A	10,8 b AB	12,7 ab A	11,1 b A	12,6 ab A	14,2 a A	12,1
P ₃	9,1 a B	10,0 a AB	9,9 a B	9,1 a A	9,7 a B	9,1 a C	9,5
P ₄	10,3 ab AB	12,2 ab A	11,0 ab AB	10,6 ab A	9,5 b B	12,6 a AB	11,0
Média	9,8	10,7	11,3	10,4	10,4	11,6	-

¹P₁ = plantio direto seguido anualmente de um preparo com arado no inverno; P₂ = plantio direto seguido bianualmente de um preparo com arado no inverno; P₃ = plantio direto seguido trienalmente de um preparo com arado no inverno e P₄ = plantio direto contínuo. ²R₁ = Milheto-feijão-milheto-feijão-arroz-feijão- milheto-feijão-milheto-feijão-arroz-feijão; R₂ = Soja-feijão-soja-trigo-arroz-feijão-soja-feijão-soja-trigo-arroz-feijão; R₃ = Milho-feijão-milho-tomate-arroz-feijão-milho-feijão-milho-tomate-arroz-feijão; R₄ = Milheto-feijão-soja-feijão-arroz-feijão-milheto-feijão-soja-feijão-arroz-feijão; R₅ = Milheto-feijão-milho-feijão-arroz-feijão-milheto-feijão-milho-feijão-arroz-feijão; R₆ = Soja-feijão-milho-feijão-arroz-feijão-soja-feijão-milho-feijão-arroz-feijão. ³Média seguidas pela mesma letra, maiúscula na vertical ou minúscula na horizontal, não diferem entre si pelo teste Tukey para p<0,05.

cada 3 a 5 anos (FAGERIA, 2009). Assim, constata-se que com o uso da rotação de cultura e o cultivo contínuo da área foi possível proporcionar valores semelhantes de pH sem a utilização de calcário. Uma possível explicação para esse resultado seria o incremento significativo nos valores de matéria orgânica, que tem poder tampão e pode contribuir para a não alteração dos valores de pH (MALAVOLTA, 2006). Em alguns casos a presença de resíduos vegetais na superfície do solo característico do SPD pode inclusive proporcionar elevação dos valores de pH. De acordo com Franchini et al. (2000) no SPD, a presença de resíduos vegetais na superfície pode proporcionar

aumento dos níveis de pH e dos teores de Ca e Mg trocáveis até camadas mais profundas do solo em detrimento do teor de Al trocável. Com relação ao Ca, constatou-se valores semelhantes nas rotações R₁, R₂ e R₅. Para o Mg, R₁, R₄ e R₅ também proporcionaram valores semelhantes, nesse caso, com a utilização dessas rotações de cultura, a utilização de calcário somente será indicada para a elevação do pH. Com relação à matéria orgânica, P, K, Cu, Mn e Zn todas as rotações proporcionaram valores semelhantes ou superiores aos valores iniciais, o que pode ser indicativo de sustentabilidade do sistema.

Tabela 7. Atributos químicos do solo no primeiro (ano 1) e último (ano 6) ano de rotação de culturas (Rot) na profundidade de 0-0,30 m.

Rot ¹	Atributos químicos									
	pH (água)		Ca (cmol _c dm ⁻³)		Mg (cmol _c dm ⁻³)		MO (g dm ⁻³)		P (mg dm ⁻³)	
	Ano 1	Ano 6	Ano 1	Ano 6	Ano 1	Ano 6	Ano 1	Ano 6	Ano 1	Ano 6
R ₁	5,61 a ²	5,53 a	15,3 a	15,0 a	5,51 a	4,73 a	16,0 b	18,7 a	12,9 b	25,7 a
R ₂	5,60 a	5,56 a	18,2 a	19,5 a	6,89 a	5,17 b	16,1 b	19,0 a	12,3 b	21,3 a
R ₃	5,54 a	5,43 a	16,4 a	11,6 b	5,67 a	4,81 b	16,0 b	19,0 a	14,0 b	33,5 a
R ₄	5,61 a	5,58 a	17,5 a	15,5 b	6,42 a	5,78 a	15,9 b	19,0 a	11,0 b	23,4 a
R ₅	5,67 a	5,59 a	16,7 a	16,3 a	6,27 a	5,49 a	15,9 b	19,3 a	11,8 b	26,2 a
R ₆	5,62 a	5,39 b	17,7 a	12,9 b	6,02 a	4,61 b	15,7 b	18,9 a	12,6 b	21,2 a
	K (mg dm ⁻³)		Cu (mg dm ⁻³)		Fe (mg dm ⁻³)		Mn (mg dm ⁻³)		Zn (mg dm ⁻³)	
R ₁	108,9 b	132,7 a	1,94 a	1,93 a	41,6 a	38,6 a	10,1 a	10,2 a	6,14 a	6,66 a
R ₂	114,8 a	102,8 a	1,78 b	2,01 a	44,4 a	34,9 b	11,8 a	11,3 a	5,38 b	6,88 a
R ₃	107,4 b	154,0 a	1,86 b	2,24 a	44,0 a	34,0 b	11,9 a	10,8 a	6,73 b	7,74 a
R ₄	111,1 a	105,6 a	1,85 b	2,13 a	41,5 a	34,2 b	11,4 a	11,3 a	6,67 a	7,19 a
R ₅	116,5 b	137,5 a	1,94 a	1,89 a	43,2 a	35,3 a	11,3 a	11,4 a	4,89 b	6,52 a
R ₆	101,3 b	120,9 a	1,85 b	2,08 a	40,8 a	33,3 b	12,5 a	11,8 a	4,69 b	6,56 a

¹R₁ = Milheto-feijão-milheto-feijão-arroz-feijão- milheto-feijão-milheto-feijão-arroz-feijão; R₂ = Soja-feijão-soja-trigo-arroz-feijão-soja-feijão-soja-trigo-arroz-feijão; R₃ = Milho-feijão-milho-tomate-arroz-feijão-milho-feijão-milho-tomate-arroz-feijão; R₄ = Milheto-feijão-soja-feijão-arroz-feijão-milheto-feijão-soja-feijão-arroz-feijão; R₅ = Milheto-feijão-milho-feijão-arroz-feijão-milheto-feijão-milho-feijão-arroz-feijão; R₆ = Soja-feijão-milho-feijão-arroz-feijão-soja-feijão-milho-feijão-arroz-feijão. ²Média seguidas pela mesma letra, maiúscula na vertical ou minúscula na horizontal, não diferem entre si pelo teste Tukey para p<0,05.

Assim, verifica-se que a rotação de culturas em qualquer dos manejos de solo utilizados proporcionou a manutenção ou melhoria da fertilidade inicial. Dessa forma, pode-se inferir que a utilização continuada da área agrícola com cultivos de verão e inverno são estratégias importantes quando se visa a sustentabilidade agrícola. A escolha da rotação que deve ser utilizada vai depender de vários fatores como opção do produtor, maquinário disponível e rentabilidade da cultura.

CONCLUSÕES

Os sistemas de manejo do solo e as rotações de cultura afetaram significativamente os atributos químicos do solo;

Os atributos químicos Ca, Mg, matéria orgânica, P, K, Mn e Zn concentraram-se na camada mais superficial independentemente da rotação

utilizada nos manejos com menor revolvimento do solo;

Os valores de pH foram semelhantes durante o período de 12 cultivos em seis anos agrícolas;

As rotações de culturas utilizadas, nos diferentes manejos de solo sob plantio direto, proporcionaram melhoria da fertilidade do solo, com valores de matéria orgânica, P, K, Cu, Mn e Zn iguais ou superiores aos teores iniciais.

REFERÊNCIAS

- CAIRES, E. F. et al. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 57-64, 2008.
- CARPIM, L. K. et al. Liberação de nutrientes pela palhada de milho em diferentes estádios fenológi-

- cos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2813-2819, 2008. (n. Especial)
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1997. 212 p.
- CRUSCIOL, C. A. C. et al. Benefits of integrating crops and tropical pastures as systems of production. **Better Crops**, Atlanta, v. 94, n. 2, p. 14-16, 2010.
- CUNHA, E. Q. et al. Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p. 1021-1029, 2011.
- D'ANDRÉA, A. F. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.
- FAGERIA, N. K. **The use of nutrients in crops plants**. CRC Press, Boca Raton, 2009. 430 p.
- FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Produtividade de feijão no sistema plantio direto com aplicação de calcário e zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 73-78, 2004.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, New York, v. 77, p. 185-268, 2002.
- FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, 2003.
- FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1549-1561, 2008.
- FRANCHINI, J. C. et al. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 459-467, 2000.
- FRANCHINI, J. C. et al. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 39 p.
- FRANCHINI, J. C. et al. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 137, p. 178-185, 2009.
- FRANZLUEBBERS, A. J.; HONS, F. M. Soil-profile distribution of primary and secondary plant-available nutrients under conventional and no tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 39, n. 3/4, p. 229-239, 1996.
- KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 570 p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.
- MORAES, M. T. **Qualidade física do solo sob diferentes tempos de adoção e de escarificação do sistema plantio direto e sua relação com a rotação de culturas**. 2013. 205 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
- NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; COBUCI, T. Ammonium and nitrate in soil and upland rice yield as affected by cover crops and their desiccation time. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 12, p. 1699-1706, 2012.
- NASCENTE, A. S.; LI, Y. C.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and no-till effects on physical fractions of soil organic matter. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 130, p. 52-57, 2013a.
- NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; COBUCI, T. The no-tillage system and cover crops – alternatives to increase upland rice yields. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 45, p. 124-131, 2013b.
- REDDY, S. S. et al. Long-term effects of poultry litter and conservation tillage on crop yields and soil phosphorus in cotton-cotton-corn rotation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 114, n. 2, p. 311-319, 2009.
- ROSOLEM, C. A. et al. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 1033-1040, 2006.
- SÁ, J. C. M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro, PR: Fundação ABC, 1993. 96 p.
- SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 477-486, 2003.
- SILVEIRA NETO, A. N. et al. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1,

p. 29-35, 2006.

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.

SILVEIRA, P. M. et al. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 2057-2064, 2000.

SILVEIRA, P. M. et al. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 53-59, 2008.

VENDRAME, P. R. S. et al. Disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco em solos sob pastagens na região do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 859-864, 2007.