

INFLUÊNCIA DE SISTEMAS AGRÍCOLAS EM CARACTERÍSTICAS QUÍMICO-FÍSICAS DO SOLO

CORIVAL CÂNDIDO DA SILVA¹
PEDRO MARQUES DA SILVEIRA¹

RESUMO – O aumento na produção de alimentos por meio da agricultura, com enfoque em sistemas agrícolas, tem sido bastante praticado nos últimos anos. Entretanto, são necessários ajustes nas técnicas de manejo do solo, adequando-as aos diferentes sistemas. Para comprovar essa hipótese, avaliou-se a influência de quatro sistemas agrícolas nas características químico-físicas do solo. Os sistemas foram A - rotação milho-feijão, preparo do solo com arado de aiveca no verão e grade aradora no inverno; B - rotação arroz-feijão, preparo do solo com arado de aiveca em todos os plantios; C - rotação arroz/calopogônio-feijão, preparo do solo com grade aradora em todos os plantios, e D - rotação milho-feijão, em

plântio direto contínuo. Os experimentos foram conduzidos no período de outono-inverno, de 1996 e 1997, em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, na Fazenda Capivara, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão. Verificou-se que os sistemas agrícolas afetaram a distribuição de nutrientes no perfil do solo. Nos sistemas C e, principalmente, D, houve maior concentração nas camadas superficiais, sendo mais evidente nos teores de P, K e $Ca^{2+}+Mg^{2+}$. Quanto às características físicas, os efeitos dos sistemas na estrutura do solo, avaliados por meio do diâmetro médio ponderado dos agregados, foram os mais pronunciados, sobressaindo com os maiores valores os sistemas C e D.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Preparo do solo, rotação de cultura, análise química, análise física.

DIFFERENT AGRICULTURAL SYSTEMS AND THEIR EFFECTS OVER SOIL CHARACTERISTICS

ABSTRACT – In recent years emphasis has been placed upon the systemic approach of agricultural practices to increase food production. However, general crop management techniques have to be adjusted as a function of the different crop systems available and soil management practices. To confirm this hypothesis, the effects of four different production systems on soil characteristics were evaluated. The systems were: A - bean-corn crop rotation, using moldboard plowing in the summer and harrowing in the winter season; B - rice-bean crop rotation and moldboard plowing only; C - rice/calopogonium-bean crop rotation and harrowing only; D - corn-bean crop rotation using continuous no-

tillage. Field trials were conducted during the fall-winter season, in 1996 and 1997, in a dystrophic Dark Red Latosol, at the experimental farm of Rice & Bean EMBRAPA Research Center. It was observed that the agricultural systems affected nutrient distribution in the soil profile. In systems C and D, especially the latter, nutrient concentration was greater in the surface layers, this being more evident for P, K, $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ contents. Considering physical characteristics, the strongest effect of the different cropping systems upon soil structure was observed on the diameter of soil aggregates and the highest values were found for systems C and D.

INDEX TERMS: Soil preparation, crop rotation, chemical analysis, physical analysis.

INTRODUÇÃO

O enfoque dado aos sistemas agrícolas tem aumentado bastante nos últimos anos, por meio dos quais buscam-se maximizar o uso da terra e o rendimento das culturas, visando a atender a demanda crescente por alimentos. O manejo da planta e do ambiente é o caminho seguido para vencer esse desafio. Quanto ao ambiente, buscam-se técnicas que, em geral, envolvem manejo do

solo, adubação e irrigação; quanto à planta, rotação de culturas e novas cultivares, além do manejo inerente a cada uma delas.

Entende-se por sistema agrícola a utilização de uma determinada área com diversas culturas em sucessão, intercalando-se, ou não, espécies destinadas apenas ao fornecimento de material orgânico e com diferentes formas de manejo do solo e de utilização de insumos.

1. Engenheiro Agrônomo, Dr., Embrapa Arroz e Feijão, Caixa Postal 179, 75375-000 – Santo Antônio de Goiás, GO

Diversas formas de preparo do solo têm sido estudadas nos sistemas agrícolas, incluindo o seu revolvimento somente nas linhas de plantio e o revolvimento total na área destinada ao plantio, pelo método convencional com aração e gradagens, apenas gradagens e com escarificação. Diversos autores (Muzilli, 1983; Siqueira et al., 1993; Calegari et al., 1993; Alves et al., 1993; Selles et al., 1997) avaliaram um ou mais desses sistemas e também o plantio direto. Este normalmente eleva a concentração de alguns nutrientes na camada superficial do solo, ao ser comparado ao preparo convencional (Cannel & Finney, 1973; Mullins et al., 1980; Muzilli, 1983; Sampaio, 1987; Eltz et al., 1989; Siqueira, 1989; Klepker & Anghinoni, 1995; Yoshida et al., 1995; Selles et al., 1997). Para o fósforo, por exemplo, Muzilli (1983) e Siqueira (1989) encontraram maior acúmulo nas camadas superficiais em plantio direto, e Selles et al. (1997) constataram aumento de 15% no fósforo total da superfície a 10 cm, em relação ao preparo convencional, após um período de dez anos de cultivo. Quanto ao potássio, Muzilli (1983) constatou distribuição similar nos dois sistemas, enquanto Klepker & Anghinoni (1995) verificaram maior concentração desse nutriente nas camadas superficiais do tratamento sem preparo do solo, já no segundo ano do experimento. Esses últimos autores constataram ainda que a distribuição de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, pH em água e necessidade de calcário no perfil do solo foram semelhantes nos diferentes manejos do solo: preparo convencional, em faixas e sem preparo. Quanto ao pH, resultados semelhantes foram obtidos por Muzilli (1983) e Santos et al. (1995), mostrando que o plantio direto não acidificou a camada superficial do solo.

Num Latossolo Roxo distrófico e num Latossolo Vermelho-Escuro distrófico argiloso, Muzilli (1983) avaliou, em plantio direto e em plantio convencional, as sucessões soja-trigo-soja, milho-trigo-milho e soja-trigo-milho e constatou que em ambos os solos houve certa similaridade da distribuição e acumulação de matéria orgânica, mas em termos de qualidade, houve diferenciação entre os métodos de preparo do solo. Entretanto, Paiva et al. (1997) constataram aumento no teor de matéria orgânica no plantio direto em relação ao preparo convencional, nas sucessões milho-pousio e milho-tremoço, num Latossolo Roxo, após sete anos de cultivo.

A avaliação dos efeitos de diferentes rotações de culturas e, ou manejos sobre as características físicas do solo constitui objetivo de diversos trabalhos citados na literatura. Esses efeitos são influenciados pelo período de cultivo, pelo número de cultivos por ano, pela umidade do solo no momento de seu preparo e pelas espécies

cultivadas. Machado et al. (1981), num Latossolo Vermelho-Escuro, verificaram que as operações de preparo do solo no sistema convencional não provocaram alterações nas suas características físicas nos primeiros quatro anos. A partir do oitavo ano de cultivo, foram alteradas a densidade do solo, a porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade; entretanto, as alterações foram mais evidentes no décimo quarto ano de cultivo. Resultados semelhantes foram obtidos por Eltz et al. (1989): a rotação soja-trigo-soja-cevada durante seis anos e adubação verde com leguminosa e milho em um ano e meio, em solo com preparo convencional, não alterou significativamente as suas características físicas. O mesmo aconteceu no plantio direto, com exceção do aumento da estabilidade de agregados na superfície do solo e da taxa de infiltração acumulada. Nesse estudo, foram avaliados preparo convencional no inverno e no verão, preparo convencional no inverno e plantio direto no verão, plantio direto no inverno e preparo convencional no verão plantio direto no inverno e no verão, e escarificação no inverno e no verão.

Dessa forma, em áreas cuja agricultura é praticada utilizando diferentes sistemas agrícolas, esperam-se alterações nas características químico-físicas do solo em função desses sistemas. Partindo-se dessa premissa, realizou-se o presente estudo com o objetivo de verificar o efeito de quatro sistemas agrícolas nas características químico-físicas do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo constituiu uma ação de pesquisa agregada ao experimento "Rotação de culturas e preparo do solo em sistemas agrícolas irrigados por aspersão", iniciado em novembro de 1992 e composto por 24 combinações entre rotações de culturas e métodos de preparo do solo. Entre essas 24 combinações, foram selecionadas quatro, constituindo os sistemas no presente estudo. Foram considerados sistemas contrastantes, conforme constatado por meio de uma análise de variância multivariada das características químico-físicas do solo. Esses sistemas foram os seguintes: sistema A (rotação milho-feijão, preparo do solo com arado de aiveca no plantio de verão e grade aradora no inverno), sistema B (rotação arroz-feijão, preparo do solo com arado de aiveca em todos os plantios), sistema C (rotação arroz/calopogônio-feijão, preparo do solo com grade aradora em todos os plantios) e o sistema D (rotação milho-feijão, em plantio direto contínuo).

Os experimentos foram conduzidos em 1996 e em 1997, em área irrigada por aspersão, sistema pivô central, na Fazenda Capivara, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, no município de Santo Antônio de Goiás. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho-Escuro distrófico.

Em toda a área experimental, fez-se calagem em 27/5/96, distribuindo-se 2 t/ha^{-1} de calcário com 63,3% de PRNT, 29,7% de CaO e 12,0% de MgO. Excetuando-se o sistema com plantio direto, nos demais, o calcário foi incorporado ao solo.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, com os tratamentos dispostos em fatorial 4×4 , com cinco repetições. Os fatores foram constituídos por quatro sistemas agrícolas e quatro profundidades de amostragem.

Nos dois anos agrícolas, foram realizadas determinações do pH, dos macro e micronutrientes e da matéria orgânica, em amostras coletadas antes da semeadura do feijão, em todas as parcelas, às profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, com cinco repetições. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo da Embrapa Arroz e Feijão, conforme metodologia proposta pela Embrapa (1979). O Ca, Mg e Al foram extraídos em KCl 1N; o K, P, Cu, Fe, Mn e Zn, em solução de Mehlich 1 (HCl 0,5N + H_2SO_4 0,025N), e a matéria orgânica, determinada pelo método de Walkley Black.

As determinações físicas do solo foram feitas em amostras coletadas em todas as parcelas, após cada semeadura do feijão, às profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, com cinco repetições, conforme metodologia proposta pela EMBRAPA (1979). A porosidade total foi determinada pela umidade de saturação ou porcentagem de saturação em volume; a microporosidade, pelo método da “mesa de tensão”, com o emprego de amostras com estrutura não deformada; e a macroporosidade, pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade. Na análise de agregados do solo, as determinações foram feitas em amostras coletadas em todos os sistemas agrícolas, após o preparo e antes da semeadura, às profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, com cinco repetições. As análises foram feitas utilizando-se o método por via úmida, com tempo de umedecimento de 4 horas e com massa de 25 gramas de agregados. Para a expressão dos resultados e comparação entre os tratamentos utilizou-se o índice “diâmetro médio ponderado” (Baver et al., 1973).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao comparar os sistemas agrícolas (Tabela 1), considerando-se cada perfil do solo, verificou-se que os valores de pH variaram apenas nas camadas superficiais do solo, ou seja, na camada de 0-5 cm, em 1996 e 1997, o mesmo ocorrendo na camada de 5-10 cm em 1996. No sistema D, foram obtidos, na camada de 0-5 cm, os maiores valores, 5,72 e 5,94, em 1996 e 1997, respectivamente, embora no primeiro ano esse sistema não tenha diferido significativamente do sistema A e, no segundo ano, diferido apenas do sistema B (Tabela 1). Esse maior valor do pH na camada de 0-5 cm no sistema D, em 1997, pode ser atribuído ao efeito da calagem feita em 1996. Como nesse sistema não ocorre movimentação de solo, ele manifestou-se com mais evidência. Essa consideração não é válida para o ano de 1996, pelo fato de a calagem ter sido feita próxima ao plantio e, portanto, o tempo decorrido não deve ter sido suficiente para que a totalidade das reações químicas ocorressem. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Muzilli (1983) e Santos et al. (1995), mostrando que o plantio direto não acidificou o solo naquela camada do perfil. Klepker & Anghinoni (1995) verificaram que os valores de pH em H_2O no perfil do solo foram semelhantes nos manejos do solo com preparo convencional, em faixas e sem preparo.

Observa-se que a não-acidificação do solo ocorreu mesmo com a palhada do milho, cultura que entra na rotação no sistema D, e que possui restos vegetais com maior relação C/N, o que confere menor eficiência na neutralização de H^+ (Miyazawa et al., 1993).

Observou-se um maior acúmulo de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ nas camadas superficiais do solo, principalmente até 10 cm de profundidade (Tabela 1). Possivelmente isso foi devido à pouca movimentação de solo, pois, no sistema D, o tratamento de preparo e, ou plantio é o plantio direto contínuo, e no C, é com grade aradora. Sampaio (1987) também constatou maior concentração de Ca e Mg nas camadas superficiais do solo em plantio direto, semelhante ao que aconteceu no sistema D. Entretanto, Klepker & Anghinoni (1995) verificaram que a distribuição de Ca e Mg no perfil foi semelhante nos diferentes manejos do solo (preparo convencional, em faixas e sem preparo).

O teor de Al^{3+} do solo não foi afetado pelos sistemas agrícolas, resultado semelhante aos obtidos por Klepker & Anghinoni (1995). Entretanto, no presente trabalho, a não-detecção de diferenças significativas em 1996 e 1997, entre os tratamentos estudados, quanto aos teores de Al^{3+} , deve ser considerada com ressalva, uma vez que os coeficientes de variação relativos a essa característica foram elevados para os sistemas (83,53% em 1996 e 67,66% em 1997).

Ao comparar os sistemas agrícolas, quanto ao teor de P extraível, considerando cada camada de solo (Tabela 2), não se constatou diferença significativa entre eles em nenhum dos perfis em 1996; porém, em 1997, sobressaíram os sistemas C e D com os maiores valores de P na camada de 0-5 cm, e o sistema C, no perfil de 5-10

cm. Deve, contudo, ser ressaltado que os coeficientes de variação relativos a essa variável foram elevados, chegando a 104,59%, o que, de certa forma, compromete a interpretação desses dados. Souza et al. (1998) também encontraram altos valores de coeficientes de variação para P e K, chegando a atingir mais de 100%.

TABELA 1 – Valores médios de pH e de teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Al^{3+} do solo em quatro profundidades de amostragem nos quatro sistemas agrícolas. Santo Antônio de Goiás, GO. 1996/97^{1/}.

Profundidade	Sistema ^{2/}	pH / H ₂ O (1:2,5)		Ca ²⁺ +Mg ²⁺		Al ³⁺	
		1996	1997	1996	1997	1996	1997
----		----- cmol _c .dm ⁻³ -----					
0-5	A	5,50 ab	5,24 ab	2,68 b	1,54 b	0,14 a	0,28 a
	B	5,22 b	5,14 b	2,12 b	1,50 b	0,24 a	0,28 a
	C	5,14 b	5,38 ab	2,82 b	2,30 b	0,28 a	0,22 a
	D	5,72 a	5,94 a	3,72 a	4,26 a	0,10 a	0,10 a
	Média	5,40 AB	5,43 A	2,84 A	2,40 A	0,19 AB	0,22 A
5-10	A	5,48 a	5,24 a	2,56 a	1,70 b	0,12 a	0,24 a
	B	5,30 ab	5,12 a	2,30 a	1,78 b	0,20 a	0,22 a
	C	5,04 b	5,50 a	2,38 a	3,16 a	0,34 a	0,12 a
	D	5,22 ab	5,24 a	2,28 a	2,26 b	0,26 a	0,28 a
	Média	5,26 C	5,28 A	2,38 B	2,23 AB	0,23 A	0,22 A
10-20	A	5,34 a	5,32 a	2,46 a	1,94 a	0,24 a	0,22 a
	B	5,22 a	5,22 a	2,00 a	2,02 a	0,22 a	0,20 a
	C	5,44 a	5,48 a	2,44 a	2,38 a	0,20 a	0,20 a
	D	5,30 a	5,34 a	2,18 a	1,98 a	0,26 a	0,22 a
	Média	5,33 BC	5,34 A	2,27 BC	2,08 B	0,23 A	0,21 A
20-40	A	5,48 a	5,24 a	1,96 a	1,38 a	0,12 a	0,20 a
	B	5,36 a	5,22 a	1,96 a	1,42 a	0,20 a	0,20 a
	C	5,46 a	5,46 a	1,72 a	1,62 a	0,12 a	0,10 a
	D	5,52 a	5,44 a	2,22 a	1,60 a	0,10 a	0,12 a
	Média	5,46 A	5,34 A	1,97 C	1,51 C	0,14 B	0,16 A
Média geral	5,36	5,34	2,36	2,05	0,20	0,20	
C.V. (%) Sistema	5,20	7,26	15,27	28,79	83,53	67,66	
C.V. (%) Profundidade	2,35	3,40	15,61	17,03	40,42	38,93	

^{1/}Valores na mesma coluna seguidos pelas mesmas letras, maiúsculas ou minúsculas (dentro de cada profundidade), não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{2/}A - Rotação milho-feijão, preparo do solo com arado de aiveca no plantio de verão e grade aradora no inverno, B - rotação arroz-feijão, preparo do solo com arado de aiveca em todos os plantios, C - rotação arroz/calopogônio-feijão, preparo do solo com grade aradora em todos os plantios, e D - rotação milho-feijão em plantio direto contínuo.

TABELA 2 – Teores médios de P, K e M.O. do solo em quatro profundidades de amostragem nos quatro sistemas agrícolas. Santo Antônio de Goiás, GO. 1996/97^{1/}.

Profundidade	Sistema ^{2/}	P	K	M.O.
--------------	-----------------------	---	---	------

		1996	1997	1996	1997	1996	1997
--- cm ---		-----mg.dm ⁻³ -----				-----g.kg ⁻¹ -----	
0-5	A	12,6 a	11,1 b	174,8 a	74,8 b	15,4 b	15,0 a
	B	11,7 a	13,5 b	95,0 b	76,8 b	14,4 b	13,6 a
	C	23,7 a	26,8 ab	141,4 ab	85,8 ab	19,0 a	16,2 a
	D	25,7 a	39,5 a	190,6 a	122,4 a	17,4 ab	15,4 a
	Média	18,4 A	22,7 A	150,4 A	89,9 A	16,5 A	15,5 A
5-10	A	19,7 a	11,9 b	156,4 a	54,6 ab	14,0 a	14,8 ab
	B	11,2 a	16,1 b	91,8 a	81,8 a	13,8 a	14,2 ab
	C	23,9 a	46,4 a	109,4 a	35,6 b	16,6 a	16,0 a
	D	18,9 a	14,3 b	95,8 a	44,6 ab	15,4 a	12,8 b
	Média	18,4 A	22,2 A	113,3 B	54,1 B	14,9 B	14,4 A
10-20	A	14,1 a	8,8 a	71,2 a	45,0 a	13,2 a	13,6 a
	B	13,0 a	12,0 a	106,6 a	47,6 a	13,4 a	13,4 a
	C	4,9 a	4,6 a	44,6 a	30,4 a	13,2 a	12,8 a
	D	5,5 a	2,9 a	75,2 a	41,4 a	14,0 a	11,0 a
	Média	9,4 B	7,1 B	74,4 C	41,1 B	13,4 C	12,7 B
20-40	A	4,1 a	2,9 a	62,2 a	46,8 a	10,8 a	11,4 a
	B	4,3 a	3,9 a	64,4 a	60,8 a	10,8 a	10,2 ab
	C	1,1 a	0,6 a	41,2 a	49,6 a	10,6 a	9,2 ab
	D	3,7 a	0,3 a	46,0 a	42,2 a	10,4 a	7,6 b
	Média	3,3 C	1,9 B	53,4 C	49,8 B	10,6 D	9,6 C
Média geral		12,4	13,5	97,9	58,8	13,9	12,9
C.V.(%) Sistema		53,9	104,6	55,7	51,4	17,8	17,4
C.V.(%) Profundidade		56,8	85,2	33,4	30,1	8,2	7,3

¹Valores na mesma coluna seguidos pelas mesmas letras, maiúsculas ou minúsculas (dentro de cada profundidade), não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

²A - Rotação milho-feijão, preparo do solo com arado de aiveca no plantio de verão e grade aradora no inverno, B - rotação arroz-feijão, preparo do solo com arado de aiveca em todos os plantios, C - rotação arroz/calopogônio-feijão, preparo do solo com grade aradora em todos os plantios, e D - rotação milho-feijão em plantio direto contínuo.

Ao comparar os sistemas agrícolas considerando cada camada do perfil (Tabela 2), constatou-se diferença significativa entre eles, com relação ao K, apenas nas profundidades de 0-5 cm (1996 e 1997) e de 5-10 cm (1997). Isso mostra que, a partir da profundidade de 5-10 cm, os sistemas agrícolas também não afetaram a distribuição desse nutriente. Muzilli (1983), ao contrário, constatou distribuição similar de K no perfil do solo em plantio direto e convencional, enquanto Klepker & Anghinoni (1995) obtiveram maior concentração de K nas camadas superficiais no solo sem preparo, já no segundo ano de experimento.

O acúmulo de matéria orgânica no solo, em geral, não foi afetado significativamente pelos sistemas agrícolas (Tabela 2). Muzilli (1983) também constatou, em diversas rotações de culturas em preparo convencional e em plantio direto, certa similaridade de distribuição e acumulação de matéria orgânica, mas houve diferenciação na sua qualidade.

Entre os micronutrientes analisados, o Cu, em 1997, o Zn, em 1996, e o Fe, em 1996 e em 1997, não tiveram os seus teores no solo afetados pelos sistemas agrícolas, ao passo que o Mn foi afetado em ambos os anos (Tabela 3). Quanto à distribuição no perfil, constatou-se

que o Mn também variou com as profundidades amostradas em todos os sistemas agrícolas. Nos sistemas A e B, que envolveram maior movimentação do solo, as camadas 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm não diferiram significativamente entre si; no sistema C, as maiores concentrações ocorreram nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm, e no sistema D, a maior concentração ocorreu na camada de 0-5 cm.

O Fe mostrou distribuição uniforme nas camadas analisadas em todos os sistemas em 1997, enquanto em 1996, não foi constatada diferença significativa entre as camadas apenas no sistema B (Tabela 3). Deve ser ressaltado, todavia, que mesmo no sistema D, no qual não há revolvimento do solo, as camadas de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm não diferiram significativamente entre si. Isso pode ser explicado pela própria formação dos solos da região dos cerrados, com predominância de óxidos de ferro e alumínio.

O Zn não variou nas camadas do perfil somente no sistema B em 1996. Nesse sistema, em 1997, e no sistema A, nos dois anos, as maiores concentrações ocorreram nas camadas até 20 cm de profundidade no solo, ao passo que nos sistemas C e D, as maiores concentrações ocorreram nas camadas até 10 cm (Tabela 3).

O Cu variou com as profundidades, nos dois anos, somente no sistema C, ocorrendo maior concentração nas camadas de até 10 cm de profundidade. Nos sistemas A e B, os quais envolvem maior movimentação de solo, somente constatou-se diferença no primeiro em 1996, com o menor valor constatado na camada de 20-40 cm. No sistema D, embora houvesse tendência de ocorrer maior concentração nas camadas superiores, a diferença foi significativa somente no primeiro ano, e as camadas 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm não diferiram significativamente entre si (Tabela 3).

Castro et al. (1992) também compararam os efeitos do plantio direto e do preparo convencional nos teores de zinco, cobre, manganês e ferro, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm de profundidade em solos com textura argilosa e com textura média. Os teores de cobre e manganês foram maiores no sistema de plantio direto em relação ao preparo convencional, no solo com textura argilosa, ao passo que no de textura média isso ocorreu somente nas camadas de 0-5 e 5-10 cm.

O decréscimo dos teores de Zn, Fe e Mn no solo, com o aumento da profundidade, também foi constatado por Castro et al. (1992). Isso foi atribuído por eles, em parte, à redução também dos teores de matéria orgânica no solo, com as maiores profundidades. Esse pressupos-

to pode também ser válido para o presente trabalho, conforme os resultados relativos à matéria orgânica.

Observou-se, portanto, que, quanto às características químicas do solo, de modo geral, o efeito dos sistemas agrícolas foi mais pronunciado no desenvolvimento do gradiente de nutrientes no perfil, do que propriamente nos teores de nutrientes entre os sistemas. Isso foi bastante evidente no plantio direto.

Os sistemas agrícolas afetaram a estrutura do solo, conforme sugerido pelos valores do “diâmetro médio ponderado” dos agregados ou DMP (Tabela 4). Essa característica do solo é dinâmica e se altera com o tempo em função das práticas de manejo, das condições ambientais e biológicas (Klar, 1991). Os maiores valores do DMP foram obtidos nos sistemas C e D, o que mostra a melhor condição estrutural do solo submetido a esses sistemas, os quais envolvem menor movimentação do solo, embora, em 1996, eles não diferiram significativamente do sistema A e, em 1997, do sistema B. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Abrão et al. (1979), Vieira & Muzilli (1984) e Campos et al. (1995). Abrão et al. (1979) constataram maior estabilidade de agregados no plantio direto e esse decresceu à medida que o solo sofreu mais mobilização. Vieira e Muzilli (1984) constataram, em solo sob plantio direto, valores de DMP de 4,28 mm e, em solo sob preparo convencional, de 3,01 mm. Campos et al. (1995), por sua vez, verificaram que, no plantio direto, o DMP foi cerca de duas vezes maior do que no plantio convencional.

Observa-se que, nas condições deste experimento, os sistemas nos quais houve maior movimentação de solo, em que pelo menos em uma das épocas do ano fez-se aração, em geral, tiveram menores valores de DMP. Silveira et al. (1994) verificaram, entretanto, que a aração do solo a 30 cm de profundidade proporcionou valor de DMP superior ao da aração a 15 cm, e ainda que, naquela condição, o DMP foi maior na fase final do experimento, mostrando melhoria na estrutura do solo durante o período de estudo.

TABELA 3 – Teores médios de Cu, Zn, Fe e Mn do solo dos quatro sistemas agrícolas, em quatro profundidades de amostragem. Santo Antônio de Goiás, GO. 1996/97^{1/}.

Sistema ^{2/}	Profundidade	Cu		Zn		Fe		Mn	
		1996	1997	1996	1997	1996	1997	1996	1997
----- cm -----									
----- mg . dm ⁻³ -----									
A	0-5	2,90 a	3,02 a	5,48 a	5,84 a	80,8 a	57,2 a	11,4 a	7,8 a
	5-10	2,42 ab	3,02 a	5,30 a	5,30 ab	67,2 b	57,4 a	10,4 a	8,0 a
	10-20	2,90 a	2,56 a	5,16 a	5,26 ab	61,4 b	53,2 a	11,4 a	7,6 ab
	20-40	2,26 b	2,36 a	3,20 b	2,28 b	61,8 b	52,6 a	7,4 b	5,0 b
	Média	2,62 A	2,74 A	5,03 A	4,67 B	67,8 A	55,1 A	10,1 AB	7,1 C
B	0-5	2,40 a	2,82 a	5,26 a	5,92 a	66,4 a	47,0 a	11,0 ab	9,4 a
	5-10	2,40 a	3,32 a	5,20 a	7,30 a	70,4 a	49,0 a	12,2 a	10,6 a
	10-20	2,40 a	2,30 a	5,18 a	5,90 a	69,2 a	47,0 a	11,4 ab	9,6 a
	20-40	2,18 a	2,16 a	3,76 a	2,52 b	61,8 a	45,2 a	9,2 b	6,6 b
	Média	2,34 AB	2,65 A	4,85 A	5,41 AB	66,9 A	47,1 A	10,9 A	9,0 AB
C	0-5	2,42 ab	2,22 b	6,92 a	6,74 b	73,4 a	48,2 a	11,8 a	11,8 ab
	5-10	2,94 a	7,40 a	6,78 ab	15,18 a	69,6 a	51,8 a	11,0 a	13,8 a
	10-20	2,34 b	2,18 b	5,06 b	5,36 b	65,2 a	47,8 a	9,8 ab	9,2 b
	20-40	2,04 b	1,88 b	1,46 c	1,22 c	52,0 b	43,6 a	4,6 b	4,0 c
	Média	2,43 AB	3,42 A	5,05 A	7,12 A	65,0 A	47,8 A	9,3 AB	9,7 A
D	0-5	2,06 ab	3,92 a	6,96 a	6,28 a	69,6 a	52,2 a	11,8 a	14,2 a
	5-10	2,48 a	2,48 a	6,92 a	6,08 a	64,2 ab	49,0 a	8,2 b	7,8 b
	10-20	2,08 ab	1,96 a	3,18 b	3,72 ab	60,0 ab	45,6 a	7,2 bc	5,8 b
	20-40	1,90 b	1,68 a	2,16 b	1,16 b	54,6 b	37,2 a	4,8 c	2,8 c
	Média	2,13 B	2,51 A	4,80 A	4,31 B	62,1 A	46,0 A	8,0 B	7,6 BC
Média geral	2,38	2,83	4,94	5,38	65,47	49,0	9,6	8,37	
C.V. (%) Sistema	14,91	55,29	27,58	37,76	16,76	24,18	25,47	22,63	
C.V. (%) Profundidade	13,82	55,54	21,29	35,70	11,31	17,77	14,88	19,57	

^{1/}Valores na mesma coluna seguidos pelas mesmas letras, maiúsculas ou minúsculas (dentro de cada sistema), não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

^{2/}A - Rotação milho-feijão, preparo do solo com arado de aiveca no plantio de verão e grade aradora no inverno, B - rotação arroz-feijão, preparo do solo com arado de aiveca em todos os plantios, C - rotação arroz/calopogônio-feijão, preparo do solo com grade aradora em todos os plantios, e D - rotação milho-feijão, em plantio direto contínuo.

TABELA 4 – Diâmetro médio ponderado (DMP), microporosidade (MIC), macroporosidade (MAC) e porosidade total do solo (VTP) nos quatro sistemas agrícolas, em quatro profundidades de amostragem. Santo Antônio de Goiás, GO, 1996/97^{1/}.

Sistema ^{2/}	Profundidade	DMP		MIC	MAC		VTP	MIC		MAC		VTP
		1996	1997		1996	1997		1996	1997			
----- cm ----- mm ----- % -----												
A	0-5	3,03 a	2,63 a	26,87 a	11,93 a	38,80 a	37,58 a	15,01 a	52,59 a			
	5-10	2,76 a	2,33 a	32,23 a	6,35 b	38,58 a	38,03 a	8,52 b	46,55 b			
	10-20	2,88 a	2,49 a	31,20 a	5,37 b	36,57 a	39,40 a	5,82 b	45,22 b			
	20-40	2,95 a	2,54 a	29,53 a	6,20 b	35,73 a	37,61 a	8,25 b	45,86 b			
	Média	2,90 A	2,50 B	29,63 B	7,46 B	37,42 B	38,16 A	9,40 A	47,56 A			
	0-5	2,88 a	2,76 a	32,76 b	17,08 a	49,84 a	36,96 a	11,26 a	48,22 a			
B	5-10	2,77 ab	2,65 a	33,27 ab	11,95 b	45,22 a	40,55 a	5,60 b	46,15 a			
	10-20	2,16 b	2,57 a	35,28 ab	10,18 bc	45,46 a	35,50 a	7,82 ab	43,32 a			
	20-40	2,90 a	2,62 a	38,83 a	5,62 c	44,45 a	36,74 a	7,86 ab	44,60 a			
	Média	2,68 B	2,65 AB	35,04 A	11,21 A	46,24 A	37,44 A	8,14 A	45,57 A			
	0-5	3,53 a	2,95 a	30,41 a	15,69 a	46,10 a	30,64 b	17,99 a	48,63 a			
	5-10	3,44 a	3,05 a	34,21 a	9,36 b	43,57 a	39,25 a	8,58 b	47,83 a			
C	10-20	3,11 a	2,57 a	38,04 a	5,79 b	43,83 a	39,25 a	5,65 b	44,90 a			
	20-40	3,48 a	2,88 a	37,13 a	8,48 b	45,61 a	36,45 a	9,41 b	45,86 a			
	Média	3,39 A	2,86 AB	34,95 A	9,83 AB	44,78 A	36,40 A	10,41 A	46,81 A			
	0-5	4,11 a	4,21 a	32,41 a	12,25 a	44,66 a	35,88 a	11,76 a	47,64 a			
	5-10	3,17 b	3,52 b	38,17 a	9,14 a	47,31 a	40,42 a	8,00 a	48,41 a			
	10-20	3,11 b	2,97 c	37,51 a	8,18 a	45,69 a	38,22 a	8,63 a	46,85 a			
D	20-40	2,73 b	3,04 bc	36,56 a	7,41 a	43,97 a	36,87 a	12,29 a	49,16 a			
	Média	3,28 AB	3,44 A	36,16 A	9,25 AB	45,41 A	37,85 A	10,17 A	48,02 A			
	Média geral	3,06	2,86	34,03	9,44	43,46	37,46	9,53	46,99			
C.V. (%) Sistema	25,18	30,66	10,25	35,44	8,68	12,87	35,74	7,71				
C.V. (%) Profundidade	12,18	11,22	10,56	24,82	8,20	9,17	25,07	7,14				

^{1/}Valores na mesma coluna seguidos pelas mesmas letras, maiúsculas ou minúsculas (dentro de cada sistema), não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{2/}A - Rotação milho-feijão, preparo do solo com arado de aiveca no plantio de verão e grade aradora no inverno, B - rotação arroz-feijão, preparo do solo com arado de aiveca em todos os plantios, C - rotação arroz/calopogônio-feijão, preparo do solo com grade aradora em todos os plantios, e D - rotação milho-feijão, em plantio direto contínuo.

O efeito da profundidade do solo foi bastante evidente no DMP no sistema D, principalmente em 1997 (Tabela 4). Os valores obtidos na camada de 0-5 cm, 4,11 mm, em 1996 e 4,21 mm, em 1997, foram maiores e diferiram significativamente dos obtidos nas camadas de 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm. Isso pode ser devido ao não-revolvimento do solo nesse sistema e ao maior teor de matéria orgânica nessa camada, conforme mostrado anteriormente. O aumento da estabilidade de agregados na camada superficial, em plantio direto, também constatado por Eltz et al. (1989), é um efeito benéfico, pois reduz a suscetibilidade do solo aos danos causados pelas chuvas, manejo e vento (Freitas & Blancaneaux, 1994).

Ao comparar o efeito dos sistemas agrícolas na microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo, independentemente das profundidades amostradas (Tabela 4), detectou-se diferença significativa entre eles apenas em 1996. A microporosidade e a porosidade total foram significativamente menores no sistema A. Com relação à macroporosidade, o sistema B apresentou maiores valores que o sistema A. Esses resultados concordam com os obtidos por Yoshida et al. (1991), mas discordam dos obtidos por Albuquerque et al. (1995), ao compararem plantio direto e plantio convencional, por um período de sete anos. A macroporosidade obteve valores maiores na camada de 0-5 cm, nos sistemas A, B e C, diferindo significativamente das demais, exceto no sistema B, em 1997. No sistema D, embora os valores fossem também maiores, não diferiram das demais profundidades (Tabela 4).

Embora a porosidade seja considerada uma característica dinâmica, alterando-se com o manejo do solo (Klar, 1991), não é alterada com poucos anos de manejo (Abrão et al., 1979; Machado et al., 1981).

Machado et al. (1981), num Latossolo Vermelho-Escuro, não constataram alterações nas características físicas nos primeiros quatro anos. A partir do oitavo ano, houve alteração na porosidade total, macro e microporosidade, mas elas só foram mais evidentes no décimo quarto ano de cultivo. Deve-se, contudo, salientar que as comparações feitas no presente estudo entre os sistemas A, B, C e D referem-se ao quarto e ao quinto anos de manejo diferenciado em cada área, e os valores obtidos da porosidade total estão dentro dos limites comumente encontrados, de 30 a 60% (Klar, 1991).

CONCLUSÕES

1) Os sistemas agrícolas afetaram a distribuição de nutrientes no perfil do solo, ocorrendo maior concen-

tração nas camadas superficiais naqueles em que houve menor movimentação de solo.

2) Os sistemas agrícolas afetaram a estrutura do solo, no que se refere ao tamanho dos agregados, sendo os maiores valores encontrados nos sistemas com menor movimentação de solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, P. U. R.; GOEPFERT, C. F.; GUERRA, M.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 3, n. 3, p. 169-172, 1979.

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 115-119, 1995.

ALVES, M. C.; CASTRO, O. M. de; LOMBARDI NETO, F. Sistemas de rotação de culturas com plantio direto em Latossolo Roxo: efeitos nas propriedades químicas e produtividade da soja (*Glycine max* L. Merrill). In: ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 1., 1993, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: IAPAR, 1993. p. 203-214.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W.R. **Física de suelos**. 4. ed. México: Union Tipografica Editorial Hispano-Americana, 1973. 523 p.

CALEGARI, A.; SANGUANINI, J. N.; FORTALEZA, L. E. G. Efeito da mucuna-cinza em diferentes sistemas de manejo do solo no rendimento do milho. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 1., 1993, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: IAPAR, 1993. p. 215-220.

CAMPOS, B. C. de; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 121-126, 1995.

- CANNEL, R. Q.; FINNEY, J. R. Effects of direct drilling and reduced cultivation on soil conditions for root growth. **Outlook on Agriculture**, Berkshire, v. 7, n. 4, p. 184-189, 1973.
- CASTRO, O. M. de; CAMARGO, O. A. de; CANTARELLA, H.; VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F. Teores de zinco, cobre, manganês e ferro em dois latossolos sob plantios direto e convencional. **Bragantia**, Campinas, v. 51, n. 1, p. 77-84, 1992.
- ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 259-267, 1989.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. 235 p.
- FREITAS, P. L. de; BLANCANEUX, P. Metodologia de pesquisa em manejo do solo: estrutura e porosidade do solo. In: REUNIÓN SOBRE METODOLOGIA PARA INVESTIGACIÓN EM MANEJO DE SUELOS, 1990, Passo Fundo. **Anais...** Montevideo: IICA, 1994. p. 25-42. (IICA-PROCISUR. Diálogo, 39).
- KLAR, A. E. **Irrigação**: frequência e quantidade de aplicação. São Paulo: Nobel, 1991. 156 p.
- KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 395-401, 1995.
- MACHADO, J. A.; PAULA SOUZA, D. M. de; BRUM, A. C. R. de. Efeito de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 5, n. 3, p. 187-189, 1981.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 411-416, 1993.
- MULLINS, C. A.; TOMPKINS, F. D.; PARKS, W. L. Effects of tillage methods on soil nutrient distribution, plant nutrient absorption, stand, and yields of snap beans and lima beans. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 105, n. 4, p. 591-593, 1980.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 95-102, 1983.
- PAIVA, P. J. R.; FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R. do; FAQUIN, V. Efeito do manejo do solo sobre os teores de matéria orgânica, nitrogênio mineral, fósforo e bases trocáveis. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 21, n. 1, p. 35-43, 1997.
- SAMPAIO, G. V. **Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre o consórcio milho-feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e sobre algumas propriedades físicas e químicas do solo**. 1987. 121 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.; LHAMBY, J. C. B. Plantio direto *versus* convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 449-454, 1995.
- SELLES, F.; KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; ZENTNER, R. P.; FAGANELLO, A. Distribution of phosphorus fractions in a Brazilian Oxisol under different tillage systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 44, n. 1/2, p. 23-34, 1997.
- SILVEIRA, P. M. da; SILVA, S. C. da; SILVA, O. F. da; DAMACENO, M. A. Estudo de sistemas agrícolas irrigados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 8, p. 1243-1252, 1994.
- SIQUEIRA, N. de 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**. 1989. 106 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SIQUEIRA, R.; YAMAOKA, R. S.; CASÃO JÚNIOR, R.; MEDEIROS, G. B. de; HAMAKAWA, P. J.; LADEIRA, A. de S. Sistemas de preparo e coberturas vegetais em um solo de baixa aptidão agrícola. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 1., 1993, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: IAPAR, 1993. p. 221-237.

SOUZA, L. da S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 77-86, 1998.

VIEIRA, M. J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 7, p. 873-882, 1984.

YOSHIDA, K.; HAKOYAMA, S.; IWAMA, H.; BÜLL, L. T.; NAKAGAWA, J. Efeitos de dois sistemas de cultivo em algumas propriedades químicas de dois solos. **Científica**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 223-235, 1995.

YOSHIDA, K.; HAKOYAMA, S.; IWAMA, H.; MORAES, M. H.; CARVALHO, W. A.; NAKAGAWA, J. Efeitos de dois sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **Científica**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 103-127, 1991.