

EFEITOS DO SISTEMA DE PREPARO E DA ROTAÇÃO DE CULTURAS NA POROSIDADE E DENSIDADE DO SOLO⁽¹⁾

L. F. STONE⁽²⁾ & P. M. SILVEIRA⁽²⁾

RESUMO

O trabalho foi realizado na Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás (GO), em Latossolo Vermelho perférico, 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 a densidade e porosidade do solo. 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 e 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. O plantio direto ocasionou maior valor de densidade do solo e menores de porosidade total e macroporosidade na camada superficial, enquanto o preparo do solo com grade aradora propiciou o menor valor de densidade e maior de porosidade total. Nas camadas mais profundas, o preparo do solo com arado de aiveca propiciou os menores valores de densidade do solo e maiores de porosidade total e macroporosidade. Na camada superficial do solo, os sistemas de rotação que incluíram soja e trigo levaram a maiores valores de densidade do solo e microporosidade e menores de macroporosidade, enquanto o sistema arroz consorciado com calopogônio-feijão propiciou maior valor de macroporosidade e menor de microporosidade.

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: stone@cpaf.embrapa.br; pmarques@cpaf.embrapa.br

SUMMARY: EFFECTS OF SOIL TILLAGE SYSTEMS AND CROP ROTATIONS ON SOIL POROSITY AND BULK DENSITY

This study, 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 bulk density and soil porosity were evaluated. The experiment was conducted in a completely randomized design, using 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 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. The soil under no-tillage at the surface layer (0-10 cm) showed the highest bulk density value and the lowest total porosity and macroporosity values. Whereas the soil under harrow treatment showed the lowest bulk density and the highest total porosity values. Under moldboard plough, the 10-20 and 20-30 cm soil layers had the lowest bulk density values and the highest total porosity and macroporosity values. On the surface layer, crop rotations composed by soybean and wheat showed the highest bulk density and microporosity values and the lowest macroporosity values while the crop rotation composed by upland rice associated to calopogonium and common bean showed the highest macroporosity value and the lowest microporosity value.

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

INTRODUÇÃO

A degradação da estrutura afeta o desenvolvimento vegetal e predispõe o solo à erosão hídrica acelerada. O manejo incorreto de máquinas e equipamentos agrícolas, levando à formação de camada subsuperficial compactada, tem sido apontado como uma das principais causas da degradação da estrutura do solo e do decréscimo da produtividade das culturas (Campos et al., 1995). Os efeitos do preparo do solo sobre sua estrutura dependem da intensidade de revolvimento ou trânsito, tipos de equipamentos utilizados, manejo dos resíduos vegetais e condições do solo no momento do preparo (Vieira, 1985).

Os Latossolos argilosos do cerrado brasileiro, susceptíveis à compactação, têm sido utilizados com sistemas de preparo que revolvem o solo. Este revolvimento, associado a chuvas intensas, de alta erosividade, e a temperaturas elevadas, degrada rapidamente o solo, comprometendo a sustentabilidade da atividade agrícola.

O sistema de preparo do solo com grade aradora tem sido o mais usado nessa região. Normalmente, a grade trabalha o solo a baixa profundidade e é de alto rendimento de campo. Entretanto, o uso contínuo desse implemento pode levar à formação de camadas compactadas, chamadas "pé-de-grade" (Silva, 1992). O arado de aiveca é pouco usado porque requer maior tempo e energia para a sua operação

que os demais implementos, embora, em situações onde foi usado, tenha ocorrido maior produtividade de milho (Kluthcouski, 1998) e de arroz (Seguy & Bouzinac, 1992; Kluthcouski, 1998), quando comparado ao plantio direto ou ao preparo com grade aradora. Isto deveu-se ao pior desenvolvimento do sistema radicular nesses sistemas de preparo, por causa da compactação do solo na camada superficial ou subsuperficial, respectivamente.

A adoção do plantio direto vem expandindo na Região Central do Brasil. Ele pode ser uma alternativa ao sistema convencional de preparo do solo e contribuir para a sustentabilidade de sistemas agrícolas intensivos, por manter o solo coberto por restos culturais ou por plantas vivas o ano inteiro, minimizando os efeitos da erosão, e por manter o teor de matéria orgânica (Albuquerque et al., 1995).

Entretanto, no plantio direto, os solos apresentam, em geral, na camada superficial, após três a quatro anos, maiores valores de densidade e microporosidade e menores valores de macroporosidade e porosidade total, quando comparados com os do preparo convencional. Isto decorre, principalmente, do arranjo natural do solo, quando não é mobilizado, e da pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, sobretudo quando realizado em solos argilosos e com teores elevados de umidade (Vieira, 1981; Vieira & Muzilli, 1984; Corrêa, 1985).

Corroborando tais informações, Derpsch et al. (1991), em Latossolo Roxo, na camada de 0-20 cm, e Urchei (1996), em Latossolo Vermelho-Escuro, na camada de 0-10 cm, constataram que a densidade do solo foi maior e a porosidade total e a macroporosidade foram menores sob plantio direto, em comparação com o preparo com arado de disco. Nas camadas mais profundas, as maiores densidades do solo ocorreram no preparo com arado de disco, levando à formação de "pé-de-arado".

Contudo, segundo Fernandes et al. (1983) e Reeves (1995), com o passar dos anos, a densidade do solo sob plantio direto pode diminuir, devido, em parte, ao aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial, melhorando a estrutura do solo. Em condições temperadas, Voorhees & Lindstrom (1984) verificaram ser necessários de três a quatro anos para um Molissolo franco-argilo-siltoso sob plantio direto apresentar, na camada de 0-15 cm, maior porosidade que o preparado com arado de aiveca. Na camada de 15-30 cm, o tempo necessário foi de sete anos.

A rotação de culturas, pela inclusão de espécies com sistema radicular agressivo e pelos aportes diferenciados de matéria seca, também pode alterar as propriedades físicas do solo. A intensidade da alteração depende do período de cultivo, do número de cultivos por ano e das espécies cultivadas.

Machado et al. (1981) observaram, em Latossolo Vermelho-Escuro, após oito anos de cultivo convencional na sucessão soja-trigo, que houve redução na porosidade total e na macroporosidade e aumento na microporosidade e na densidade do solo, em relação ao solo sob vegetação de mata virgem. Estes resultados foram atribuídos à destruição da estrutura do solo pelo cultivo intensivo, à ação das máquinas agrícolas e à redução no teor de matéria orgânica. Albuquerque et al. (1995), também em Latossolo Vermelho-Escuro, verificaram que, sob manejo convencional ou plantio direto, a densidade do solo na camada de 1,0-8,6 cm foi maior e a porosidade total menor na sucessão soja-trigo do que nas rotações que incluíam aveia, ervilhaca e milho. Atribuíram este fato à presença da aveia no sistema de rotação, contribuindo para a conservação e restauração da estrutura do solo.

Gomes et al. (1978), em Podzólico Vermelho-Amarelo, após 14 anos de cultivo convencional, verificaram maiores valores da densidade do solo na sucessão soja-trigo que na de milho-trigo ou nos cultivos contínuos de soja, trigo ou milho, atribuídos ao uso mais intensivo do solo, duas vezes por ano, e aos tratamentos culturais inerentes à cultura da soja.

O objetivo deste trabalho foi verificar como diferentes sistemas de preparo do solo e de rotações de culturas afetam a porosidade e a densidade do solo nas condições do cerrado brasileiro.

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 a 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 constituíram-se 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.

A análise granulométrica do solo, realizada pelo método da pipeta, apresentou valores médios semelhantes entre as profundidades. Os teores de areia, silte e argila foram de 410, 190 e 400 g kg⁻¹, respectivamente; classe textural argila.

A determinação da densidade e da microporosidade do solo foi realizada em amostras indeformadas, coletadas em camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, 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. Para obter as amostras, introduziram-se no solo cilindros de 5 cm de diâmetro por 5 cm de altura, de modo a coincidir o meio do cilindro com a metade da profundidade previamente estabelecida. Amostras deformadas também foram retiradas nas mesmas camadas para determinação da densidade de partículas.

A microporosidade foi determinada pelo método da mesa de tensão, a densidade do solo pelo método do anel volumétrico, a densidade de partículas pelo método do balão volumétrico, a porosidade total pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas, e a macroporosidade pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade, utilizando orientações da EMBRAPA (1997).

Os valores iniciais de densidade do solo, em Mg m⁻³, porosidade total, micro e macroporosidade, em m³ m⁻³, na camada de 0-10 cm, foram, respectivamente, de 1,30; 0,515; 0,331 e 0,184. Na camada de 10-20 cm, os valores foram, respectivamente, de 1,39; 0,481; 0,350 e 0,130 e, na camada de 20-30 cm, foram de 1,38; 0,482; 0,342 e 0,141.

Foi feita análise de variância conjunta dos anos por profundidade, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5%, bem como análise de regressão, considerando o número de anos de cultivo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação ano x sistemas de preparo do solo x sistemas de rotação de culturas foi significativa para todas as propriedades físicas analisadas, em todas as camadas consideradas, provavelmente em decorrência não só das variadas condições climáticas e de doenças e pragas, que condicionaram diferentes desenvolvimentos das culturas e, por conseguinte, diferentes aportes de material vegetal ao solo, mas também da variação anual nas culturas implantadas, de acordo com o esquema de rotação, e da variação anual das condições de umidade do solo no momento do preparo. Contudo, a tendência do comportamento das propriedades físicas foi semelhante ao longo dos anos, assim, para efeito de discussão, foram consideradas as médias dos anos para comparação

dos efeitos dos diferentes sistemas de preparo do solo e das rotações de culturas nas propriedades físicas do solo.

A análise de regressão, quando se consideraram os sistemas de rotação de culturas, mostrou que nenhuma das propriedades físicas consideradas apresentou correlação significativa com o número de anos de cultivo. Com relação aos sistemas de preparo do solo, apenas a micro e a macroporosidade, no plantio direto, correlacionaram-se significativamente com o número de anos de cultivo.

O solo sob plantio direto, na camada de 0-10 cm, pelo seu não-revolvimento e pela movimentação de máquinas e implementos agrícolas, apresentou maior valor de densidade do solo e menor de porosidade total (Quadro 1), o que concorda com os relatados por Vieira & Muzilli (1984), Corrêa (1985) e Urchei (1996), caracterizando maior compactação do solo em comparação aos demais sistemas de preparo.

O preparo com grade, por sua vez, propiciou, nessa camada, o menor valor de densidade e o maior de porosidade total, por mobilizar o solo até 10-15 cm de profundidade e aliviar, desta forma, a compactação causada pelas operações de manejo das culturas. Apesar das variações verificadas ao longo dos anos, decorrentes das distintas condições de umidade no momento do preparo do solo, dos diferentes tratamentos culturais aplicados e dos variados aportes de material vegetal das diferentes culturas e suas produtividades, no preparo com grade, os valores de densidade do solo e da porosidade total estiveram, respectivamente, sempre abaixo e acima dos valores iniciais, ocorrendo o contrário sob plantio direto.

Essa situação difere do observado em condições temperadas por Voorhees & Lindstrom (1984), que verificaram ter, após três a quatro anos, o solo sob plantio direto apresentado maior porosidade que o preparado com arado de aiveca. No plantio direto, quando o solo permanece coberto por material vegetal todo o tempo, espera-se que haja forte presença de material orgânico na camada superficial, promovendo intensa atividade biológica, resultando em produtos que desempenham função na formação e estabilização (agentes cimentantes) dos agregados.

Cabe salientar que, neste experimento, no plantio direto, cada cultura era semeada na resteva da anterior, e as condições climáticas da região, com verão quente e úmido e inverno com temperaturas médias acima de 20°C, aliadas à prática da irrigação, favoreciam a rápida mineralização do material orgânico. Não havia cultura específica de cobertura, que poderia contribuir para aumentar o teor de matéria orgânica e reduzir a densidade do solo com o tempo, como observado por Reeves (1995).

Nas camadas de solo de 10-20 e 20-30 cm de profundidade, em geral, os valores de densidade do solo foram menores e os de porosidade total maiores

no preparo com arado, refletindo a ação de revolvimento mais profunda do implemento.

Silveira et al. (1994) observaram que, após quatro anos de aração a 30 cm de profundidade, houve redução na densidade do solo nas profundidades de 20 e 30 cm. O uso da grade levou à formação de camada mais compactada abaixo da profundidade de atuação do implemento, aumentando os valores de densidade do solo e reduzindo os de porosidade total. O comportamento do preparo alternado com arado e grade, nestas camadas, foi semelhante ao do preparo com grade. Como, no preparo alternado, o preparo com grade era feito em maio-junho e o preparo com arado era feito em novembro-dezembro, ele refletiu mais a ação da grade, pois as amostragens foram feitas em setembro. Smittle & Threadgill (1977) verificaram aumentos no valor da resistência do solo à penetração após 10 cm, em solos preparados com grade aradora.

Diferenças significativas entre os sistemas de preparo do solo em relação à microporosidade ocorreram apenas na camada de 0-10 cm de profundidade (Quadro 1), sendo a microporosidade maior no plantio direto em comparação aos demais preparos (alternado ou com arado). A utilização contínua do plantio direto fez com que, ao longo dos anos, a microporosidade do solo nesta camada aumentasse segundo a equação $Y = 0,335 + 0,008X$, $r = 0,88^*$. O solo sob plantio direto apresentou

maiores valores de microporosidade que os iniciais em todas as camadas amostradas.

Os sistemas de preparo que revolveram o solo propiciaram, na camada de 0-10 cm, maiores valores de macroporosidade que o plantio direto (Quadro 1), concordando com os resultados obtidos por Vieira & Muzilli (1984), Corrêa (1985) e Urchei (1996). Nas demais camadas, o preparo com arado propiciou os maiores valores de macroporosidade. A macroporosidade do solo sob plantio direto, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, diminuiu ao longo dos anos segundo as equações $Y = 0,162 - 0,014x$, $r = -0,81^*$, e $Y = 0,120 - 0,011X$, $r = -0,81^*$, respectivamente, sinalizando um processo de compactação.

A redução da porosidade total e da macroporosidade e o aumento da microporosidade no solo sob plantio direto podem não afetar o desenvolvimento e a distribuição do sistema radicular. Henklain et al. (1996) verificaram que estes fatores foram melhores sob plantio direto em comparação aos do preparo convencional do solo, graças à qualidade dos poros que, embora menores, apresentavam-se contínuos ao longo do perfil, aos canais e galerias formados pela atividade biológica e decomposição das raízes das culturas anteriores e às fendas provocadas pelos gradientes de umidade.

Voorhees et al. (1989) verificaram, em três solos afetados pela compactação do subsolo e da superfície,

Quadro 1. Valores da densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade 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 física do solo	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										
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	1,28 b	1,30 b	1,24 c	1,39 a	1,30 abc	1,29 bc	1,33 a	1,32 ab	1,28 bc	1,27 c
Porosidade total (m ³ m ⁻³)	0,517 b	0,505 c	0,532 a	0,469 d	0,507 ab	0,510 ab	0,497 b	0,499 ab	0,510 ab	0,512 a
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	0,348 bc	0,336 c	0,364 ab	0,372 a	0,355 ab	0,361 ab	0,368 a	0,366 a	0,331 c	0,350 b
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,169 a	0,168 a	0,168 a	0,098 b	0,153 b	0,148 bc	0,129 d	0,133 dc	0,180 a	0,162 ab
10-20 cm										
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	1,42 a	1,35 b	1,43 a	1,44 a	1,38 c	1,43 a	1,40 bc	1,42 a	1,42 a	1,41 ab
Porosidade total (m ³ m ⁻³)	0,452 b	0,482 a	0,448 b	0,440 b	0,463 a	0,441 b	0,458 a	0,458 a	0,456 a	0,457 a
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	0,365	0,368	0,373	0,371	0,369	0,361	0,376	0,369	0,367	0,374
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,087 b	0,114 a	0,075 bc	0,069 c	0,094	0,079	0,082	0,089	0,089	0,084
20-30 cm										
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	1,43 a	1,38 b	1,46 a	1,42 ab	1,41	1,43	1,43	1,43	1,42	1,42
Porosidade total (m ³ m ⁻³)	0,445 b	0,470 a	0,433 b	0,451 b	0,452 a	0,446 ab	0,451 ab	0,441 b	0,455 a	0,454 a
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	0,363	0,368	0,370	0,380	0,361 b	0,369 ab	0,385 a	0,372 ab	0,362 b	0,374 ab
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,082 b	0,102 a	0,063 b	0,070 b	0,091 a	0,077 ab	0,066 b	0,069 b	0,093 a	0,080 ab

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.

que as diferenças na produtividade de milho em relação ao solo não compactado eram variáveis, dependendo das condições climáticas, indicando que, em algumas situações, a maior densidade do solo pode não ser prejudicial à produtividade das culturas. Stone & Silveira (1999) relataram que, mesmo propiciando maior compactação do solo até 15-22 cm de profundidade, as produtividades do feijoeiro sob plantio direto foram superiores ou similares às obtidas com preparo do solo com grade ou com arado.

Os efeitos dos sistemas de rotação de culturas sobre as propriedades físicas do solo, ao longo dos anos, foram mais variáveis que os dos sistemas de preparo do solo. Provavelmente isto ocorreu devido às variadas condições climáticas e fitossanitárias, que condicionaram diferentes aportes de material vegetal ao solo, e à variação anual nas culturas implantadas, de acordo com o esquema de rotação. Entretanto, pode-se observar que o sistema que incluiu soja e trigo propiciou, na camada de 0-10 cm de profundidade, maior valor de densidade do solo que os sistemas com milho e feijão ou arroz consorciado com calopogônio e feijão (Quadro 1).

Com relação à porosidade total, contudo, o sistema soja-trigo diferiu significativamente apenas do sistema M-F-M-F-A-F, apresentando valor menor. Entre as culturas estudadas, a do trigo é a semeada no menor espaçamento, o que condiciona a passagem das rodas compactadoras em maior área de solo. Além disto, segundo Fahad et al. (1982), a soja tem efeito negativo na agregação do solo. Gomes et al. (1978) verificaram maiores valores da densidade do solo na sucessão soja-trigo que na milho-trigo ou nos cultivos contínuos de soja, trigo ou milho. Albuquerque et al. (1995) verificaram que a sucessão soja-trigo propiciou maiores valores de densidade do solo na camada superficial que as rotações que incluíam outras culturas como a aveia, ervilhaca e milho. Na camada de 10-20 cm de profundidade, a densidade do solo foi menor no sistema arroz-feijão. Nesta camada, o menor valor de porosidade total foi verificado no sistema milho-feijão e, na camada de 20-30 cm, no sistema S-T-S-F-A-F.

A microporosidade, na camada de solo de 0-10 cm de profundidade, de maneira geral, apresentou menor valor no sistema A/C-F e maiores nos sistemas que incluíam soja e trigo (Quadro 1). Na camada de 20-30 cm de profundidade, o sistema soja-trigo também propiciou alto valor de microporosidade. Machado et al. (1981) também verificaram ter este sistema aumentado a microporosidade do solo após oito anos de cultivo convencional.

Na camada de 0-10 cm de profundidade, o sistema que propiciou menor valor de microporosidade, A/C-F, apresentou o maior valor de macroporosidade (Quadro 1), provavelmente por causa da presença do calopogônio no sistema. Os sistemas que incluíam

soja e trigo apresentaram os menores valores de macroporosidade, tanto nessa camada como na de 20-30 cm de profundidade. Fahad et al. (1982) e Bruce et al. (1990) observaram menores valores de macroporosidade após o cultivo contínuo de soja, em relação ao cultivo contínuo de sorgo ou à rotação da soja com sorgo ou milho. Machado et al. (1981) também encontraram redução na macroporosidade do solo, após oito anos do sistema soja-trigo.

CONCLUSÕES

1. O não-revolvimento ocasionou maior compactação da camada superficial do solo sob plantio direto, em comparação aos demais sistemas de preparo, evidenciada pelo maior valor de densidade do solo e menores de porosidade total e macroporosidade, enquanto o revolvimento superficial do solo pela grade aradora propiciou o menor valor de densidade e o maior de porosidade, mas levou à formação de camada mais compactada abaixo da profundidade de atuação do implemento.

2. A maior mobilização do solo pelo arado de aiveca reduziu sua compactação nas camadas mais profundas, em comparação aos demais sistemas de preparo, propiciando menores valores de densidade do solo e maiores de porosidade total e macroporosidade.

3. Os sistemas de rotação de culturas que incluíam soja e trigo provocaram maior compactação da camada superficial do solo, enquanto o sistema arroz consorciado com calopogônio-feijão propiciou maior valor de macroporosidade e menor de microporosidade.

LITERATURA CITADA

- 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. R. Bras. Ci. Solo, 19:115-119, 1995.
- BRUCE, R.R.; LANGDALE, G.W. & DILLARD, A.L. Tillage and crop rotation effect on characteristics of a sandy surface soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 54:1744-1747, 1990.
- CAMPOS, B.C.; 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. R. Bras. Ci. Solo, 19:121-126, 1995.
- 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. 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).
- CORRÊA, J.C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso do estado do Amazonas. *Pesq. Agropec. Bras.*, 20:1317-1322, 1985.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. & KÖPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. *Eschborn, GTZ*, 1991. 272p.
- 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.
- FAHAD, A.A.; MIELKE, L.N.; FLOWERDAY, A.D. & SWARTZENDRUBER, D. Soil physical properties as affected by soybean and other cropping sequences. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:377-381, 1982.
- FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M.; BRONSON, R.D. & MANNERING, J.V. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros, em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapludalf). *R. Bras. Ci. Solo*, 7:329-333, 1983.
- GOMES, A.S.; PATELLA, J.F. & PAULLETTO, E.A. Efeitos de sistemas e tempo de cultivo sobre a estrutura de um solo Podzólico Vermelho Amarelo. *R. Bras. Ci. Solo*, 2:17-21, 1978.
- HENKLAIN, J.C.; GUIMARÃES, M.F.; VIEIRA, M.J. & MEDINA, C.C. Efeito do preparo do solo no desenvolvimento radicular. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTIO DIRETO PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 1., Ponta Grossa, 1996. Resumos expandidos. Ponta Grossa, Instituto Agrônomico do Paraná, 1996. p.103-105.
- KLUTHCOUSKI, J. Efeito do manejo em alguns atributos de um Latossolo Roxo sob cerrado e nas características produtivas do milho, soja, arroz e feijão, após oito anos de plantio direto. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998. 180p. (Tese de Doutorado)
- MACHADO, J.A.; SOUZA, D.M. & BRUM, A.C.R. Efeito de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 5:187-189, 1981.
- REEVES, D.W. Soil management under no-tillage: soil physical aspects. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., Passo Fundo, 1995. Resumos. Passo Fundo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 1995. p.127-130.
- SEGUY, L. & BOUZINAC, S. Arroz de sequeiro na fazenda Progresso: 4.550 kg/ha. Piracicaba, POTAFOS, 1992. p.1-3. (POTAFOS. Informações Agrônomicas, 58)
- SILVA, J.G. Ordens de gradagem e sistemas de aração do solo: desempenho operacional, alterações na camada mobilizada e respostas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Botucatu, Universidade Estadual de São Paulo, 1992. 180p. (Tese de Doutorado)
- SILVEIRA, P.M.; SILVA, S.C.; SILVA, O.F. & DAMACENO, M.A. Estudo de sistemas agrícolas irrigados. *Pesq. Agropec. Bras.*, 29:1243-1252, 1994.
- SMITTE, D.A. & THREADGILL, E.D. Response of southernpea (*Vigna unguiculata* L.) to tillage methods. *Hortscience*, 12:556-558, 1977.
- STONE, L.F. & SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34:83-91, 1999.
- URCHEI, M.A. Efeitos do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso e no crescimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob irrigação. Botucatu, Universidade Estadual de São Paulo, 1996. 150p. (Tese de Doutorado)
- VIEIRA, M.J. & MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 19:873-882, 1984.
- VIEIRA, M.J. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A.L.; TORRADO, P.V. & MACHADO, J., coords. Atualização em plantio direto. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.163-179.
- VIEIRA, M.J. Propriedades físicas do solo. In: INSTITUTO AGRÔNOMICO DO PARANÁ. Plantio direto no Estado do Paraná. Londrina, 1981. p.19-32. (IAPAR. Circular, 23)
- VOORHEES, W.B.; JOHNSON, J.F.; RANDALL, G.W. & NELSON, W.W. Corn growth and yield as affected by surface and subsoil compaction. *Agron. J.*, 81:294-303, 1989.
- VOORHEES, W.B. & LINDSTROM, M.J. Long-term effects of tillage method on soil tilth independent of wheel traffic compaction. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:152-156, 1984.