

DENSIDADE E DISTRIBUIÇÃO DO DIÂMETRO DOS POROS DE UM LATOSSOLO VERMELHO, SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO⁽¹⁾

V. A. KLEIN⁽²⁾ & P. L. LIBARDI⁽³⁾

RESUMO

Toda ação antrópica ocasiona alterações no ambiente. Estudar as alterações que o manejo do solo para fins agrícolas provoca nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho constituiu o objetivo deste trabalho. Amostras de solo com estrutura indeformada foram coletadas ao longo do perfil, até 1 m de profundidade, em três sistemas de uso e manejo: mata, sequeiro e irrigado. Essas foram submetidas a diferentes tensões para determinar a curva de retenção de água e para avaliar a distribuição do diâmetro dos poros. No campo, determinou-se a porosidade de aeração em períodos subsequentes à inundação de uma parcela, em relação à porosidade total do solo calculada. Os resultados indicaram que o manejo influenciou na densidade do solo até à profundidade de 0,4 m e, em consequência dessas alterações, foram afetadas a distribuição do diâmetro dos poros e a porosidade de aeração; verificou-se que densidades superiores a 1,2 Mg m⁻³ acarretaram deficiência na aeração do sistema radicular por um período superior a 24 h.

Termos de indexação: plantio direto, compactação do solo, manejo do solo.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP. Recebido para publicação em abril de 2001 e aprovado em julho de 2002.

⁽²⁾ Professor Titular da FAMV, Universidade de Passo Fundo – UPF. Caixa Postal 611, CEP 99001-970 Passo Fundo (RS). E-mail: vaklein@upf.tche.br

⁽³⁾ Professor Titular, DCE, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). Bolsista CNPq. E-mail: pllibard@carpa.ciagri.usp.br

SUMMARY: *BULK DENSITY AND PORE SIZE DISTRIBUTION OF AN OXISOL UNDER DIFFERENT USE AND MANAGEMENT SYSTEMS*

All anthropic action causes changes in the environment. The objective of this study was the evaluation of alterations on the physical properties of a typical Brazilian Oxisol, caused by agricultural soil management. Undisturbed soil samples were collected along a 1m top layer of the soil profile in three use and management systems: natural forestry, non-irrigated and irrigated. These samples were used to determine the soil water retention curves and then the soil pore size distribution. After flooding, the aeration porosity was determined in a field plot during the water redistribution period in relation to the calculated total soil porosity. Results indicated that the soil management affected bulk density down to a soil depth of 0.4 m and, consequently, soil pore size distribution and aeration porosity as well. Bulk density values above 1.2 Mg m⁻³ caused deficiency in the root aeration system for periods above 24 hours.

Index terms: no tillage, soil compaction, soil management.

INTRODUÇÃO

A estrutura do solo, de acordo com Brewer & Sleeman (1960), é dada pela sua condição física, expressa pela dimensão, forma e arranjo das partículas sólidas e dos poros a elas associados. Rezende (1997) destacou que a presença de uma rede ideal de poros, com ampla variação de diâmetros, é um fator-chave na fertilidade do solo que influi na produtividade das culturas, pois interfere nas relações entre drenagem, teor de água disponível para as plantas, absorção de nutrientes, penetração de raízes, aeração e temperatura.

A densidade do solo é afetada por cultivos que alteram a estrutura e, por conseqüência, o arranjo e volume dos poros. Essas alterações influem nas propriedades físico-hídricas importantes, tais como: a porosidade de aeração, a retenção de água no solo, a disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração (Tormena et al., 1998).

As causas das alterações na densidade dos solos podem ser naturais, difíceis de ser definidas e avaliadas, agindo lentamente no solo, como, por exemplo, a eluviação de argilas e as forças mecânicas originadas da pressão causada pelas rodas das máquinas agrícolas e pela própria ação de implementos sobre o solo (Beltrame & Taylor, 1980). Esses autores afirmaram, ainda, que esta pressão é originária das forças de tração e da própria força peso do trator e implementos. O tráfego excessivo, realizado indiscriminadamente sob diferentes condições de umidade do solo, é o principal responsável pela compactação.

A compactação do solo acarreta a redução do espaço poroso, principalmente dos macroporos, o que afeta as propriedades físico-hídricas. Grohmann & Queiroz Neto (1966) observaram, em laboratório, a redução pela metade do volume dos macroporos de

um Latossolo Vermelho, enquanto a porosidade total foi reduzida em 0,20 m³ m⁻³. Silva et al. (1986) observaram a transformação de macroporos em microporos decorrente da compactação. Hillel (1970) afirmou que para o bom desenvolvimento das plantas há necessidade de, no mínimo, entre 0,06 e 0,20 m³ m⁻³ de macroporos, dependendo do tipo de solo.

A porosidade é a fração volumétrica do solo ocupada com ar e, ou, água, representando o local onde circulam a solução (água e nutrientes) e o ar, sendo, portanto, o espaço em que ocorrem os processos dinâmicos do ar e solução do solo (Hillel, 1970). A distribuição do diâmetro dos poros condiciona o seu comportamento físico-hídrico. O estudo da porosidade é, portanto, uma das maneiras de caracterizar e quantificar essas propriedades do solo (Guerif, 1987).

A distribuição do diâmetro dos poros no solo tem um papel preponderante nesse contexto. Inúmeras classificações do diâmetro de poros foram citadas na literatura, destacando-se uma forma mais simplificada que separa os poros em duas classes: macroporos, quando os poros têm diâmetro maior do que 0,06 mm, e microporos, quando os poros são menores do que 0,06 mm, como a proposta por Kiehl (1979), enquanto Richards (1965) e USDA (1972) classificam em macroporos os poros com diâmetro maior do que 0,05 mm e microporos os com diâmetro menor do que 0,05 mm.

Vários autores incluíram na classificação dos poros os mesoporos como uma classe intermediária. Há, no entanto, uma variação muito grande na definição dos limites de diâmetro entre uma classe e outra. Assim Luxmoore (1981) definiu como limite para macroporos o diâmetro de 1 mm, enquanto Koorevaar et al. (1983) utilizaram o diâmetro de 0,1 mm. Outras classificações mais detalhadas

subdividem os poros em até oito classes, adotando classificações como criptoporos para poros com diâmetro inferior a 0,0002 mm.

Por meio de exames microscópicos em lâminas delgadas de Latossolo Vermelho, Tognon (1991) e Curmi et al. (1994) relataram que o espaço poroso é constituído por dois tipos de poros: um resultante do arranjo dos microagregados, formando o espaço poroso intra-agregado, contínuo, irregular e policôncavo e que ocupa um volume importante do solo (diâmetro < 0,0002 mm), ao passo que o outro é formado por canais e cavidades com dimensões maiores (diâmetro > 0,0002 mm), denominados poros interagregados (micro e macroporos). Destacaram, ainda, que os manejos dos solos afetaram apenas os poros interagregados, enquanto os poros dentro dos agregados não sofreram quaisquer alterações em razão da sua grande estabilidade.

Os microporos são definidos também como poros de armazenamento de água às plantas, enquanto os criptoporos são aqueles poros nos quais a água pode permanecer retida com energia muito alta, sendo, portanto, indisponível às plantas. É a água que o solo retém quando o seu potencial mátrico se encontra abaixo do ponto de murcha permanente (< -1500 kPa) (Klein, 1998).

A porosidade de aeração é a razão entre o volume de ar e o volume do solo, sendo, portanto, afetada pela umidade. O ar ocupa o espaço poroso do solo não ocupado pela água. Para um solo seco, todo o espaço vazio (porosidade total) é ocupado por ar. A exigência das plantas para a aeração do solo, isto é, porosidade livre de água necessária para o seu pleno desenvolvimento, varia entre espécies e solos, e os efeitos da deficiência de difusão de oxigênio no solo sobre as plantas são bastante estudados e descritos por Sojka (1992).

Erickson (1982), em revisão detalhada a respeito do assunto, citou vários autores e concluiu que, para a maioria das culturas, o valor mínimo de espaço poroso livre de água deve ser ao redor de 0,10 m³ m⁻³. No entanto, esses valores são apenas uma referência, pois a taxa de difusão gasosa no solo depende da profundidade e densidade do sistema radicular, temperatura do solo, tortuosidade do espaço poroso, dentre outros (Jong van Lier, 2001).

O uso e o manejo do solo alteram a sua densidade, e, conseqüentemente, a porosidade total e a de aeração. Neste sentido, Tormena et al. (1998), estudando as alterações na porosidade de aeração em plantio direto, observaram que o tráfego de máquinas reduziu seus valores para próximo de zero. Observaram, ainda, que, com o decorrer do tempo, mesmo sem mobilizar o solo, houve aumento da porosidade total e de aeração, fato atribuído por eles à ação do sistema radicular da cultura da aveia preta, plantada nesta área com a finalidade única da adubação verde.

O objetivo deste trabalho foi estudar as alterações na densidade do solo e sua implicação na porosidade total e aeração, bem como a distribuição do diâmetro dos poros de um solo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo.

MATERIAL E MÉTODOS

As atividades de campo foram realizadas em área localizada no município de Guaira, na região norte do estado de São Paulo (20°27' S, 48°18' W, 518 m). O clima da região, segundo Koeppen, é classificado como subtropical com inverno seco (Cwa). Essa região apresenta uma expressiva área irrigada por aspersão, possuindo, aproximadamente, 200 sistemas pivôs centrais. As culturas predominantes na região são o milho, o feijão e a soja, as quais alcançam elevado rendimento de grãos graças à disponibilidade de água às plantas, bem como à elevada quantidade de insumos utilizados. A principal característica na área irrigada é a elevada intensidade de cultivo (cinco safras em dois anos).

A área estudada abrangueu um Latossolo Vermelho Ácrico (Typic Acrorthox), de textura argilosa, profundo, argiloso e bem drenado (Tognon, 1991; IPT, 1995).

Três sistemas de uso e manejo do solo, situados em áreas adjacentes num mesmo plano da paisagem, foram selecionados para o estudo: (1) Mata - Representada pela mata secundária. O solo não sofreu qualquer tipo de manejo. As propriedades físico-hídricas deste solo foram consideradas como referência para comparação com os outros dois sistemas; (2) Sequeiro - Área desmatada em 1959 e, desde então, usualmente cultivada com duas culturas anuais, uma no período chuvoso (novembro até fevereiro) e outra no de safrinha (março até julho). No período de 1959 até 1991, o solo da área foi manejado no sistema convencional de preparo do solo e, após esse período, foi utilizado o sistema de manejo conservacionista, intercalando plantio direto e preparo reduzido; (3) Irrigado - Área desmatada em 1981 para instalação de sistema de irrigação por pivô central e cultivada com culturas anuais em sistema de manejo conservacionista, com plantio direto intercalado com aração profunda, quando da instalação da cultura do tomate (aração profunda em 1990 e 1992).

Para cada sistema de uso e manejo, foram abertas três trincheiras com 1 m de profundidade, no período de maio a junho; no sequeiro, estava implantada a cultura do milho e, no irrigado, a do feijão. A densidade do solo e a resistência mecânica do solo à penetração foram determinadas em amostras coletadas nas seguintes profundidades, sempre considerando o centro do anel: 0,036; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 e 1 m, utilizando amostrador do tipo Uhland, com anéis de alumínio de dimensões

de 7,3 cm de diâmetro e 7,2 cm de altura (301 cm³). Para determinar a retenção de água no solo, utilizaram-se conjuntos de três anéis, com altura de 2,39 cm cada, no mesmo tipo de amostrador, coletados nas mesmas profundidades. A amostragem foi feita de tal maneira que o plano horizontal que divide o anel central em duas partes iguais ficasse na profundidade de coleta. Somente o anel central foi usado, sendo os extremos descartados.

Utilizaram-se funis de placa porosa para determinar a retenção de água nas amostras do solo, nas tensões de 0,5; 1; 2; 3; 5; 8; 10 e 15 kPa, e câmaras de pressão de Richards, nas tensões de 30; 50; 100; 300; 500 e 1.500 kPa. Cada ponto da curva de retenção foi obtido utilizando-se amostras diferentes, para acelerar o processo de determinação das curvas.

Com terra fina seca ao ar (TFSA), determinou-se a densidade de partículas, pelo método do balão volumétrico, usando álcool etílico para medição do volume. A determinação da porosidade total do solo foi calculada a partir da relação entre a densidade de partículas e a densidade do solo (EMBRAPA, 1997).

Ajustaram-se os pontos experimentais através da equação de Van Genuchten (1980) (equação 1), minimizando a soma dos quadrados dos desvios, utilizando o software SWRC (Dourado Neto et al., 1990), obtendo, assim, os parâmetros empíricos de ajuste, α , m e n , fixando-se o θ_s (umidade de saturação) no valor correspondente à porosidade total.

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \psi_m)^n]^m} \quad (1)$$

em que θ = conteúdo de água no solo (m³ m⁻³), θ_s = conteúdo de água na condição de solo saturado (m³ m⁻³), θ_r = conteúdo de água do solo (m³ m⁻³) na tensão de 1.500 kPa, ψ_m = potencial mátrico da água no solo (kPa) e α , m , n = parâmetros empíricos da equação.

A porosidade foi classificada de acordo com o diâmetro dos poros, obtido a partir da curva de retenção da água no solo. Nessa classificação, foram considerados: “macroporos”, aqueles com diâmetro maior que 0,05 mm (que perdem a água em tensões menores que 6 kPa); “microporos”, aqueles com diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm (que são esvaziados a tensões entre 6 e 1.500 kPa), e “criptoporos”, poros com diâmetro menor que 0,0002 mm (que perdem a água apenas para tensões maiores que 1.500 kPa).

Para determinar a porosidade de aeração do solo, nove baterias (três em cada sistema de uso e manejo) de 10 tensiômetros foram instaladas. As cápsulas porosas dos tensiômetros foram instaladas no perfil na profundidades de 0,1 em 0,1 m até 1 m. A instalação foi feita com um mês de antecedência, a fim de avaliar o correto funcionamento dos tensiômetros antes do início dos ensaios. Ao redor dos tensiômetros, delimitou-se uma área com 5 m de diâmetro, totalizando 19,60 m². Essas áreas

foram inundadas, utilizando-se em torno de 10 m³ de água. Cessada a infiltração, para evitar a evaporação, cobriu-se a parcela com duas lonas de plástico e folhas de isopor junto aos tensiômetros.

No tempo $t = 0$ de redistribuição de água, iniciaram-se as leituras diárias da altura da coluna de mercúrio nos manômetros dos tensiômetros. Com os valores de potencial mátrico obtidos das leituras dos tensiômetros e as curvas de retenção da água no solo, determinaram-se os valores de umidade. E com a diferença entre esses valores e a porosidade total, determinou-se a porosidade de aeração nos tempos subsequentes ao da inundação.

Para as propriedades físicas do solo em que se tinha três repetições por uso e manejo e profundidade, adotou-se o delineamento experimental denominado “Grupos de experimentos em blocos casualizados”, assumindo-se para os grupos o uso e manejos do solo e os blocos as profundidades com três repetições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo da mata apresentou diferença significativa, no perfil, apenas na camada superficial (0,03 m), devido a influência da liteira (Quadro 1), indicando a homogeneidade desta propriedade do solo na sua condição natural, sem camadas de impedimento ou de acúmulo de argila. As áreas de sequeiro e a irrigada, em comparação com a mata, tiveram a sua estrutura modificada, com alterações significativas na densidade até à profundidade de 0,4 m. Abaixo de 0,4 m, não se detectaram alterações, com exceção da profundidade 0,7 m, em relação à mata (Quadro 1). Esses resultados concordam com os relatados por Tognon (1991), Curmi et al. (1994) e Kertzmann (1996), em trabalhos realizados no mesmo tipo de solo e na mesma região de Guaira (SP).

Os valores da densidade do solo foram significativamente superiores até à profundidade de 0,4 m para o sistema plantio direto irrigado, o que corrobora o resultado citado por Kertzmann (1996). Por outro lado, Derpsch et al. (1986) e Silveira et al. (1997) afirmaram que, em plantio direto, a compactação seria mais superficial, até 0,2 m. Estes resultados são preocupantes, pois indicam que o efeito do tráfego de máquinas sobre a superfície do solo está afetando a estrutura em profundidade (Taylor & Gill, 1984). Acredita-se que uma possível solução para aliviar este efeito no futuro poderia ser uma subsolagem profunda com custos elevados, conforme destacaram Raghavan et al. (1990).

As curvas de retenção da água no solo para as profundidades 0,03; 0,1; 0,8 e 1,0 m estão apresentadas na figura 1, e os parâmetros de ajuste dos dados experimentais à equação de van Genuchten (1), para todas as curvas, podem ser vistos no quadro 2.

Quadro 1. Densidade do solo, em profundidade, para diferentes sistemas de uso e manejo

Profundidade	Mata	Sequeiro	Irrigado
m	Mg m ⁻³		
0,03	0,924 bB	1,068 cdAB	1,213 bcA
0,10	0,986 abB	1,212 aA	1,299 aA
0,20	1,025 aC	1,076 abB	1,255 abA
0,30	1,014 aC	1,185 bB	1,228 abcA
0,40	1,016 aC	1,146 cB	1,161 cdA
0,50	1,027 aA	1,077 cA	1,104 deA
0,60	1,023 aA	1,039 cdeA	1,051 efA
0,70	1,002 abB	1,014 deB	1,058 efA
0,80	1,007 aA	1,018 cdeA	1,022 efA
0,90	1,027 aA	0,983 eA	1,019 fA
1,00	0,996 aA	1,006 eA	0,999 fA
Média	1,004 C	1,078 B	1,128 A
C.V. (%) tratamento	3,92	2,90	3,99
C.V. (%) geral	3,67		

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas, nas colunas, e maiúsculas, nas linhas, não diferem entre si a 5 %, pelo teste de Duncan.

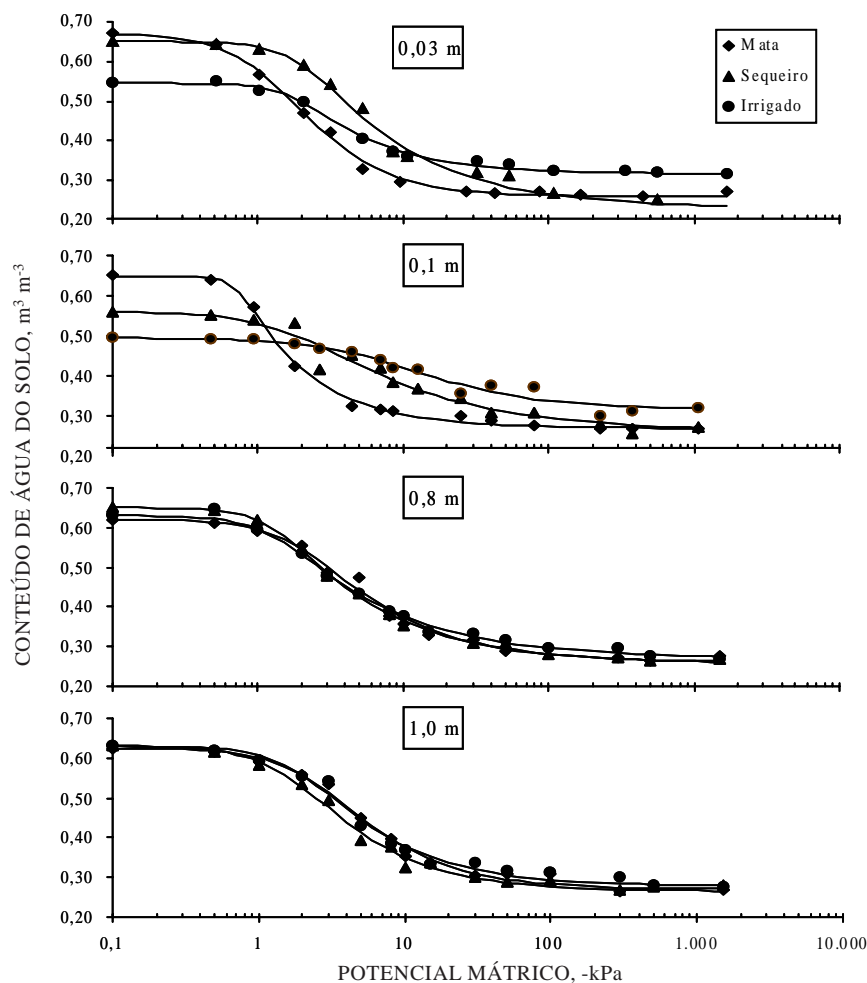


Figura 1. Curvas de retenção de água no solo para os manejos e profundidades, cada ponto experimental é oriundo de uma subamostra.

Quadro 2. Parâmetros do ajuste dos pontos experimentais da curva de retenção de água no solo à equação de Van Genuchten

Profundidade	$\alpha^{(1)}$	$m^{(1)}$	$n^{(1)}$	$\theta_r^{(2)}$	$\theta_s^{(3)}$
m	1/kPa	m ³ m ⁻³			
Mata					
0,01	1,227	0,2156	3,9946	0,28	0,66
0,03	0,703	0,633	1,8583	0,26	0,67
0,05	0,443	0,8732	1,5835	0,265	0,62
0,1	1,293	0,154	5,7771	0,269	0,65
0,2	1,089	0,1162	5,5598	0,26	0,62
0,3	0,961	0,1283	6,1828	0,262	0,65
0,4	0,738	0,4336	1,914	0,263	0,615
0,5	0,669	0,2357	3,2505	0,266	0,62
0,6	0,535	0,3567	2,3688	0,26	0,62
0,7	1,01	0,0993	5,8519	0,258	0,63
0,8	0,454	0,3788	1,9822	0,26	0,62
0,9	0,49	0,2583	2,8129	0,275	0,635
1,0	0,343	0,5173	1,8144	0,27	0,625
Sequeiro					
0,01	0,46	0,4145	1,9718	0,232	0,642
0,03	0,497	0,2311	2,7988	0,23	0,65
0,05	0,475	0,3442	1,8568	0,252	0,65
0,1	0,465	0,3406	1,5495	0,26	0,56
0,2	0,372	0,469	1,4417	0,27	0,55
0,3	0,592	0,3968	1,9051	0,29	0,58
0,4	0,492	0,7357	1,2414	0,277	0,61
0,5	0,909	0,2402	2,8512	0,275	0,61
0,6	0,342	0,7637	1,3151	0,27	0,62
0,7	1,216	0,1161	4,6973	0,252	0,62
0,8	0,756	0,2263	2,8073	0,257	0,65
0,9	0,72	0,3411	1,8855	0,243	0,64
1,0	0,518	0,4536	1,9253	0,265	0,63
Irrigado					
0,01	0,566	0,2487	2,9261	0,308	0,63
0,03	0,566	0,2744	3,1066	0,317	0,545
0,05	0,465	0,2428	2,5703	0,292	0,535
0,1	0,089	0,7509	1,1852	0,318	0,495
0,2	0,555	0,2915	1,7564	0,3	0,53
0,3	0,412	0,1733	2,6419	0,31	0,53
0,4	0,39	0,2836	1,8979	0,285	0,565
0,5	0,464	0,4447	1,403	0,268	0,59
0,6	0,658	0,2598	2,0884	0,275	0,58
0,7	0,605	0,2586	2,9761	0,27	0,63
0,8	0,76	0,2435	2,4346	0,269	0,63
0,9	0,483	0,2446	3,1637	0,264	0,62
1	0,475	0,3638	2,1869	0,278	0,63

⁽¹⁾ Parâmetros empíricos da equação 1. ⁽²⁾ Conteúdo de água na condição de solo saturado (m³ m⁻³). ⁽³⁾ Conteúdo de água do solo (m³ m⁻³) na tensão de 1.500 kPa (PMP).

É importante ressaltar que cada ponto experimental da curva de retenção de água no solo é oriundo de amostra distinta, explicando com isto certa dispersão dos pontos experimentais em relação à linha de ajuste (Figura 1).

Constatou-se que o uso e o manejo do solo alteraram consideravelmente o traçado das curvas de retenção de água no solo com a redução na porosidade e alteração na distribuição do diâmetro dos poros. Estas alterações foram mais acentuadas na área irrigada, coincidindo com as camadas de até 0,4 m de profundidade, nas quais ocorreram os maiores valores de densidade; além dessa profundidade, as curvas, que podem ser reconstituídas a partir dos dados do quadro 2, mostraram-se muito similares.

As alterações na densidade promoveram menor umidade do solo na saturação e maior no ponto de murcha permanente. Essas diferenças podem, no entanto, interferir muito pouco na disponibilidade de água às plantas, pois maiores valores de umidade próximos à saturação significam água facilmente drenável. As diferenças importantes estão nos valores de umidade próximos ao ponto de murcha permanente, pois maiores valores significam mais água indisponível (Quadro 2).

Analisando as curvas de retenção na camada de 0,10 m, observa-se que, na condição de solo saturado, a umidade foi 0,15 m³ m⁻³ maior na mata, enquanto na tensão de 8 kPa, assumido para esse solo como condição de capacidade de campo e no PMP, os

valores da umidade foram, respectivamente, $0,122 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,051 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ superiores no irrigado (Figura 1). Isto indica que as alterações na porosidade provocadas pelo aumento da densidade foram mais acentuadas na porosidade relacionada com o movimento rápido da água no solo do que em relação à retenção de água, que até aumentou.

A partir das curvas de retenção da água no solo com estrutura preservada (Figura 1), foi possível estudar a distribuição dos diâmetros dos poros do solo mediante a derivação das equações em relação ao potencial mátrico, como está apresentado, para algumas profundidades, na figura 2.

Constatou-se uma alteração na amplitude das curvas, o que significa que o manejo alterou o raio dos poros predominantes até à profundidade de 0,4 m. Em profundidade superior a 0,4 m, essas diferenças foram muito pequenas e os máximos das curvas coincidentes, demonstrando uma pequena redução no volume total dos poros, sem afetar a distribuição do diâmetro dos poros no solo (Figura 2). Neste sentido, Tognon (1991), estudando a

porosidade do solo por meio da porosimetria por injeção de mercúrio, detectou que a distribuição de poros é bimodal, com um primeiro máximo entre 0,005 e 0,2 mm de diâmetro, correspondendo aos poros interagregados, e um outro entre 0,00001 a 0,0001 mm, chamados de poros intra-agregados. Como neste estudo a distribuição do diâmetro dos poros foi feita utilizando somente a curva de retenção de água no solo, pôde-se observar apenas o primeiro máximo, pois o menor diâmetro de poro que pode ser estudado pela curva de retenção na tensão de 1.500 kPa é 0,0002 mm.

A distribuição do tamanho dos poros no solo, em classes, para os três manejos, está apresentada na figura 3, e as alterações no volume de sólidos e classes de poros dos manejos, em relação à mata, no quadro 3. Observou-se que, no solo da mata, a porosidade total variou de 0,67 a $0,615 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ em profundidade, o que pode ser observado pelos valores de θ_s do quadro 2, o mesmo ocorrendo com os crioporos (Figura 3). Os macro e microporos apresentaram alterações, tendo os primeiros

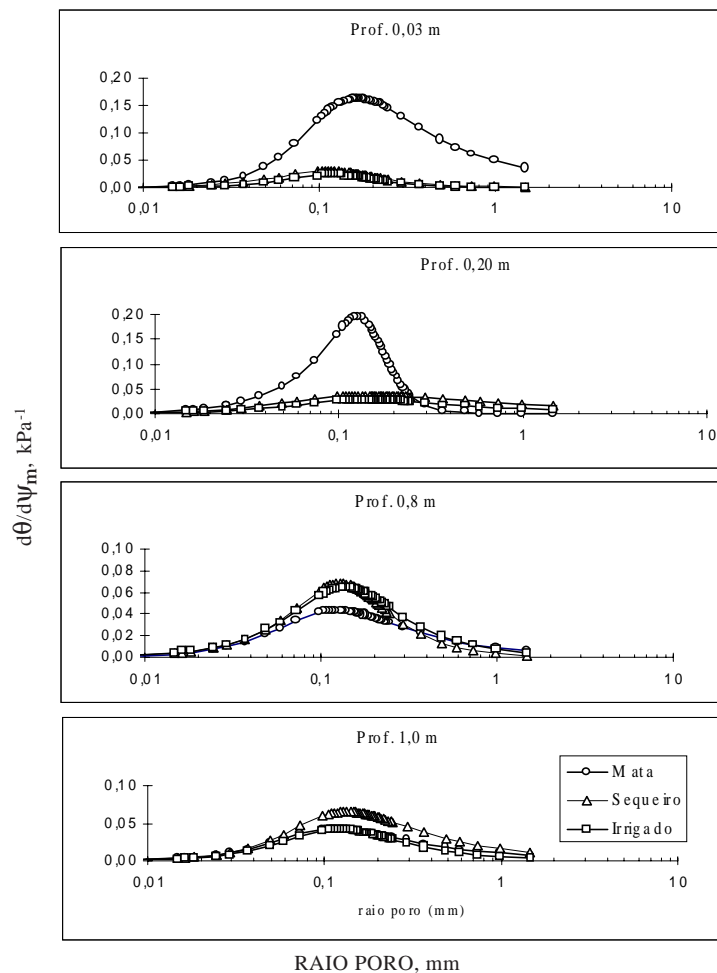


Figura 2. Distribuição do tamanho dos poros do solo, determinados pela derivação da equação de ajuste da curva de retenção em relação ao potencial mátrico.

apresentado uma tendência de diminuição em profundidade e, em consequência disso, os microporos um aumento.

Estes resultados confirmam afirmações feitas por Tognon (1991) e Kertzmann (1996) de que os poros com diâmetro menor que 0,0002 mm, (neste trabalho, chamados de criptoporos) seriam os poros intra-agregados. Como na condição do solo da mata não ocorre alteração da densidade e, portanto, do volume de sólidos, conclui-se que as alterações no volume de micro e macroporos são consequência do arranjo desses agregados e da atividade biológica nessa camada mais superficial.

Analisando o sistema de manejo de sequeiro em relação à mata, observou-se uma redução na porosidade total até 0,5 m de profundidade (Quadro 3) e, na macroporosidade, até 0,4 m com consequente aumento da microporosidade. Na profundidade de 0,10 m, ocorreu uma redução da porosidade total em torno de 12 %, enquanto os macroporos reduziram em 24 %, comprovando que, no processo de compactação, ocorre a transformação de macro em microporos (Grohmann & Queiroz Neto (1966) e Silva et al. (1986)). Em relação aos criptoporos, destaca-se um incremento em torno de 6 %, em decorrência do aumento do volume de agregados por volume de solo.

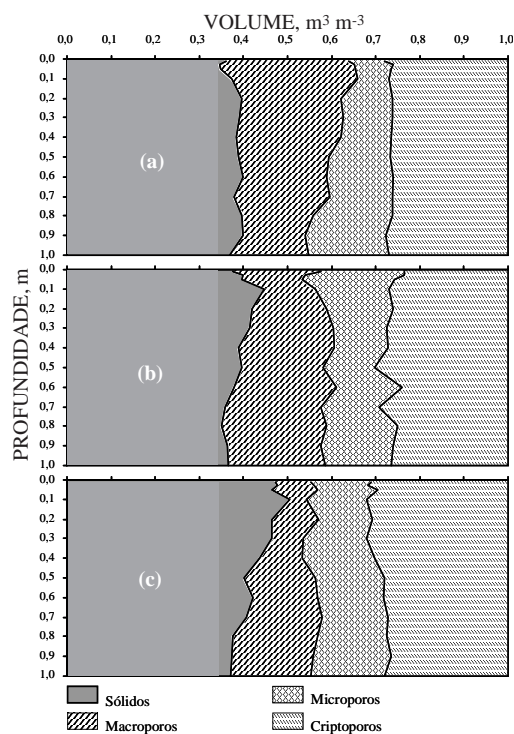


Figura 3. Distribuição do volume de sólidos e das classes de poros no perfil do solo. (a) mata; (b) sequeiro e (c) irrigado.

Quadro 3. Alterações no volume de sólidos, de poros e na distribuição do tamanho dos poros do solo nos sistemas de manejo de sequeiro e irrigado em relação à mata

Profundidade	Sólido	Porosidade	Macroporo	Microporo	Criptoporo
m	%				
Sequeiro em relação ao solo da mata					
0,01	+3,88	-2,20	-9,9	+16,4	-6,5
0,03	+15,18	-8,03	-21,6	+22,1	-0,5
0,05	+13,43	-7,12	-21,3	+19,3	+2,0
0,1	+19,94	-11,87	-24,0	+18,2	+5,8
0,2	+5,47	-3,60	-10,2	+6,7	+3,5
0,3	+5,98	-3,83	-9,0	+2,3	+6,7
0,4	+1,68	-1,05	-3,6	+0,8	+2,8
0,5	+2,35	-1,49	+0,4	-2,5	+2,2
0,6	-5,24	+3,47	+0,4	-0,6	+0,1
0,7	-5,67	+3,47	+4,1	-1,9	-2,2
0,8	-11,40	+7,47	+7,2	-4,0	-3,2
0,9	-8,83	+5,88	+10,7	-3,2	-7,5
1,0	-0,45	+0,26	+5,7	-4,8	-0,9
Irrigado em relação ao solo da mata					
0,01	+30,28	-17,20	-28,6	+13,9	+14,6
0,03	+37,87	-20,04	-25,2	+4,1	+21,1
0,05	+32,94	-17,68	-25,3	+10,8	+14,5
0,1	+35,22	-20,97	-38,0	+16,4	+21,7
0,2	+17,01	-11,20	-17,6	+3,9	+13,7
0,3	+18,85	-12,09	-25,7	+8,3	+17,3
0,4	+13,87	-8,63	-21,5	+15,9	+5,6
0,5	+3,67	-2,33	-7,4	+5,2	+2,2
0,6	+5,69	-3,77	-7,2	+1,9	+5,3
0,7	+7,20	-4,41	-5,3	+1,8	+3,5
0,8	-5,00	+3,27	+3,3	-3,9	+0,5
0,9	-6,42	+4,28	+5,9	-2,0	-3,8
1,0	+0,90	-0,52	+0,1	-1,8	+1,7

(+) aumento percentual ; (-) redução percentual.

Na área irrigada, no plantio direto, sem preparo do solo, ocorreram as maiores alterações na porosidade do solo em relação ao solo da mata, tendo estas atingido a profundidade de 0,4. Na camada superficial (0,03 a 0,1 m), em decorrência do não-revolvimento do solo, verificou-se a maior redução na porosidade, diminuindo em cerca de 20 % (Quadro 3) o volume de poros em relação à mata, tendo ocorrido a redução mais crítica no volume de macroporos na camada de 0,1 m, permanecendo, ainda, a tendência na distribuição do tamanho dos poros, com diminuição de macro e aumento de micro e criptoporos.

Em relação à porosidade de aeração, considerando que é apenas nos macroporos (Figura 3) que ocorre a circulação de ar, observa-se que, na mata, esta macroporosidade ficou sempre em torno de $0,2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, enquanto, no sequeiro, o valor mínimo na camada mais compacta ficou em torno de $0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Já no sistema irrigado, na profundidade com maior densidade, este valor ficou em $0,045 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, metade do que preconiza Erickson (1982), que afirma ser

necessário, no mínimo, $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de poros de aeração para a maioria das culturas.

No quadro 4, pode-se observar o comportamento da água no solo durante o processo de redistribuição. Tanto no solo de mata como no de sequeiro, após 12 horas da saturação, a porosidade livre de água em todo o perfil era maior do que $0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, o mesmo não ocorrendo com a área irrigada que, mesmo após 720 h de drenagem, o valor de espaço poroso livre de água, na profundidade de 0,1 m ainda era inferior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, o que poderia ocasionar problemas de deficiência de aeração ao sistema radicular das plantas.

Na figura 4, observa-se que, com o aumento da densidade do solo, ocorreu uma diminuição do espaço poroso livre de água, a partir da densidade de $1,256 \text{ Mg m}^{-3}$, valor só atingido no solo irrigado, esta permaneceu menor do que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ até 24 h de redistribuição da água no solo, indicando que, por este período, o sistema radicular das plantas poderia estar sofrendo deficiência de aeração.

Quadro 4. Porosidade de aeração ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) de solo, considerando diferentes tempos de redistribuição de água no solo

Profundidade m	12 h			24 h		
	Mata	Sequeiro	Irigado	Mata	Sequeiro	Irigado
0,01	0,281	0,177	0,178	0,300	0,197	0,200
0,03	0,295	0,134	0,139	0,321	0,155	0,154
0,05	0,232	0,150	0,107	0,259	0,168	0,124
0,1	0,290	0,147	0,040	0,308	0,160	0,049
0,2	0,229	0,145	0,105	0,245	0,157	0,118
0,3	0,266	0,189	0,073	0,284	0,200	0,086
0,4	0,227	0,233	0,106	0,244	0,244	0,122
0,5	0,200	0,233	0,160	0,223	0,243	0,178
0,6	0,202	0,217	0,156	0,229	0,233	0,170
0,7	0,230	0,240	0,215	0,247	0,251	0,233
0,8	0,176	0,235	0,202	0,205	0,252	0,220
0,9	0,181	0,239	0,181	0,205	0,257	0,209
1	0,169	0,226	0,175	0,200	0,243	0,200
	48 h			96 h		
0,01	0,314	0,212	0,216	0,325	0,225	0,229
0,03	0,341	0,171	0,166	0,355	0,185	0,175
0,05	0,281	0,184	0,138	0,297	0,196	0,149
0,1	0,322	0,171	0,057	0,332	0,180	0,065
0,2	0,257	0,169	0,127	0,270	0,179	0,136
0,3	0,299	0,211	0,096	0,311	0,219	0,105
0,4	0,259	0,255	0,134	0,273	0,263	0,146
0,5	0,246	0,253	0,188	0,362	0,261	0,199
0,6	0,252	0,248	0,182	0,268	0,260	0,192
0,7	0,260	0,262	0,248	0,273	0,270	0,261
0,8	0,226	0,268	0,232	0,242	0,281	0,244
0,9	0,223	0,270	0,224	0,241	0,282	0,238
1	0,226	0,259	0,220	0,245	0,272	0,236
	192 h			720 h		
0,01	0,335	0,240	0,241	0,353	0,265	0,261
0,03	0,368	0,201	0,183	0,389	0,229	0,196
0,05	0,312	0,212	0,159	0,335	0,238	0,177
0,1	0,341	0,191	0,074	0,358	0,212	0,093
0,2	0,282	0,190	0,143	0,308	0,210	0,159
0,3	0,324	0,229	0,114	0,349	0,244	0,130
0,4	0,288	0,274	0,157	0,311	0,291	0,179
0,5	0,276	0,270	0,211	0,300	0,286	0,233
0,6	0,284	0,274	0,202	0,310	0,297	0,220
0,7	0,284	0,281	0,273	0,304	0,299	0,295
0,8	0,259	0,294	0,255	0,289	0,317	0,277
0,9	0,261	0,296	0,254	0,288	0,318	0,279
1	0,265	0,285	0,251	0,294	0,310	0,277

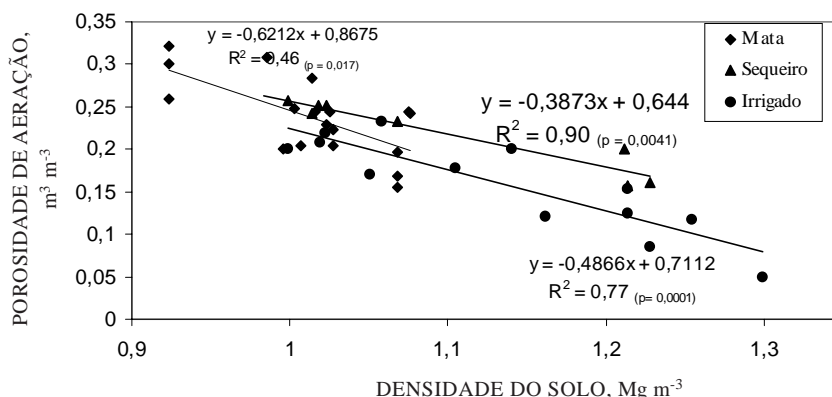


Figura 4. Porosidade de aeração, considerando a densidade do solo para os sistemas de uso e manejo 24 horas após a saturação.

CONCLUSÕES

1. O manejo do solo irrigado aumentou a densidade do solo até à profundidade de 0,4 m, diminuiu a porosidade total e alterou a distribuição do diâmetro dos poros, acarretando a consequente diminuição do volume de macroporos e aumento do de micro e criptoporos; em densidades superiores a 1,256 Mg m⁻³, a porosidade de aeração passou a ser limitante (< 0,10 m³ m⁻³).

LITERATURA CITADA

- BELTRAME, L.F.S. & TAYLOR, J.C. Causas e efeitos da compactação do solo. *Lav. Arroz*, 33:59-62, 1980.
- BREWER, R. & SLEEMAN, J.R. Soil structure : attempts at its quantitative characterization. *J. Soil Sci.*, 11:172-185, 1960.
- CURMI, P.; KERTZMANN, F.F. & QUEIROZ NETO, J.P. Degradation of structure and hydraulic properties in na Oxisol under cultivation (Brazil). In: RINGROSE-VOASE, A.J. & HUMPHREYS, G.S., eds. *Soil micromorphology: studies in management and genesis*. In: IX INTERNACIONAL WORKING MEETING ON SOIL MICROMORPHOLOGY, Townswillw, 1992. *Developments in Soil Science*, Amsterdam, Elsevier, 22, 1994, p.569-579.
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N. & ROTH, C.H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. *Soil & Till. Res.*, 8:253-263, 1986.
- DOURADO NETO, D.; JONG van LIER, Q.; BOTREL, T.A. & LIBARDI, P.L. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo utilizando o modelo de Genuchten. *Eng. Rural*, 1:92-102, 1990.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Conservation service. *Soil Survey Laboratory Methods and procedures for collecting soil samples: soil survey investigations*. Washington, 1972. (Report 1)
- ERICKSON, A.E. Tillage effects on soil aeration. In: *PREDICTING TILLAGE EFFECTS ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND PROCESSES*, 1982., Madison. *Proceedings. American Society of Agronomy*, 1982, p.91-104.
- GHROMANN, F. & QUEIROZ NETO, J.P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração de raízes de arroz. *Bragantina*, 25:421-431, 1966.
- GUERIF, J. L'analyse de la porosité: Application à l'étude du compactage des sols. In: MONIER, G. & GROSS, M.J., eds. *Soil compaction and regeneration*. Roterdan, CEE, 1987. p.122-131.
- HILLEL, D. Solo e água: fenômenos e princípios físicos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970. 231p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. IPT Áreas de conflito de uso das terras do município de Guaira (SP). São Paulo, 1995. 60p. (Relatório Técnico, 33042)
- JONG van LIER, Q. Oxigenação do sistema radicular: uma abordagem física. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:233-238, 2001.
- KERTZMANN, F.F. Modificações na estrutura e no comportamento de um Latossolo Roxo provocados pela compactação. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1996. 153p. (Tese de Doutorado)
- KIEHL, E.J. Manual de edafologia. relações solo-planta. São Paulo, Ceres, 1979. 262p.
- KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998. 150p. (Tese de Doutorado)
- KOOREVAAR, P.; MENELIK, G. & KIRKSEN, C. Elements of soil physics. Amsterdam, Elsevier, 1983. 228p. (Developments in Soil Science, 13)
- LUXMOORE, R.J. Micro-, meso-, and macroporosity of Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:671-672, 1981.
- RAGHAVAN, G.S.V.; ALVO, P. & MCKYES, E. Soil compaction in Agriculture: A view toward managing the problem. *Adv. Soil Sci.*, 11:1-35, 1990.

- REZENDE, J.O. Compactação e adensamento do solo, metodologia para avaliação e práticas agrícolas recomendadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM
- RICHARDS, L.A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Part 1. Madison, American Society for Testing and Materials, 1965. 770p. (Agronomy, 9)
- SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. & CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois latossolos. R. Bras. Ci. Solo, 10:91-95, 1986.
- SILVEIRA, M.S.; SILVA, J.G.; STONE, L.F. & ZIMMERMANN, F.J.P. Efeito do sistema de preparo na densidade do solo (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro: EMBRAPA, SBCS, 1997. CD-ROM
- SOJKA, R.E. Stomatal closure in oxygen-stressed plants. Soil Sci., 154:269-280, 1992.
- TAYLOR, J.H. & GILL, W.R. Soil compaction: state-of-the-art report. J. Terram., 21:195-213, 1984.
- TOGNON, A.A. Propriedades físico-hídricas do Latossolo Roxo da região de Guaira-SP sob diferentes sistemas de cultivo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" 1991. 85p. (Tese de Mestrado)
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. R. Bras. Ci. Solo, 22:301-309, 1998.
- van GENUCHTEN, M.TH. A Closed-Form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-897, 1980.

