

Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas

Marlene Cristina Alves* e Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Féis, Universidade Estadual Paulista, C. P. 31, 15385-000, Ilha Solteira-SP. *Autor para correspondência. e-mail: mcalves@agr.feis.unesp.br

RESUMO. A presente pesquisa objetivou avaliar a influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. O trabalho foi conduzido num Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso. A pesquisa iniciou-se em 1997/1998 e a avaliação foi realizada no ano de 2002. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, no esquema em faixas com parcelas subsubdivididas. Os tratamentos foram constituídos nas parcelas por 4 plantas de cobertura e área de pousio, nas subparcelas pelos sistemas de plantio direto e convencional (preparo do solo com grade aradora e grade niveladora) e as subsubparcelas pelas sucessões de culturas com milho, soja e algodão. Avaliou-se: macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e resistência à penetração, nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40m. De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que: as plantas de cobertura não se diferenciaram entre si quanto à atuação na recuperação das propriedades físicas do solo; o plantio direto está melhorando as propriedades físicas do solo na camada superficial; a soja utilizada na sucessão de culturas proporcionou melhores condições físicas na camada superficial do solo; o milho na sucessão de culturas foi o mais promissor para recuperar as propriedades físicas em profundidade no solo.

Palavras-chave: plantas de cobertura, plantio direto, plantio convencional, sucessão de culturas.

ABSTRACT. Influence of different manning systems of soil in its physical properties recuperation. The present research objectived evaluates the influence of different manning systems of soil in recuperation of its properties. The work was realized on a "Latossolo Vermelho" (Oxisol). The research beggined in 1997/1998 and evaluation was realized in 2002. The experimental design, in the scheme in zone with split split-plot design. The bands were made up by five covers (*Mucuna aterrima*, *Pennisetum americanum*, *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan* and uncultivated - fallow) and two systems of tillage (no-tillage and conventional tillage), and the last one subdivided with corn (*Zea mays* L.), soybean (*Glycine Max* (L.) Merrill) and cotton (*Gossypium hirsutum* L.) crops. Was evaluated: macroporosity, microporosity, total porosity, bulk density and penetration resistance, in the following dept: 0.00-0.10; 0.10-0.20 e 0.20-0.40m. According to results, the cover plants do not influence physical properties of soil; no-tillage is affecting to best physical properties of soil in the surface layer; *Glycine max* used in culture successions proper best physical conditions in soil surface; the corn in the succession was the most promiser for recuperation of physical properties in soil dept.

Key words: cover plant, no-tillage, conventional tillage, culture succession.

Introdução

A busca por elevada produtividade e melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo faz com que sejam necessários estudos que avaliem diferentes sistema de manejo. A rápida degradação do solo sob exploração agrícola no mundo, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento, despertou, nas últimas décadas, a preocupação com a qualidade do solo e a

sustentabilidade da exploração agrícola (Lal e Pirce, 1991). Desde então, vários conceitos de qualidade do solo foram propostos. Dentre esses, Doran e Parkin (1994) definem a qualidade do solo como sendo a sua capacidade em manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a vida vegetal e animal saudável na face da terra.

O comportamento das plantas, segundo Alves (1992), quer seja daquelas pertencentes à vegetação natural ou as referentes aos ecossistemas agrícolas,

depende de uma série de fatores diretos como: temperatura, precipitação e solo. Analisando o solo, temos aqueles elementos que, em combinação, definem diretamente o crescimento das plantas, que são os fatores físicos de crescimento das plantas: potencial de água no solo, aeração, temperatura do solo e resistência à penetração de raízes. Esses fatores físicos de crescimento das plantas são influenciados por outras características físicas, tais como: a textura, superfície específica, densidade do solo, estrutura e consistência.

Dentre as técnicas modernas adotadas para o sucesso da agricultura, a mecanização intensa tem sido uma constante. Entretanto, muitas vezes a produtividade é comprometida pelo excesso ou pela inadequação de práticas a que o solo é submetido, desde o seu preparo até a colheita da cultura que nele se estabeleceu. Embora o objetivo do preparo do solo seja alterar algumas de suas propriedades físicas, conferindo-lhes novas condições que favoreçam o crescimento e desenvolvimento das plantas, via de regra tem proporcionado deterioração dessas propriedades (Centurion e Demattê, 1992).

Os diferentes sistemas de manejo do solo têm a finalidade de criar condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas. Todavia, o desrespeito às condições mais favoráveis (solo úmido - consistência friável) para o preparo do solo e o uso de máquinas cada vez maiores e pesadas para essas operações podem levar a modificações da sua estrutura, causando-lhe maior ou menor compactação, que poderá interferir na densidade do solo, na porosidade, na infiltração de água e no desenvolvimento radicular das culturas, e, conseqüentemente, reduzir sua produtividade (De Maria *et al.*, 1999).

Avaliando as características morfométricas da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo Câmbico textura argilosa, cultivado por 10 anos, Schaefer *et al.* (2001) observaram que houve descontinuidade na macroporosidade na superfície do solo nos sistemas que envolveram o uso de grade pesada, notadamente entre 3-5cm de profundidade; a semeadura direta proporcionou melhor conexão entre os macroporos que os tratamentos em que houve uso de grade pesada, o que demonstra a melhor percolação de água até os 15cm de profundidade.

Oliveira *et al.* (2002) em um Latossolo Vermelho argiloso típico de Planaltina - DF, em parcelas experimentais mantidas durante 20 anos manejadas com arado de discos ou plantio direto, observaram que o plantio direto reduz a macroporosidade na profundidade de 0 a 0,05m, porém apresenta a maior

disponibilidade de água em relação ao sistema de preparo com arado de discos. Por outro lado, na profundidade de 0,20 a 0,30m o sistema convencional condicionou uma redução na macroporosidade, sem ganhos em termos de disponibilidade de água para as plantas. Essas alterações que desfavorecem o desenvolvimento do sistema radicular das plantas significam que o solo está degradado. A definição da degradação do solo está associada à própria definição de qualidade do solo, ou seja, à medida que as características determinantes da qualidade de um solo são alteradas negativamente, estabelece-se um processo de degradação (Alves, 2001).

Na recuperação de um solo degradado, a adição e balanço de matéria orgânica é fundamental, pois a melhoria e manutenção das condições físicas internas e externas do solo só poderá ser alcançada e mantida via biológica, isto é, através da ação de raízes, da atividade macro e microbiológica e da decomposição do material orgânico (Alves, 1992).

De modo mais genérico, no entanto, pode-se afirmar que micro, meso e macrofauna exercem influência direta ou indireta na agregação, por meio das ações de ingestão, decomposição e excreção de materiais de solo, constituídos por misturas variadas de compostos orgânicos e inorgânicos (Assad, 1997).

Larson e Pirce (1994), citados por Mielniczuk (1999), propuseram um conjunto mínimo de variáveis químicas, físicas e biológicas, que acompanhadas ao longo do tempo são capazes de detectar as alterações da qualidade do solo em função do manejo. O carbono total ou a matéria orgânica do solo encontram-se entre essas variáveis, sendo considerado o indicador chave da qualidade do solo, pois se trata de fonte de alimentação dos organismos do solo.

Em sistemas intensivos de uso do solo é necessário, portanto, definir tecnologias adequadas para que se possa manter a sua sustentabilidade. Nesse sentido, foi desenvolvido este trabalho com o objetivo de avaliar a influência de dois sistemas de preparo do solo, associados ao uso de plantas de cobertura em três sucessões de culturas, na recuperação de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho do cerrado do Mato Grosso do Sul.

Material e métodos

O trabalho foi conduzido na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp, localizada no município de Selvíria, Estado do Mato Grosso do Sul, apresentando como coordenadas geográficas 51° 22' de longitude Oeste de Greenwich e 20° 22' de

latitude Sul, com altitude de 335 metros. O solo da área em estudo na nomenclatura atual do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos é Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso, A moderado, hipodistrófico, álico, caulínítico, férrico, compactado, muito profundo, moderadamente ácido - LVd (Embrapa, 1999). A precipitação e a temperatura média anual são de 1370mm e 23,5°C, respectivamente, e a umidade relativa do ar varia entre 70 e 80%, média anual.

A pesquisa iniciou-se em 1997/1998 com as culturas de verão: milho (*Zea mays* L.), soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) algodão (*Gossypium hirsutum* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no inverno. No ano agrícola 1998/1999 repetiram-se as culturas. No ano agrícola 1999/2000, utilizou-se soja, milho e milho como culturas de verão e feijão no inverno, e no ano agrícola 2000/2001 repetiram-se as culturas do ano agrícola 1999/2000. No ano agrícola 2001/2002 utilizaram-se como culturas de verão milho, soja e soja e feijão no inverno, semeado em toda a área experimental. A avaliação do trabalho foi realizada no ano de 2002.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, no esquema em faixas com parcelas subsubdivididas, com 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de 4 plantas de cobertura + área de pousio, 2 sistemas de semeadura e 3 sucessões de culturas. As parcelas foram constituídas por 4 plantas de cobertura: mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e guandu (*Cajanus cajan*) e área de vegetação espontânea (pousio). As subparcelas foram constituídas pelos sistemas de plantio direto e convencional (preparo do solo com grade aradora e grade niveladora) e as subsubparcelas pelas culturas de verão milho, soja e algodão. Cada subsubparcela teve a dimensão de 7m de largura por 6m de comprimento e estavam espaçadas uma das outras por uma distância de 7m.

Dia 24/05/2002 foi feita a coleta de amostras com anel volumétrico. As amostras com estrutura natural foram coletadas nas entrelinhas das plantas, para determinação de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo. Foram coletadas amostras de solo em 3 profundidades: 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40m. Foi determinada a microporosidade pelo método da mesa de tensão, a macroporosidade foi determinada subtraindo-se a microporosidade da percentagem de saturação, a porosidade total foi obtida pela soma da microporosidade e macroporosidade e a densidade do solo pelo método do anel volumétrico, ambos descritos em Embrapa (1997).

Foi avaliada a resistência à penetração utilizando-se o penetrógrafo Penetrographer^{pat} SC-60, nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40m. O penetrógrafo possui ponta cônica e a força aplicada para penetração no solo é feita manualmente. De acordo com a resistência à penetração do solo, é fornecido um gráfico com os valores de resistência em kPa e a respectiva profundidade do solo em centímetros. A umidade do solo à base de massa foi avaliada nas mesmas profundidades e no mesmo dia do teste de resistência à penetração. Para determinação da umidade, foi pesada uma amostra de solo com estrutura deformada e transferiu-se para estufa a 105-110°C, na qual foi deixada nessa condição durante 24 horas, e após esse período foi pesada a amostra de solo e obtida a umidade à base de massa, dividindo a massa de água da amostra pelo peso da amostra de solo após a estufa (Embrapa, 1997).

Os dados foram analisados através da análise de variância e teste de Tukey, para comparação de médias ao nível de 5% de significância, sendo utilizado o programa computacional SAS (1990).

Resultados e discussão

Analisando as Tabelas 1 e 2, verifica-se que não houve diferença estatística para resistência à penetração entre as plantas de cobertura e entre as sucessões de culturas para todas as profundidades estudadas. Isso significa que as plantas de cobertura, assim como as sucessões de culturas, estão interagindo de forma semelhante no sistema de manejo do solo. Observa-se que os resultados encontrados para a camada de 0,00-0,10m são considerados baixos, significando pouca limitação ao crescimento radicular. Porém, nas camadas de 0,10-0,20m e 0,20-0,40m os valores já são médios, com algumas limitações ao crescimento das raízes, de acordo com Canarache (1990). Para Tormena e Roloff (1996), a resistência à penetração acima de 2,00 MPa é considerada impeditiva para o crescimento das raízes no solo, portanto apenas na camada de 0,00-0,10m não haveria problemas.

Tabela 1. Valores médios de resistência à penetração do solo, obtidos nos tratamentos estudados.

Planta de cobertura	Resistência à penetração do solo		
	0,00-0,10m	0,10-0,20m	0,20-0,40m
	-----MPa-----		
Crotalária	1,94 A	4,16 A	4,13 A
Pousio	1,85 A	4,90 A	4,34 A
Guandu	1,78 A	4,20 A	4,04 A
Mucuna	1,75 A	4,56 A	4,08 A
Milheto	1,72 A	4,31 A	3,99 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 2. Valores médios de resistência à penetração do solo, obtidos nas sucessões de culturas estudadas.

Sucessão de culturas	Resistência à penetração do solo		
	0,00-0,10m	0,10-0,20m	0,20-0,40m
	----- MPa -----		
Soja	1,95 A	4,31 A	4,00 A
Algodão	1,79 A	4,66 A	4,32 A
Milho	1,69 A	4,32 A	4,03 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Para a profundidade de 0,00-0,10m (Tabela 3), nota-se uma maior resistência à penetração para a área de plantio direto, fato explicado pelo não revolvimento do solo e pelo tráfego de máquinas na área. No plantio convencional, o preparo do solo favoreceu uma menor resistência à penetração, pelo fato de o solo estar revolvido nessa profundidade. Verificou-se, porém, para o plantio convencional, maior resistência à penetração na profundidade de 0,10-0,20m e 0,20-0,40m (Tabela 3) em relação ao plantio direto, devido ao “pé-de-grade” no plantio convencional, causado pelo trabalho do implemento de preparo do solo a uma mesma profundidade e a uma umidade inadequada. Centurion (1988) também verificou pelos valores de resistência à penetração, que houve tendência de formação de uma camada compactada. Resultados semelhantes também foram verificados por Souza (2000).

Tabela 3. Valores médios de resistência à penetração do solo, obtidos nos preparos de solo estudados.

Preparo de solo	Resistência à penetração do solo		
	0,00-0,10m	0,10-0,20m	0,20-0,40m
	----- MPa -----		
Plantio direto	2,74 A	3,21 B	3,07 B
Plantio convencional	0,88 B	5,65 A	5,16 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

No sistema de plantio convencional nas profundidades de 0,10-0,20m e 0,20-0,40m (Tabela 3), a resistência à penetração foi alta, caracterizando sérias limitações ao crescimento das raízes (Canarache, 1990).

Analisando o desdobramento da interação entre planta de cobertura e sucessão de culturas (Tabela 4) para resistência à penetração na profundidade de 0,00-0,10m, verifica-se que dentro de cada sucessão de cultura não houve diferença estatística, e dentro de cada planta de cobertura, para o guandu e algodão e soja na sucessão de culturas, eles obtiveram maior resistência em relação ao milho. Para mucuna como planta de cobertura e soja na sucessão de culturas, a resistência foi maior em relação às outras sucessões. Os demais tratamentos não diferiram entre si.

Tabela 4. Desdobramento da interação entre planta de cobertura e sucessão de culturas, para resistência à penetração do solo na profundidade de 0,00-0,10m.

Planta de cobertura	Sucessão de culturas		
	Milho	Soja	Algodão
	----- MPa -----		
Guandu	1,23 A b	1,96 Aa	2,15 Aa
Crotalária	1,99 Aa	1,70 Aa	2,13 Aa
Mucuna	1,91 Aab	2,04 Aa	1,31 A b
Milheto	1,71 Aa	1,76 Aa	1,69 Aa
Pousio	1,60 Aa	2,28 Aa	1,69 Aa

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Não houve diferença estatística da umidade do solo para as plantas de cobertura e profundidades estudadas (Tabela 5), bem como para resistência à penetração nas plantas de cobertura.

Tabela 5. Valores de umidade do solo obtidos no momento da avaliação da resistência à penetração do solo para as plantas de cobertura, nas profundidades estudadas. Média de 4 repetições.

Planta de cobertura	Profundidade (m)		
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
	----- m ³ m ⁻³ -----		
Guandu	0,161 A	0,156 A	0,197 A
Crotalária	0,161 A	0,163 A	0,179 A
Mucuna	0,161 A	0,162 A	0,183 A
Milheto	0,166 A	0,162 A	0,180 A
Pousio	0,159 A	0,177 A	0,233 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

De acordo com a Tabela 6, houve variação de umidade do solo nos preparos em estudo apenas na profundidade de 0,00-0,10m. Embora tenha ocorrido essa diferença, é possível que a umidade não tenha influenciado a diferença de resistência à penetração entre os preparos, pois nas profundidades inferiores não houve diferença estatística para umidade, mas ocorreu diferença na resistência.

Tabela 6. Valores de umidade do solo obtidos no momento da avaliação da resistência à penetração do solo para os preparos do solo, nas profundidades estudadas. Média de 4 repetições.

Preparo do solo	Profundidade (m)		
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
	----- m ³ m ⁻³ -----		
Plantio direto	0,167 A	0,172 A	0,208 A
Plantio convencional	0,156 B	0,155 A	0,181 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Analisando a Tabela 7, houve diferença estatística de umidade do solo nas sucessões de culturas em estudo nas profundidades de 0,00-0,10 e 0,20-0,40m. Embora tenha ocorrido diferença, possivelmente a umidade a esses valores não tenha influenciado diretamente a resistência à penetração entre as sucessões, pois não houve diferença estatística para resistência à penetração nas sucessões em estudo.

Tabela 7. Valores de umidade do solo obtidos no momento da avaliação da resistência à penetração do solo para a sucessão de culturas, nas profundidades estudadas. Média de 4 repetições.

Sucessão de culturas	Profundidade (m)		
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
	----- m ³ m ⁻³ -----		
Milho	0,160 AB	0,162 A	0,184 AB
Soja	0,159 B	0,169 A	0,226 A
Algodão	0,166 A	0,160 A	0,174 B

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A Tabela 8 mostra que entre as plantas de cobertura não houve diferença estatística para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo em todas as profundidades em estudo. Carvalho (2000) e Almeida (2001), na mesma área experimental, também verificaram que, para densidade do solo e porosidade, as plantas de cobertura foram semelhantes estatisticamente. Verificou-se, porém, que os menores valores de macroporosidade ocorreram na profundidade de 0,10-0,20m, fato atribuído ao “pé-de-grade” causado pelo implemento de preparo do solo.

Tabela 8. Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, obtidos nos tratamentos estudados.

Plantas de cobertura	Profundidade (m)		
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
	Macroporosidade do solo (m ³ m ⁻³)		
Guandu	0,089 A	0,070 A	0,116 A
Crotalária	0,107 A	0,075 A	0,109 A
Mucuna	0,110 A	0,071 A	0,114 A
Milheto	0,105 A	0,070 A	0,106 A
Pousio	0,101 A	0,073 A	0,118 A
	Microporosidade do solo (m ³ m ⁻³)		
Guandu	0,311 A	0,315 A	0,332 A
Crotalária	0,308 A	0,315 A	0,335 A
Mucuna	0,308 A	0,315 A	0,339 A
Milheto	0,313 A	0,318 A	0,340 A
Pousio	0,309 A	0,313 A	0,337 A
	Porosidade total do solo (m ³ m ⁻³)		
Guandu	0,401 A	0,385 A	0,448 A
Crotalária	0,413 A	0,388 A	0,444 A
Mucuna	0,417 A	0,386 A	0,455 A
Milheto	0,416 A	0,387 A	0,445 A
Pousio	0,409 A	0,386 A	0,455 A
	Densidade do solo (kg dm ⁻³)		
Guandu	1,55 A	1,59 A	1,40 A
Crotalária	1,52 A	1,58 A	1,41 A
Mucuna	1,51 A	1,60 A	1,38 A
Milheto	1,51 A	1,60 A	1,40 A
Pousio	1,52 A	1,61 A	1,37 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

De forma geral, os valores de macroporosidade estão na camada superficial e de 0,20-0,40m próximos ao limite crítico para bom desenvolvimento das plantas que é de 0,10m³ m⁻³ (Baver *et al.*, 1972). Isso reafirma que para a camada

de 0,10-0,20m existe camada compactada e que o manejo adotado ainda não contribuiu para a recuperação da estrutura do solo.

Com a degradação da estrutura em áreas cultivadas, segundo Boller (1996), há uma alteração da relação massa/volume dos componentes do solo em função da diminuição da porosidade total e macroporosidade. Isso ocorre principalmente na base da camada arável, resultando no surgimento de uma camada compacta. Essa camada se forma mais rapidamente no solo com uso excessivo do equipamento de cultivo em uma profundidade constante de aração e preparo com um percentual de umidade excessivo.

Na profundidade de 0,00-0,10m, a soja utilizada na sucessão de culturas proporcionou maior valor de macroporosidade (Tabela 9), seguida pelo milho e algodão, que não diferiram entre si. O comportamento da soja provavelmente está relacionado à morfologia de seu sistema radicular. Na profundidade de 0,10-0,20m, a área que utilizou milho no primeiro ano proporcionou maior valor de macroporosidade, e a soja e o algodão não diferiram entre si. Na profundidade de 0,20-0,40m o milho revelou maior macroporosidade, seguido pela soja e algodão. Verifica-se que para todas as sucessões, os menores valores de macroporosidade situam-se na camada de 0,10-0,20m do solo, e os maiores valores, com exceção da soja, estão na profundidade de 0,20-0,40m.

Tabela 9. Valores médios de macroporosidade do solo, obtidos nas sucessões de culturas estudadas.

Sucessão de cultura	Macroporosidade do solo		
	0,00-0,10m	0,10-0,20m	0,20-0,40m
	----- m ³ m ⁻³ -----		
Milho	0,098 B	0,082 A	0,127 A
Soja	0,126 A	0,066 B	0,113 AB
Algodão	0,083 B	0,068 B	0,098 B

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Com exceção da profundidade de 0,10-0,20m para todos os tratamentos estudados e do algodão na profundidade de 0,00-0,10m, os valores de macroporosidade encontram-se na faixa considerada ideal (0,10 a 0,16m³ m⁻³) por Baver *et al.* (1972) e Kiehl (1979) para que haja um bom desenvolvimento das plantas. De acordo com Hillel (1998), a faixa de espaço aéreo que se torna limitante à respiração radicular e conseqüentemente ao crescimento da planta encontra-se entre 5 e 20%, sendo 10% a média.

Na Tabela 10 verifica-se que não houve diferença estatística para a macroporosidade entre os sistemas de preparo do solo nas 3 profundidades

estudadas. Esses resultados são concordantes com Almeida (2001) que verificou valores de macroporosidade de 0,09, 0,09 e $0,15\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ no plantio direto para as profundidades de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40m, e no plantio convencional, para as mesmas profundidades, verificou valores de 0,19, 0,07 e $0,13\text{m}^3\text{ m}^{-3}$. Carvalho (2000), em anos anteriores aos de Almeida (2001), verificou valores de macroporosidade de 0,07, 0,07, $0,12\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ para plantio direto nas profundidades de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40m e 0,15, 0,07 e $0,12\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ para plantio convencional. Comparando os resultados obtidos neste experimento com os obtidos por Almeida (2001) nota-se, no plantio direto um aumento da macroporosidade na profundidade de 0,00-0,10m e uma diminuição nas demais profundidades. No plantio convencional houve uma diminuição da macroporosidade nas profundidades de 0,00-0,10 e 0,20-0,40m.

Tabela 10. Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, obtidos nos preparos de solo estudados.

Preparo de solo	Profundidade (m)		
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Macroporosidade do solo ($\text{m}^3\text{ m}^{-3}$)			
Plantio direto	0,101 A	0,075 A	0,120 A
Plantio convencional	0,104 A	0,069 A	0,106 A
Microporosidade do solo ($\text{m}^3\text{ m}^{-3}$)			
Plantio direto	0,308 A	0,311 B	0,328 B
Plantio convencional	0,311 A	0,320 A	0,345 A
Porosidade total do solo ($\text{m}^3\text{ m}^{-3}$)			
Plantio direto	0,409 A	0,385 A	0,448 A
Plantio convencional	0,414 A	0,389 A	0,451 A
Densidade do solo (kg dm^{-3})			
Plantio direto	1,54 A	1,60 A	1,41 A
Plantio convencional	1,50 A	1,59 A	1,38 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A microporosidade (Tabela 10) entre os preparos de solo foi maior no plantio convencional para as profundidades de 0,10-0,20 e 0,20-0,40m, e na profundidade de 0,00-0,10 m não houve diferença entre os preparos. Ocorre um aumento da microporosidade à medida que se aumenta a profundidade do solo, comportamento esperado pois com a profundidade ocorre aumento da densidade do solo. Foi verificado por Almeida (2001), para as mesmas profundidades em estudo nesta pesquisa, valor de microporosidade de $0,30\text{m}^3\text{ m}^{-3}$, para todas as profundidades, no sistema de plantio direto, e no plantio convencional encontrou valores de 0,28, 0,31 e $0,33\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ para as profundidade de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40m, respectivamente. Carvalho (2000), nesta mesma área do presente estudo, em anos anteriores a Almeida (2001), verificou valores

de microporosidade superiores aos obtidos neste experimento no plantio direto. Souza (2000) verificou valores maiores de microporosidade nos dois anos de pesquisa (1998/1999), comparado aos obtidos neste trabalho.

Para a porosidade total e densidade do solo (Tabela 10) não houve diferença entre os sistemas de preparo e profundidade estudadas. Resultados concordantes com Carvalho (2000) e Almeida (2001).

Para as sucessões de culturas, verificou-se que a microporosidade (Tabela 11) foi maior no algodão, em todas as profundidades, enquanto que o milho e a soja não diferiram estatisticamente entre si. Analisando o desdobramento da interação preparo do solo x sucessão de culturas (Tabela 12) para microporosidade, nota-se que entre as sucessões de culturas nos preparos do solo, a única diferença estatística foi para a soja, na qual o plantio convencional proporcionou o maior valor. Analisando as sucessões de culturas em cada preparo do solo, verificou-se que no plantio direto o menor valor foi proporcionado pela soja e as demais não diferiram entre si, e no plantio convencional não houve diferença estatística entre as sucessões. Esses resultados estão coerentes com o da macroporosidade, pois na sucessão com soja encontrou-se maior macroporosidade, reforçando a eficiência do sistema radicular na estruturação do solo.

Tabela 11. Valores médios de microporosidade do solo, obtidos nas sucessões de culturas estudadas.

Sucessão de cultura	Microporosidade do solo		
	0,00-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
----- $\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ -----			
Milho	0,308 B	0,314 A	0,330 B
Soja	0,301 B	0,313 A	0,330 B
Algodão	0,319 A	0,319 A	0,350 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 12. Desdobramento da interação entre preparo de solo e sucessão de cultura para microporosidade do solo, na profundidade de 0,00-0,10m.

Preparo de solo	Sucessão de cultura		
	Milho	Soja	Algodão
----- $\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ -----			
Plantio direto	0,310 Aa	0,292 B b	0,322 Aa
Plantio convencional	0,306 Aa	0,311 A a	0,316 Aa

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Verifica-se na Tabela 13 que, na profundidade de 0,00-0,10m, a área com soja proporcionou maior volume de porosidade total, diferindo do milho e algodão, que não diferiram entre si. Na

profundidade de 0,10-0,20m o milho obteve maior porosidade total, seguido pelo algodão e soja, na qual diferiu do milho. Para a profundidade de 0,20-0,40m não houve diferença entre as sucessões de culturas. Os resultados encontrados mais uma vez corroboram com os demais (macroporosidade e microporosidade).

Tabela 13. Valores médios de porosidade total do solo, obtidos nas sucessões de culturas estudadas.

Sucessão de cultura	Porosidade total do solo		
	0,00-0,10m	0,10-0,20m	0,20-0,40m
	----- m ³ m ⁻³ -----		
Milho	0,405 B	0,395 A	0,458 A
Soja	0,428 A	0,378 B	0,444 A
Algodão	0,402 B	0,386 AB	0,447 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Analisando a Tabela 14, que consta do desdobramento da interação preparo do solo e sucessão de culturas, nota-se que, para cada sucessão de cultura nos preparos do solo, a única diferença estatística foi para a soja, na qual o plantio convencional proporcionou maior porosidade total. Para as sucessões de culturas em cada preparo do solo, no plantio direto, a soja obteve o menor valor de porosidade total, diferindo das demais sucessões de culturas. No plantio convencional, o milho obteve o maior valor, diferindo do algodão.

Tabela 14. Desdobramento da interação entre preparo do solo e sucessão de cultura para a porosidade total do solo, na profundidade de 0,10-0,20m.

Preparo de solo	Sucessão de cultura		
	Milho	Soja	Algodão
	----- m ³ m ⁻³ -----		
Plantio direto	0,390 Aa	0,371 B b	0,393 Aa
Plantio convencional	0,400 Aa	0,386 A ab	0,380 A b

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Analisando a densidade do solo entre as sucessões de culturas (Tabela 15), verificou-se que na profundidade de 0,00-0,10m a menor densidade foi obtida pela soja, que proporcionou melhores condições físicas ao solo na superfície, e os demais tratamentos não diferiram entre si. Na profundidade de 0,10-0,20m não houve diferença entre as sucessões de culturas, e na profundidade de 0,20-0,40m o algodão obteve a maior densidade do solo, diferindo do milho. De modo geral, os maiores valores de densidade do solo foram encontrados na profundidade de 0,10-0,20m, que possui os menores valores de macroporosidade e porosidade total, e os menores valores de densidade do solo foram observados na profundidade de 0,20-0,40m, na qual se encontram os maiores valores de microporosidade e porosidade total.

Tabela 15. Valores médios de densidade do solo, obtidos nas sucessões de culturas estudadas.

Sucessões de culturas	Densidade do solo		
	0,00-0,10m	0,10-0,20m	0,20-0,40m
	----- kg dm ⁻³ -----		
Milho	1,53 A	1,59 A	1,36 B
Soja	1,47 B	1,60 A	1,40 AB
Algodão	1,56 A	1,60 A	1,42 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Em condições naturais, o solo estudado apresenta densidade do solo de 1,16; 1,31 e 1,25kg dm⁻³, respectivamente para as profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40m, portanto, atualmente encontra-se com sua estrutura degradada. Na camada superficial (0,00-0,10m), a sucessão com soja é a que está promovendo melhorias na estruturação do solo. Em profundidade, nota-se que o milho está sendo mais promissor na recuperação das propriedades físicas do solo, porém esse fato ainda não detectado estatisticamente.

Conclusão

As plantas de cobertura não apresentaram diferenças quanto à atuação na recuperação das propriedades físicas do solo.

O plantio direto está sendo mais promissor na recuperação das propriedades físicas do solo na sua camada superficial.

A soja na sucessão de culturas proporcionou melhores condições físicas na camada superficial do solo.

O milho na sucessão de culturas está sendo mais promissor para melhorar as condições físicas do solo em profundidade.

Referências

- ALMEIDA, V. P. *Sucessão de culturas em preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho sob vegetação de cerrado*. 2001. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.
- ALVES, M. C. *Sistemas de rotação de culturas com plantio direto em Latossolo Roxo: efeito nas propriedades físicas e químicas*. 1992. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.
- ALVES, M. C. *Recuperação do subsolo de um Latossolo Vermelho usado para terrapleno e fundação da usina hidrelétrica de Ilha Solteira - SP*. 2001. Tese (Livre Docência em Solos) - Faculdade de Engenharia - Câmpus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.
- ASSAD, M. L. L. Fauna do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina: Embrapa, 1997.

- BAVER, L. D. *et al.* *Soil physics*. 4.ed. New York: John Wiley, 1972. 498p.
- BOLLER, W. *Avaliação de diferentes sistemas de manejo do solo visando à implantação da cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L.)*. 1996. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.
- CANARACHE, A. PENETR - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. *Soil Till. Res.*, Amsterdam, v.16, p.51-70, 1990.
- CARVALHO, M. A. C. *Adução verde e sucessão de culturas em semeadura direta e convencional em Selvíria-MS*. 2000. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.
- CENTURION, J. F. *Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas de um solo argiloso sob cerrado e na cultura de milho implantada*. 1988. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.
- CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Sistemas de preparo de solos de cerrado: efeitos nas propriedades físicas e na cultura do milho. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.27, n.2, p. 315-324, 1992.
- DE MARIA, I. C. *et al.* Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, n.3, p. 703-709, 1999.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. *et al.* *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of American, 1994. p.3-21 (SSSA Special Publication, 35).
- EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço nacional de levantamento e conservação dos solos. *Manual de métodos de análises de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1997. 212p.
- EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro: Embrapa/Cnpso, 1999. 412p.
- HILLEL, D. *Fundamentals of soil physics*. London: Academic press, 1998.
- KIEHL, E. J. *Manual de edafologia: relação solo-água-planta*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.
- LAL, R.; PIRCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIRCE, F. J. (Ed.). *Soil management for sustainability*. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1991. p.1-5.
- MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. de O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo*. Porto Alegre: *Ecosystems Tropicales & Subtropicales*. 1999. p.1-8.
- OLIVEIRA, G. C. *et al.* Distribuição de poros e retenção de água em um Latossolo Vermelho argiloso sob experimentos de uso e manejo de longa duração. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002, Cuiabá. *Anais...* Cuiabá: SBCS, 2002. (CD-ROM)
- SAS INSTITUTE. *SAS/STAT User's Guide: version 6*. 4. ed. Cary: NC; SAS Institute Inc., 1990.
- SCHAEFER, C. E. G. R. *et al.* Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v.25, n.3, p.765-769, 2001. (Nota)
- SOUZA, Z. M. *Propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro de Selvíria (MS) sob diferentes usos e manejos*. 2000. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.20, n.2, p.333-339, 1996.

Received on March 07, 2003.

Accepted on November 20, 2003.