

Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes USOS¹

Physical attributes of an Oxissol submitted to different uses

Sammy Sidney Rocha Matias^{2*}, José Adalberto Borba³, Marcelo Ticelli⁴, Alan Rodrigo Panosso⁵ e Felipe Thomaz da Camara⁶

Resumo - O cultivo do solo acarreta modificações nos atributos físicos, dependendo da intensidade do preparo e manejo. O objetivo do trabalho foi avaliar o grau de modificação de algumas propriedades físicas do solo e o índice S, comparando áreas de pastagem de capim Tanzânia (*Panicum maximum*) e mata nativa com área cultivada com milho (*Zea mays* L.), sob pivô central. O estudo foi conduzido em três áreas pertencentes à Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Regional Alta Mogiana, localizada no município de Colina, SP. O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas, em esquema fatorial 3 x 3, com 4 repetições, em que as parcelas foram instaladas em áreas de cultivo de milho, pastagem e mata nativa, nas profundidades 0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,3 m. Os atributos físicos do solo estudados foram: resistência à penetração (RP), densidade do solo (Ds), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro), volume total de poros (VTP) e retenção de água no solo. A mata nativa apresentou as melhores condições físicas do solo em todos os parâmetros analisados. O uso do solo com pastagem e milho alteraram a estrutura física deste, evidenciado pelo aumento na resistência à penetração e densidade do solo, com redução na macroporosidade. O nível de degradação dos solos manejados foi considerado baixo, pelo índice S (<0,035). A substituição de pastagem pela cultura do milho em sistema de preparo do solo convencional proporcionou uma ligeira melhora nas características físicas do solo.

Palavras-chave - Degradação do solo. Porosidade do solo. Pastagem. Latossolos. Solos compactados.

Abstract - The cultivation of the soil causes changes in physical attributes, depending on the intensity of preparation and management. The objective of this work was to evaluate the degree of modification of some physical properties of soil and the S index, comparing areas of pasture of grass Tanzania (*Panicum maximum*) and native forest with an area under maize (*Zea mays* L.) irrigated bay, a central pivot. The study was conducted in three areas within the Agency of Technology Agribusiness Paulista (APTA) Regional High Mogiana, located in Colina, SP. The experimental design was split plot in a factorial 3 x 3, with 4 replications, where the plots were installed in areas of cultivation of corn, pasture and forest in the depths 0-0.1 m, 0.1-0.2 m 0.2-0.3 m. The physical attributes of soil were: resistance to penetration (RP), bulk density (Ds), microporosity (Micro), macroporosity (Macro), total volume of pores (VTP) and water retention in soil. The native forest had the best physical condition of soil in all parameters examined. The use of land and pasture with corn altered the physical structure of it, evidenced by the increase in penetration resistance and soil density and, reduction in macroporosity. The level of degradation of the managed soil was considered low, index S (<0035). The replacement of pasture by the corn crop in the soil tillage system provided a conventional mild improvement in soil physical characteristics.

Key words - Soil degradation. Soil porosity. Pasture. Oxissol. Soil compacted.

*Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 06/05/2008; aprovado em 07/05/2009

Extraído de um trabalho realizado em parceria com o APTA/SAA, SP, no pólo de Colina-SP

²Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal), FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil, Rua: Três, 11, Nova Corrente, 64980-000, Corrente-PI, Brasil, ymmsa2001@yahoo.com.br

³Programa de Pós-graduação em Agronomia (Solos e Adubos), FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP, Brasil, borbaga@yahoo.com.br

⁴Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal), FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP, Brasil, mticelli@apta.sp.gov.br

⁵Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal), FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP, Brasil, arpanosso@yahoo.com.br

⁶Universidade Federal do Ceará, Campus do Cariri, Juazeiro do Norte-CE, Brasil, felipe.camara@cariri.ufc.br

Introdução

O cultivo do solo acarreta modificações nos atributos físicos, dependendo da intensidade de preparo e manejo do solo. A degradação da estrutura do solo, decorrente da compactação, provoca efeitos negativos nas propriedades físicas, químicas e biológicas, com prejuízos ao desenvolvimento da planta e à produção de alimentos (BEUTLER et al., 2006; SECCO et al., 2004; SILVA et al., 2006). O processo de compactação resulta na diminuição dos espaços porosos entre os agregados e ruptura destes, diminuindo o volume de poros, aumentando a densidade e resistência do solo à penetração das raízes (AZEVEDO et al., 2007; CORSINI; FERRAUDO, 1999; KLEIN; LIBARDI, 2002; SOUZA; ALVES, 2003). A qualidade física de um solo é função de suas propriedades estruturais e hídricas. A estrutura é fundamental na caracterização do comportamento hidráulico dos macroporos, e a textura nas características hidráulicas controladas pelos microporos (LIN et al., 1999). A compactação dos solos cultivados está relacionada com o tráfego de máquinas e implementos (CAVENAGE et al., 1999), com a redução dos teores de matéria orgânica e com menor estabilidade da estrutura do solo (DALAL; CHAN, 2001).

O manejo e uso do solo em pastagem alteram a resistência do solo à penetração em virtude do pisoteio animal durante o pastejo (SOUZA; ALVES, 2003). Os bovinos exercem em média, uma pressão de 0,17 MPa por casco, podendo penetrar o solo cerca de 12 cm (COLLARES, 2005). Assim, o aumento da lotação provoca diminuição no rendimento das pastagens e está relacionado à umidade do solo durante o pastoreio, ao tipo de pastagem, bem como ao seu estado de desenvolvimento.

Áreas sob pivô central apresentam altos valores de densidade e resistência do solo à penetração, além de baixos valores para a macroporosidade, tanto em superfície quanto em sub-superfície. Isso decorre da otimização e intensificação do uso do solo e irrigação, cultivando até três safras por ano, geralmente não observando as condições ideais para manejo do solo (OLIVEIRA et al., 2007). Martins et al. (2002) avaliando os atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais, verificaram que a densidade do solo e resistência à penetração foram menores em mata nativa, enquanto que nas áreas cultivadas com pinus e eucalipto foram observados, na camada de 15 a 30 cm, maiores valores de resistência à penetração, devido ao preparo do solo.

A microporosidade do solo é fortemente influenciada pela textura e teor de carbono orgânico, e pouco influenciada pelo aumento da densidade do solo (SILVA; KAY, 1997). Em estudo comparativo das propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico, cultivado e sob mata nativa, Araujo et al. (2004) não verificaram diferenças

significativas na microporosidade. Portanto, a compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade física são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o grau de modificação de alguns atributos físicos e o índice S em uma área irrigada por pivô central e cultivada com milho, em um Latossolo Vermelho no município de Colina (SP), comparando-a com área de pasto com capim Tanzânia (*Panicum maximum*) e de mata nativa.

Material e métodos

O estudo foi realizado no Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios – APTA – Regional Alta Mogiana no município de Colina (SP). O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, argissólico, textura média, hipoférrico, muito profundo e relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006). As coordenadas geográficas da área experimental são 21°14'07'' de latitude Sul e 48°16'35'' de longitude Oeste. O clima da região é classificado, segundo Köepen, como Aw, definido como tropical de verão chuvoso e inverno seco, com temperatura média mensal variando de 19,4 a 24,8 °C durante o ano. A precipitação pluviométrica anual média é de 1.363 mm, com período de maior concentração de outubro a março e precipitações mais espaçadas e de menores intensidades de abril a setembro.

As áreas estudadas foram cultivadas com milho (*Zea mays* L.) e pasto (*Panicum maximum* cv. Capim Tanzânia) desde 2006 e 1997, respectivamente. A cultura do milho foi conduzida sob pivô central, abrangendo uma área de 15 ha, com preparo do solo convencional (2 gradagens pesadas e uma leve). A calagem foi feita no mês de abril de 2006 na dose de 6 t ha⁻¹. A variedade plantada foi a DAS 2B 710. Anteriormente ao cultivo do milho, a área era cultivada com Capim Tanzânia, para o pastoreio animal.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas, com três manejos, três profundidades e quatro repetições, totalizando 36 subparcelas. Os efeitos dos sistemas de uso e manejo sobre os atributos físicos, nas diferentes profundidades estudadas, foram verificados a partir da análise de variância e os resultados obtidos foram submetidos ao teste F ao nível de 1% e 5% e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As amostras de solo foram coletadas em março de 2007, nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m. Nas amostras deformadas, foram determinados os teores de matéria orgânica, multiplicando-se o teor de

carbono orgânico pelo fator 1,724. A análise química dos solos (Tabela 1) foi realizada segundo o método citado por Raij et al. (1987).

A composição granulométrica (Tabela 2) foi obtida pela dispersão com água e NaOH (0,1 mol L⁻¹), agitação lenta (16 horas), e a argila foi determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

As amostras indeformadas foram coletadas com auxílio de anéis volumétricos de 4,7 cm de diâmetro e 3 cm de altura. A retenção de água foi determinada, por secamento, nas tensões de 0,001; 0,006; 0,01; 0,033; 0,06 e 0,1 MPa, em câmaras de pressão de Richards com placa porosa (EMBRAPA, 1997). Para a determinação da resistência à penetração (RP), densidade do solo (Ds), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro) e volume total de poros (VTP), as amostras foram saturadas durante 24 h e pesadas obtendo-se assim a massa do solo saturado. Em seguida foram submetidas à tensão de 60 hPa e pesadas obtendo-se a massa do solo úmido. Após esse procedimento, as amostras foram levadas para estufa a 70 °C por 24 h e pesadas para obtenção da massa de solo seco.

A RP foi determinada após as amostras saírem da mesa de tensão (60 hPa), com duas subdeterminações por amostra, utilizando-se um penetrômetro eletrônico

estático de laboratório com velocidade constante de penetração de 0,01 m min⁻¹, registro de uma leitura por segundo, cone com semi-ângulo de 30° e área de 3,14 x 10⁻⁶ m², equipado com atuador linear de célula de carga de 20 kgf, acoplado a um microcomputador para aquisição dos dados, conforme descrito por Tormena et al. (1998) e Bengough et al. (2001). No momento da leitura da RP as amostras estavam com teor de água referente à tensão de 60 hPa. Foram utilizadas 120 leituras por subdeterminação correspondentes à camada central do cilindro e calculado o valor médio das 240 leituras, (duas subdeterminações) para representar a RP da amostra.

A microporosidade foi determinada por secagem em câmaras de pressão de Richards com placa porosa (KLUTE, 1986). Considerando-se ainda os dados de retenção de água ajustados foi obtida a porosidade total. Segundo Danielson e Sutherland (1986) a microporosidade corresponde à umidade de tensão 0,006 MPa. A macroporosidade foi obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

As curvas de retenção de água foram ajustadas com base no modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980) descrito a seguir:

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha * h)^n]^m \quad (1)$$

Tabela 1 - Análise química dos solos das áreas ocupadas com milho, mata nativa e pastagem

Área	pH (CaCl ₂)	M.O. g dm ⁻³	P (resina) mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	V
				mmol _c dm ⁻³					
Milho	4,7	18	5	2,7	10	4	31	47,7	35
Mata	5,6	18	10	1,9	23	18	22	64,9	66
Pastagem	5,3	16	6	4	18	12	22	56	61

Tabela 2 - Análise física dos solos das áreas ocupadas com milho, mata nativa e pastagem, nas três profundidades estudadas

Área	Profundidade (m)	Areia Total	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
		g kg ⁻¹				
Milho	0,0 - 0,1	770	306	464	60	170
	0,1 - 0,2	763	314	449	57	180
	0,2 - 0,3	747	307	440	53	200
Mata	0,0 - 0,1	768	335	433	50	182
	0,1-0,2	761	347	414	52	187
	0,2 - 0,3	753	340	413	54	193
Pastagem	0,0 - 0,1	764	333	431	68	168
	0,1 - 0,2	746	338	408	84	170
	0,2 - 0,3	764	321	443	51	185

em que,

θ - umidade do solo em volume ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

h - tensão (potencial mátrico) expressa em c.c.a.;

θ_r - umidade residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_s - umidade de saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), e

α , m e n - são as constantes empíricas.

A determinação dos índices de degradação física do solo (S) de cada profundidade em ambas as áreas foram obtidos a partir dos parâmetros (θ_s , θ_r , n e m) da Equação 1, de acordo com a equação proposta por Dexter (2004), descrita a seguir:

$$S = -n + (\theta_s - \theta_r) [1 + 1/m] - (1 + m) \quad (2)$$

Os valores de umidade empregados na Equação 2, diferentemente daqueles utilizados para ajuste da curva de retenção de água no solo na Equação 1, foram expressos em peso (kg kg^{-1}).

Resultados e discussão

Os resultados indicam que não houve diferença significativa ($F = 0,546$, $p = 0,5834$) dentro do tratamento mata nativa (MN), que apresentou a menor densidade do solo nas camadas de 0,0-0,3 m comparado com os demais tratamentos (Tabela 3). Entretanto, constataram-se

diferenças significativas entre os tratamentos nas camadas, sendo obtido o maior valor de densidade na camada de 0,0-0,1 m, no solo cultivado com milho (M). Isto deve ter ocorrido pelo fato das áreas terem sido, por muitos anos, cultivadas com pastagem (P). Possivelmente, a menor densidade encontrada na MN, nas camadas subsuperficiais, é explicada pela maior quantidade de matéria orgânica, menor teor de argila e ausência do tráfego de máquinas agrícolas, concordando com resultados obtidos por Silva e Kay (1997), Dalal e Chan (2001), Bertol et al. (2004), Lemos Filho et al. (2008).

A macroporosidade, ou a porosidade ocupada com ar no potencial de $-0,006$ MPa, é uma medida relacionada com a taxa de difusão de oxigênio no solo. Os resultados obtidos por Danielson e Sutherland (1986) em solos temperados indicam que a rápida drenagem do solo cessa em potenciais da ordem de $-0,005$ MPa e os poros drenados neste potencial determinam a capacidade de aeração dos solos. Utilizando o critério estabelecido por Danielson e Sutherland (1986) e os valores médios de macroporosidade obtidos neste estudo, constatou-se que a capacidade de aeração do solo na área cultivada é classificada como adequada para todos os tratamentos. De acordo com Oliveira et al. (2004) os Latossolos, por seu elevado grau de intemperismo, apresentam baixa fertilidade natural, contrastando com a elevada estabilidade dos agregados, decorrente da atuação dos óxidos de alumínio e ferro presentes na fração argila, baixa densidade do solo,

Tabela 3 - Volume de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo em três profundidades de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes manejos

Profundidade (m)	Macroporos		Microporos		Porosidade Total	Densidade Mg m^{-3}
	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$					
Milho						
0,0 - 0,1	10,50 aB	25,36 aB	35,86 bB	1,60 cB		
0,1 - 0,2	12,12 aB	25,65 aB	37,77 bB	1,55 bB		
0,2 - 0,3	18,38 bB	25,03 aB	43,41 aA	1,39 aA		
Mata Nativa						
0,0 - 0,1	20,38 aA	21,63 aA	42,01 aA	1,39 aA		
0,1 - 0,2	21,97 aA	20,03 aA	42,00 aA	1,39 aA		
0,2 - 0,3	24,02 aA	18,67 aA	42,70 aA	1,42 aA		
Pastagem						
0,0 - 0,1	12,78 aB	25,57 aB	38,35 aB	1,53 aB		
0,1 - 0,2	15,89 aB	24,42 aB	40,31 aB	1,51 aB		
0,2 - 0,3	14,87 aB	26,34 aB	41,20 aA	1,50 aB		

Médias seguidas da mesma letra no tratamento e entre, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas referem-se à comparação dentro do tratamento e as maiúsculas comparam médias entre profundidade na mesma coluna

alto volume de macroporos e alta friabilidade, o que favorece sobremaneira o seu manejo.

Observou-se, ainda, que houve diferença estatística apenas na camada de 0,2-0,3 m, que apresentou diferenças na macroporosidade em profundidade no tratamento com milho. A redução da macroporosidade nas áreas cultivadas, provavelmente, está relacionada com o tipo manejo, este resultado está de acordo com os obtidos por Oliveira et al. (2004). Em relação à microporosidade, observou-se aumento significativo nas áreas cultivadas em virtude do aumento da densidade do solo e diminuição da macroporosidade. Contudo, nas camadas subsuperficiais, verificou-se que a microporosidade foi mais sensível aos diferentes manejos. Segundo Carter (1986), a macroporosidade revela-se como um índice bastante útil na avaliação das modificações estruturais do solo, contudo, reflete mais a condição do solo no momento e local da amostragem do que uma condição final ou permanente.

A porosidade total foi menos sensível às modificações causadas pelo preparo do solo, tanto em profundidade como entre os diferentes tratamentos. Entretanto, verificou-se que a MN apresentou maior porosidade em todas as camadas do solo.

Em termos gerais, houve uma relação direta entre D_s , RP e Micro, e inversa entre a D_s e o volume de macroporos com as áreas estudadas.

As curvas de retenção foram obtidas através de equações ajustadas em função do manejo (Tabela 4). A amplitude da capacidade de retenção de água foi maior na camada de 0,0-0,1 m (Figura 1), independentemente do tratamento e profundidade. Ainda, verificou-se

maior retenção de água pela P em baixas tensões, seguida da M e MN. Com o aumento gradativo da tensão aplicada, o mesmo comportamento não pôde ser observado, já que a MN apresentou a maior retenção de água seguida da P e M. Na camada de 0,1-0,2 m, o M apresentou maior retenção de água com a elevação das tensões aplicadas, provavelmente, causada pela maior microporosidade, teor de argila e densidade do solo em relação aos tratamentos P e MN, concordando com Beutler et al. (2002) e Oliveira et al. (2004) (Figura 1).

Na camada de 0,2-0,3 m, o M apresentou a maior capacidade de retenção de água, nas diferentes tensões, seguido, em ordem decrescente, da P e MN (Figura 1). A MN apresentou a maior capacidade de retenção de água justificada pelo aumento do teor de matéria orgânica, concordando com estudo realizado por Beutler et al. (2002).

Apesar do solo cultivado intensamente estar mais exposto à perda da qualidade física em consequência do tráfego de máquinas e equipamentos e pisoteio de animais, isto não foi observado (Tabela 5). Os menores índices S foram verificados na profundidade de 0,0-0,1 m do solo sob cultivo de milho e na pastagem. Contudo os valores 0,030 e 0,031 ficaram pouco abaixo do limite (0,035) entre solo com boa e má qualidade estrutural, porém, acima do índice (0,020), a partir do qual em escala decrescente, é considerado como um solo com condições muito pobres fisicamente, segundo Dexter (2004). Porém, constata-se que os maiores níveis de qualidade física foram encontrados em todas as profundidades na MN, sendo que os índices ficaram acima dos limites estabelecidos como bons para

Tabela 4 - Equações de Van Genuchten ajustadas em função do sistema de manejo e da profundidade do solo

Profundidade (m)	$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha * h)^n]^m$	
	Milho	
0,0 - 0,1	$\theta = 0,169 + (0,335 - 0,169) / [1 + (0,019222 * h)^{2,064734}]^{0,515676}$	
0,1 - 0,2	$\theta = 0,168 + (0,347 - 0,168) / [1 + (0,020534 * h)^{2,098977}]^{0,523577}$	
0,2 - 0,3	$\theta = 0,167 + (0,351 - 0,167) / [1 + (0,020186 * h)^{1,884067}]^{0,469233}$	
	Mata Nativa	
0,0 - 0,1	$\theta = 0,146 + (0,415 - 0,146) / [1 + (0,043767 * h)^{1,942390}]^{0,485170}$	
0,1 - 0,2	$\theta = 0,137 + (0,390 - 0,137) / [1 + (0,046066 * h)^{1,946163}]^{0,486169}$	
0,2 - 0,3	$\theta = 0,107 + (0,382 - 0,107) / [1 + (0,042111 * h)^{2,059471}]^{0,514438}$	
	Pasto	
0,0 - 0,1	$\theta = 0,167 + (0,351 - 0,167) / [1 + (0,020186 * h)^{1,884067}]^{0,469233}$	
0,1 - 0,2	$\theta = 0,155 + (0,396 - 0,155) / [1 + (0,038891 * h)^{1,867798}]^{0,464610}$	
0,2 - 0,3	$\theta = 0,153 + (0,404 - 0,153) / [1 + (0,036473 * h)^{2,024091}]^{0,505951}$	

* θ : umidade à base de volume; θ_r : umidade residual; θ_s : umidade de saturação; h: tensão em c.c.a.; α , m e n são parâmetros empíricos

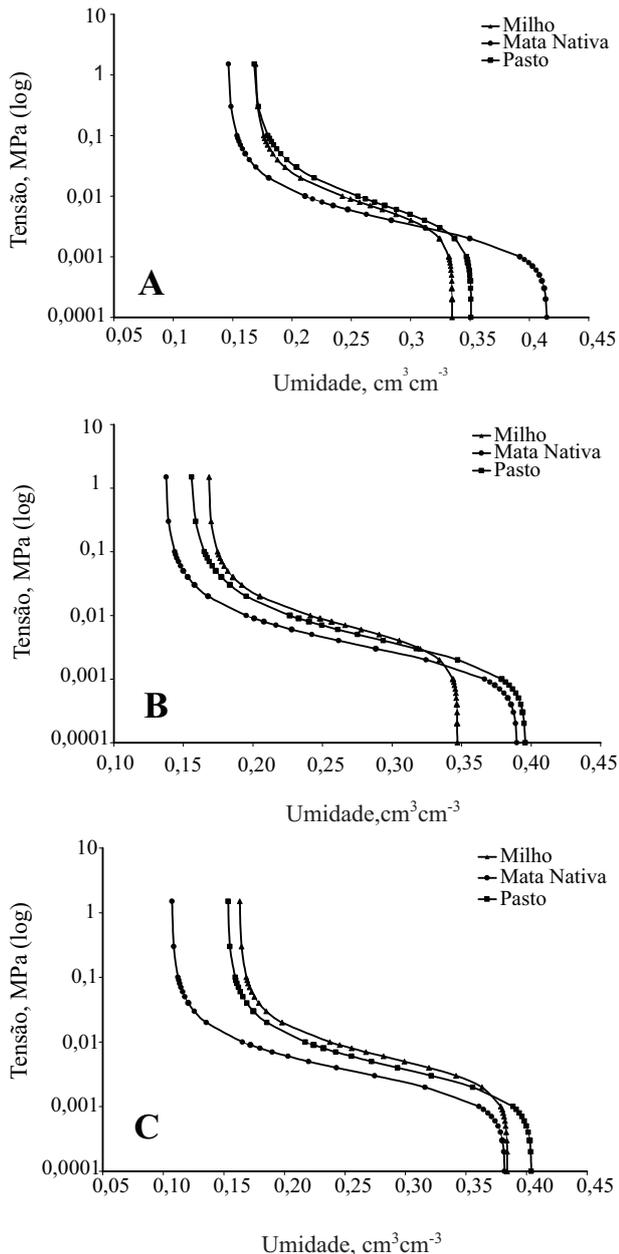


Figura 1 - Curvas de retenção de água de um Latossolo Vermelho, em diferentes manejos e profundidades: (a) 0,0-0,1 m; (b) 0,1-0,2 m; e (c) 0,2-0,3 m

a qualidade física do solo. No caso das áreas cultivadas verificou-se, assim como para MN, que os maiores valores do índice S foram obtidos na profundidade 0,2-0,3 m, provavelmente isto ocorreu em virtude do manejo não ter afetado essa camada, este mesmo resultado não foi encontrado por Silva et. al. (2008) que obtiveram um valor de 0,027 para um latossolo cultivado sob plantio direto.

Segundo Dexter (2004), a redução do índice S está muito associada à diminuição da porosidade do solo em áreas cultivadas. Neste estudo observou-se que os maiores valores de macroporosidade no M e MN foram obtidos na camada de 0,2-0,3 m; o mesmo resultado não foi obtido para microporosidade (Tabela 3). Este resultado demonstra que a perda da qualidade física do solo pode estar ligada também à redução da porosidade do solo, o mesmo resultado foi observado por Argenton et. al. (2005).

Com relação aos valores de RP, a análise de variância indicou que houve diferenças significativas para as áreas (Tabela 6). O tratamento P foi aquele que apresentou a maior média de RP (1,6 MPa) enquanto que a menor média (0,97 MPa) foi observada na área de MN. Souza e Alves (2003), estudando a RP em Latossolo sob diferentes usos, verificaram que as áreas sob pastagem apresentaram os maiores valores quando comparados ao plantio direto, convencional e mínimo com culturas anuais e a MN. Tais resultados são explicados pela pressão exercida pelos animais na área, o que é agravado pelo tempo de utilização como pastagem, que no caso do presente trabalho, foi de mais de 10 anos. A média da RP para o solo cultivado com milho apresentou um valor intermediário entre MN e P, indicando que a adoção do preparo convencional do solo para a implantação da cultura do milho em área antes utilizada para pastagem, promoveu uma diminuição na RP, entretanto, nota-se também que apenas um ano de adoção de tal prática não reverte o efeito do cultivo da pastagem por vários anos (AZEVEDO et al., 2007; CORSINI; FERRAUDO, 1999).

Em profundidade, os valores de RP não diferiram estatisticamente. A Figura 2 demonstra que houve uma tendência de redução dos seus valores com a profundidade

Tabela 5 - Índice de degradação física do solo¹ em função do sistema de manejo e da profundidade

Manejo	Profundidade (m)			Média
	0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	
Milho	0,031 b	0,033 b	0,044 b	0,036 b
Mata Nativa	0,048 a	0,044 a	0,054 a	0,049 a
Pastagem	0,030 b	0,035 b	0,045 b	0,037 b

¹Proposto por Dexter (2004). Médias seguidas da mesma letra na mesma profundidade, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 6 - Resistência à penetração para as áreas estudadas na camada de 0,0-0,1 m

Área	RP (MPa)	Ds (Mg m ⁻³)	Porosidade (m ³ m ⁻³)		
			Macro	Micro	VTP
Milho	1,33 ab	1,51 a	13,67 b	25,35 a	39,01 b
Mata	0,97 b	1,40 b	22,13 a	20,11 b	42,23 a
Pastagem	1,60 a	1,51 a	14,51 b	25,44 a	39,95 b

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

do solo e na MN, porém sem grandes variações, indicando a homogeneidade destas propriedades do solo na sua condição natural, sem camadas de impedimento. Os valores de RP apresentaram tendência de redução na última profundidade, quando comparadas as profundidade de 0,1-0,2 m, para as áreas de milho e pastagem, portanto, em comparação com a mata nativa, essas áreas tiveram a sua estrutura modificada. Em geral, a camada superficial do solo apresentou-se mais compactada em relação às adjacentes. Martins et al. (2002) verificaram uma tendência de aumento na resistência à penetração com a profundidade do solo em mata nativa. Neste trabalho, apesar do acúmulo de argila nas camadas subsuperficiais (Tabela 1), e uma maior densidade em profundidade, não foi observado aumento na RP.

Com relação à P, os maiores valores de RP na camada superficial foram semelhantes aos encontrado por Oliveira et al. (2007), que trabalhando em áreas cultivadas com capim Tanzânia, encontrou maiores valores de RP em camadas superficiais quando comparada à mata e áreas com culturas anuais, sob diferentes manejos. Uma parte da compactação encontrada nas camadas

superficiais dos solos de pastagem e de milho é devido à pressão exercida pelo casco dos animais, que podem atingir até 12 cm (COLLARES, 2005).

Conclusões

1. A mata nativa apresentou as melhores condições físicas do solo em todos os parâmetros analisados.
2. O uso do solo com pastagem e milho alterou a estrutura física deste, evidenciado pelo aumento na resistência à penetração e densidade do solo, com redução na macroporosidade.
3. O nível de degradação dos solos manejados foi considerado baixo, pelo índice S (<0,035).
4. A substituição de pastagem pela cultura do milho em sistema de preparo do solo convencional proporcionou uma ligeira melhora nas características físicas do solo.

Referências

- ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedade físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 28, n. 02, p. 337-345, 2004.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C. Comportamento de atributos relacionados com a forma de estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 03, p. 425-435, 2005.
- AZEVEDO, D. M. P. et al. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 38, n. 01, p. 38-40, 2007.
- BENGOUGH, A.G.; CAMPBELL, D.J.; O'SULLIVAN, M.F. **Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth**. In: SMITH, K.A.; MULLINS, C.E, eds. *Soil environmental analysis: physical methods*. 2.ed. Marcel Decher, 2001. p.377-403.

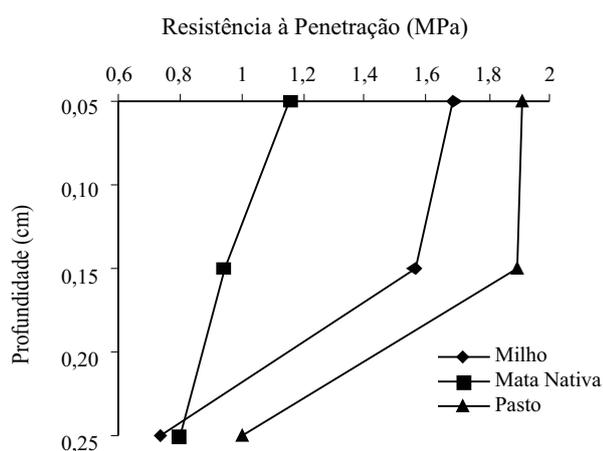


Figura 2 - Valores de resistência a penetração (MPa), obtidos em diferentes profundidades no solo sob o cultivo de milho, mata nativa e pastagem

- BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 28, n. 01, p. 155-163, 2004.
- BEUTLER, A. N. et al. Retenção de água em dois tipos de latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 26, n. 03, p. 829-834, 2002.
- BEUTLER, A. N. et al. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 30, n. 05, p. 787-794, 2006.
- CAVENAGE, A. et al. Alterações nas propriedades físicas de um latossolo vermelho-escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 23, n. 04, p. 997-1003, 1999.
- CARTER, M. R.; KUNELIUS, H. T. Comparison of tillage and direct drilling for Italian ryegrass on the properties of a fine sandy loam soil. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 66, n. 02, p. 197-207, 1986.
- COLLARES, G. L. **Compactação em Latossolos e Argissolo e relação com parâmetros de solo e de plantas**. 2005. 106 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- CORSINI, P. C.; FERRAUDO A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 02, p. 289-268, 1999.
- DALAL, R. C.; CHAN, K. Y. Soil organic matter in rainfed cropping systems of the Australian cereal belt. **Aust. Journal Soil Research**, v. 39, n. 03, p. 435-464, 2001.
- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. Madison, 1986. p. 443-461.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, n. 3/4, p. 201-214, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análises do solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306 p.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 26, n. 04, p. 857-867, 2002.
- KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. Part 1. p.635-662.
- LEMOES FILHO, L. C. A. et al. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 02, p. 193-202, 2008.
- LIN, H. S. et al. Effects of soil morphology on hydraulic properties: II. Hydraulic pedotransfer functions. **Soil Science Society America Journal**, v. 63, n. 04, p. 955-961, 1999.
- MARTINS, S. G. et al. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, v. 08, n. 01, p. 32-41, 2002.
- OLIVEIRA, G. C. et al. Caracterização química e físico-hídrica de um latossolo vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 28, n. 02, p. 327-336, 2004.
- OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; MELLO, C. R. Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho da microregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 03, p. 265-270, 2007.
- RAIJ, B. V. et al. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill Campinas, 1987. 170 p.
- SECCO, D. et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 28, n. 05, p. 797-804, 2004.
- SILVA, F. F. et al. Propriedades físicas de um latossolo vermelho cultivado no sistema plantio direto. **Irriga**, v. 13, n. 02, p. 191-204, 2008.
- SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistema de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 30, n. 06, p. 921-930, 2006.
- SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society America Journal**, v. 61, n. 03, p. 877-883, 1997.
- SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 07, n. 01, p. 18-23, 2003.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 22, n. 04, p. 573-581, 1998.
- VANGENUCHTEN, M. T. A. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society America Journal**, v. 44, n. 05, p. 892-898, 1980.