

Propriedades físico-hídricas do solo submetido a dois sistemas de cultivo

Iago João Cassol¹, Adriano da Silva Lopes¹, Eder Duarte Fanaya Júnior², Isabela Braga Belchior³,
Danielle Oliveira Cherri¹

¹Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana-MS, Brasil. E-mail: iagocassol@hotmail.com; lopes@uem.br; daniellecherri@hotmail.com

²Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Piracicaba-SP, Brasil. E-mail: eder.fanayajr@usp.br

³Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Lavras-MG, Brasil. E-mail: isabela_bbelchior@hotmail.com

Resumo: O manejo do solo pode influenciar em sua qualidade física e hídrica, por essa razão, o conhecimento das alterações dos atributos do solo auxiliam na avaliação das suas reais condições. O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físico-hídricas do solo em área de plantio direto, preparo convencional e de mata nativa. Foram coletadas amostras indeformadas de solo nas camadas: 0,00–0,10; 0,10–0,20; 0,20–0,30; 0,30–0,40 e 0,40–0,50 m. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas; as parcelas foram constituídas pelo sistema de plantio convencional (SPC), sistema de plantio direto (SPD) e mata nativa (MN) e, as subparcelas as camadas de solo. Os atributos analisados foram a porosidade total, densidade do solo, capacidade de água disponível e curva de retenção de água no solo. Para cada variável avaliada foi realizado a análise de variância e a comparação de médias (Tukey $p > 0,05$). Os SPD e SPC proporcionam alterações nas propriedades físicas do solo e na forma das curvas de retenção de água no solo. Os SPD e SPC não influenciam na densidade do solo na camada superficial (0,00-0,10 m). O sistema de plantio direto causa maior compactação subsuperficial (0,10-0,20 m) e proporciona menor retenção de água no solo quando comparado ao SPC e a MN, possivelmente estes atributos variam de acordo com o tempo de cultivo.

Palavras-chave: porosidade do solo, densidade do solo, curva de retenção de água no solo.

Soil physico-hydrical properties under different crop systems

Abstract: Soil management can influence its physical and water quality, therefore, knowledge of changes in soil attributes helps to evaluate its real conditions. The aim was to evaluate the physical-water properties of the soil in no-tillage, conventional tillage and native forest area. Undisturbed soil samples were collected in the layers: 0.00-0.10; 0.10-0.20; 0.20-0.30; 0.30-0.40 and 0.40-0.50 m. The experimental design was completely randomized in subdivided plots scheme; the plots were constituted by conventional planting system (CPS), no-tillage system (NTS) and native forest (NF), and the subplots were the soil layers. The attributes analyzed were total porosity, soil density, available water capacity and water retention curve in the soil. For each variable evaluated, the analysis of variance and the comparison of means (Tukey $p > 0.05$) were performed. The NTS and CPS provide changes in the physical properties of the soil and in the shape of the water retention curves in the soil. NTS and CPS do not influence soil density in the superficial layer (0.00-0.10 m). The no-tillage system causes higher subsurface compaction (0.10-0.20 m) and provides less retention of water in the soil when compared to CPS and NF, possibly these attributes vary according to the cultivation time.

Keywords: soil porosity, bulk density, water retention curve.

Introdução

Os sistemas de preparo do solo têm por objetivo fornecer condições físicas adequadas para o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas. Entretanto, dependendo do solo, do clima e da cultura, os sistemas de preparo podem proporcionar degradação da qualidade física do solo, com reflexos ambientais e na produtividade das culturas (Tormena et al., 2004). Sendo assim, o sistema de cultivo é uma das práticas mais importantes que afetam as propriedades físicas e hídricas do solo (Jabro et al., 2009), e sua avaliação é de fundamental importância, pois o entendimento dessas modificações, decorrentes do seu cultivo, pode fornecer elementos para produção em bases sustentáveis (Portugal et al., 2010).

Assim, diferentes propriedades físicas têm sido usadas para avaliar a qualidade física do solo, sendo as mais comuns: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e resistência do solo à penetração (Stefanoski et al., 2013; Gill, 2012; Nunes et al., 2010; Tavares Filho et al., 2010), e propriedades hídricas do solo (Figueiredo et al., 2009; Lima et al., 2014).

Além dessas propriedades, a curva de retenção de água no solo é outro parâmetro a ser avaliado, por ser modificado pelo cultivo do solo. Com o tempo, a estrutura original do solo é alterada em função do fracionamento dos agregados em unidades menores, e conseqüentemente redução no volume de macroporos e aumento no volume de microporos e na densidade do solo (Ramos et al., 2013). Sendo assim, a curva de água no solo é importante nos estudos da qualidade dos mesmos, por nortear as práticas de uso e o manejo sustentável dos sistemas agrícolas (Santos, 2010).

Dentre os sistemas de cultivos utilizados destaca-se o plantio convencional. Nesse sistema ocorre frequentes revolvimentos do solo, podendo alterar temporariamente suas propriedades físico-hídricas (Tormena et al., 2004). Além disso, pode proporcionar aumento na retenção de água do solo, pelo aumento da microporosidade (Cássaro et al., 2011; Dalmago et al., 2009), aumento na porosidade total e melhorar a infiltração e desenvolvimento de raízes, porém, abaixo da camada de revolvimento, pode ocorrer um comportamento inverso (Hickmann et al., 2012).

Nos últimos anos tem havido grande interesse em encontrar sistemas de produção mais sustentáveis do que aqueles em uso comum, e o sistema de plantio direto têm se mostrado como excelente alternativa para minimizar a mobilização do solo, em especial nas regiões tropicais

(Kluthcouski et al., 2000). No entanto, para a implantação e condução do sistema de plantio direto de maneira sustentável além do não revolvimento do solo é imprescindível a rotação de culturas, com objetivo de manter permanentemente uma quantidade mínima de palha na superfície do solo (Crusciol et al., 2010).

O sistema de plantio direto preconiza a semeadura em solo coberto por palha, com o mínimo de mobilização na linha de semeadura, para que o solo permaneça mais protegido do impacto das gotas de chuva (Costa et al., 2006), mantenha a umidade (Freitas et al., 2013), além de aumentar a quantidade de matéria orgânica, a porosidade total e o conteúdo de água disponível (Jemai et al., 2013). Porém, pode proporcionar compactação do solo na camada localizada entre 0,07 e 0,15 m, ocasionada por tráfego de máquinas agrícolas e, consolidação natural pelo não revolvimento do solo (Tormena et al., 2004; Drescher et al., 2011).

Com isso, o conhecimento e a quantificação do impacto dos sistemas de preparo do solo em sua qualidade físico-hídrica são importantes no desenvolvimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi analisar os efeitos ocasionados pelos sistemas de plantio direto, convencional e mata nativa nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Vermelho distrófico, em Aquidauana, MS.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), em Aquidauana – MS, com coordenadas geográficas 20°27'S, 55°40'W e altitude média de 191 metros. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é descrito como Aw, definido como clima tropical quente sub-úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com precipitação média anual de 1231 mm. O solo, segundo Schiavo et al. (2010), foi identificado como Argissolo Vermelho distrófico.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas, onde as parcelas foram constituídas pelos tratamentos de manejo do solo e, as subparcelas foram as camadas de solo (0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,50 m). Os resultados foram submetidos a análise de variância e ao teste de médias, Tukey a 5% de significância.

As amostragens foram realizadas em três áreas distintas: 1) uma área cultivada com feijoeiro irrigado, com cinco anos de formação de um sistema de plantio

direto (SPD); 2) área cultivada com feijoeiro não irrigado em sistema de preparo convencional do solo (SPC); e, 3) área de mata nativa (MN) sem influência de máquinas. Em cada área foram efetuadas coletas de amostras indeformadas de solo com cinco repetições em cinco camadas de solo: 0,00–0,10; 0,10–0,20; 0,20–0,30; 0,30–0,40 e; 0,40–0,50 m.

Após a coleta, as amostras foram submetidas à mesa de tensão e a câmara de Richards para a obtenção dos dados necessários para confecção da curva de retenção de água no solo.

Os parâmetros avaliados foram: porosidade total (PT), densidade do solo (DS), curva de retenção e capacidade de água disponível no solo (CAD), para o perfil de solo de 0,00 a 0,50 m.

A DS e a PT foram estimadas segundo metodologia proposta pela Embrapa (2011). Os parâmetros avaliados foram: porosidade total (PT), densidade do solo (DS), curva de retenção e capacidade de água disponível no solo (CAD), para o perfil de solo de 0,00 a 0,50 m. ADS e a PT foram estimadas segundo metodologia proposta pela Embrapa (2011).

A curva de retenção de água no solo foi determinada utilizando a câmara de Richards, com amostras submetidas às pressões 10, 100, 300, 500 e 1500 kPa. Para ajuste da curva de retenção, utilizou-se o modelo de van Genuchten (1980) e o programa RETC (van Genuchten et al., 2009), conforme a equação 01, estimando a Capacidade de Água Disponível para cada camada de solo.

$$\theta_a = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha |\Psi_m|)^n\right]^m} \quad (1)$$

em que:

θ_a - umidade atual do solo, $m^3 m^{-3}$;

θ_s - umidade de saturação, $m^3 m^{-3}$;

Ψ_m - potencial mátrico, em cm.c.a.;

α , θ_r , m e n - parâmetros gerados pelo modelo.

Resultados e Discussão

A densidade do solo (DS) não apresentou diferença estatística entre as três áreas avaliadas ($p > 0,05$) na camada de 0,00-0,10 m (Tabela 1), indicando que os sistemas de plantio direto (SPD) e convencional (SPC) não causaram compactação superficial do solo, apresentando valores de DS semelhantes ao da mata nativa (MN). Além disso, não foi constatada a tendência de maior densidade do solo em superfície proporcionada por SPD, descrita em algumas bibliografias (Tormena et al., 2004; Bescansa et al., 2006; Moret & Arrúe, 2007).

O sistema de plantio convencional (SPD) causou maior compactação subsuperficial (0,10-0,20 m) do solo comparado com SPC e o solo da MN (Tabela 1), o que pode estar relacionado a consolidação natural pelo não revolvimento do solo (Tormena et al., 2004). Nas demais camadas, o SPD e o SPC diferiram ($p < 0,05$) da área de MN, indicando que tais sistemas de preparo do solo afetaram a DS de modo similar em profundidade. Ferreras et al. (2000) também verificaram que não houve diferenças estatísticas entre os valores de DS dos tratamentos de plantio direto e convencional.

Os valores de DS para o SPD foram estatisticamente menores na camada superficial (0,00-0,10 m) quando comparados as demais camadas, o que pode ser devido à manutenção dos restos vegetais na superfície do solo nesse tipo de cultivo, elevando o conteúdo de matéria orgânica que auxilia numa melhor agregação do solo. Associado a isso, nas camadas mais profundas há uma redução da matéria orgânica do solo e pressão das camadas subjacentes (Souza & Alves, 2003) auxiliando na elevação da DS.

O SPC proporcionou menor valor de DS nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m (Tabela 1), provavelmente ocasionado pelo intenso revolvimento do solo na camada superficial, o que geralmente provoca compactação subsuperficial logo abaixo da camada mobilizada pelo

Tabela 1. Densidade do solo ($kg\ dm^{-3}$) nos diferentes sistemas de cultivo e na mata nativa, em cinco camadas de solo.

	Profundidade (m)					DMS	CV
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40	0,40-0,50		
SPD	1,50 Ab	1,63 Aa	1,68 Aa	1,67 Aa	1,63 Aa	0,122	3,99
SPC	1,44 Ab	1,53 Bab	1,60 Aa	1,60 ABa	1,63 Aa	0,127	4,31
MN	1,42 Aa	1,49 Ba	1,48 Ba	1,43 Ba	1,45 Ba	0,164	5,97
DMS	0,103	0,066	0,115	0,169	0,143		
CV	4,6	4,6	6,7	8,8	7,5		

SPD: sistema de plantio direto; SPC: sistema de plantio convencional; MN: mata nativa; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste Tukey ($p > 0,05$).

arado, devido à carga aplicada pelo equipamento nessa camada (Llanillo et al., 2006). Além disso, o SPC acelera a decomposição da matéria orgânica, rompe os agregados e reduz sua estabilidade nas camadas manejadas, favorecendo o aumento da densidade do solo em subsuperfície (Aratani et al., 2009). Resultado semelhante foi encontrado por Tormena et al. (2004), avaliando efeito dos sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico.

A MN não apresentou diferença estatística ($p > 0,05$) para a DS entre as camadas de solo avaliadas (Tabela 1), possivelmente pela maior presença de matéria orgânica, proporcionada pela decomposição da serapilheira e maior presença de raízes (Reinert et al., 2008; Ortigara et al., 2014).

Maior porosidade total (PT) na camada superficial (0,00-0,10 m) foi verificada na MN quando comparada ao SPD (Tabela 2), indicando que sistemas com menor mobilização do solo podem reduzir a porosidade total e mudar a distribuição do tamanho dos poros, com redução daqueles de maior tamanho (Tormena et al., 2004). Nessa mesma camada a PT para MN foi estatisticamente igual a do SPC, podendo estar relacionada ao revolvimento do solo, que aumenta a porosidade total e melhora a aeração na camada superficial (Sales et al., 2016).

Nas demais camadas avaliadas os SPC e SPD apresentaram menor ($p < 0,05$) PT comparado com a MN, o que pode ser resultante da ação antrópica nessas áreas, principalmente pelo tráfego de máquinas. Resultado que corrobora com o obtido por Sales et al. (2016) avaliando a qualidade física de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado nos sistemas de plantio direto e preparo convencional.

Os SPD e SPC apresentaram maior valor de PT na camada superficial (0,00-0,10 m) quando comparada com as demais camadas avaliadas, sendo a PT estatisticamente menor a partir da profundidade de 0,10 m, possivelmente em função do maior teor de matéria

orgânica na camada superficial e do acúmulo das pressões abaixo de 10 cm de profundidade, resultante do tráfego de máquinas (Costa et al., 2006), corroborando a tendência de diminuição da PT em profundidade (Albuquerque et al., 1995).

De uma maneira geral a MN apresentou maiores valores de PT em todas as camadas avaliadas comparada com o SPD e SPC, o que pode ser devido aos maiores teores de matéria orgânica e a quantidade de raízes (Assis & Lanças, 2005; Costa et al. 2006), e por não ser um solo antropizado (Silva et al., 2012). Maiores valores de PT em solo sob MN também foram verificados por Vasconcelos et al. (2014) e por Oliveira et al. (2015).

A MN apresentou, de modo geral, maior CAD ($p < 0,05$) em comparação com os outros sistemas de cultivo na maioria das camadas avaliadas (Tabela 3). A conversão da mata nativa para sistemas de produção pode ocasionar a diminuição da porosidade e alterar a capacidade de trocas gasosas e a retenção de água (Stepniewski et al., 2002), o que pôde ser evidenciado pela maior capacidade de retenção observada na MN.

O solo sob SPC apresentou maior CAD que o SPD para as camadas de 0,00-0,30 m, evidenciando que o revolvimento do solo aumenta o conteúdo de água retido a baixas tensões, levando a uma maior disponibilidade de água para as plantas (Souza et al., 2014). Resultado que está em consonância com os encontrados por Dalmago et al. (2009), que em todo o perfil avaliado (2,5 – 75 cm), o SPC apresentou cerca de 53% mais água armazenada em comparação com o SPD.

Na literatura encontram-se resultados contrários ao desse estudo, como o de Oliveira et al. (2004), que ao avaliarem um solo depois de 20 anos cultivado com semeadura direta concluíram que esse sistema propicia maior disponibilidade de água na camada de 0–5 cm. Sendo assim, a variação da CAD pode ser dependente do tempo de cultivo e possivelmente não foi observada neste trabalho pelo curto tempo de implantação do sistema.

Tabela 2. Porosidade total do solo ($m^3 m^{-3}$) nos diferentes sistemas de cultivo e na mata nativa, em cinco camadas de solo.

	Profundidade (m)					DMS	CV
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40	0,40-0,50		
SPD	0,355 Ba	0,298 Bb	0,279 Bb	0,292 Bb	0,310 Bb	0,057	8,9
SPC	0,389 ABa	0,332 Bb	0,308 Bb	0,310 Bb	0,294 Bb	0,052	8,37
MN	0,402 Aa	0,401 Aa	0,374 Aa	0,395 Aa	0,389 Aa	0,059	7,96
DMS	0,037	0,036	0,051	0,064	0,048		
CV	7,6	14,0	15,5	17,7	15,2		

SPD: sistema de plantio direto; SPC: sistema de plantio convencional; MN: mata nativa; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste Tukey ($p > 0,05$).

Tabela 3. Capacidade de água disponível no solo (mm cm^{-1}) nos diferentes sistemas de cultivo e na mata nativa, em cinco camadas de solo.

	Profundidade (m)					DMS	CV
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40	0,40-0,50		
SPD	1,6 Ba	1,3 Ca	1,3 Ca	1,6 Ba	1,4 Ba	0,768	28,4
SPC	2,3 Aa	2,0 Bab	1,9 Bab	1,8 ABb	1,9 Bab	0,523	14,06
MN	2,5 Aa	2,6 Aa	2,5 Aa	2,3 Aa	2,3 Aa	0,392	8,51
DMS	0,69	0,4	0,6	0,4	0,5		
CV	25,5	31,3	31,7	18,3	26,4		

SPD: sistema de plantio direto; SPC: sistema de plantio convencional; MN: mata nativa; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste Tukey ($p>0,05$).

O SPC se diferiu entre as camadas de 0,00-0,10 m e 0,30-0,40 m, com maior valor encontrado na camada de 0,00-0,10 m. Provavelmente a densidade afeta a retenção de água, onde na camada de 0,00-0,10 m a densidade tende a um menor valor, conseqüentemente maior CAD. Na camada 0,30-0,40 m a densidade tende a um maior valor, proporcionando menor CAD (Silva et al., 2012). O SPD e a MN não apresentaram diferenças estatísticas para a CAD entre as camadas de solo avaliadas, apresentando um armazenamento de água mais uniforme entre camadas.

Na camada avaliada (0,00-0,50 m) houve uma tendência de umidade do solo mais elevada no ponto de murcha permanente no SPC comparado a MN e SPD (Tabela 4). Resultado semelhante foi encontrado por Dalmago et al. (2009) avaliando a retenção de água no solo e sua disponibilidade às plantas, em plantio direto e preparo convencional.

O maior valor de N foi encontrado para solo sob MN, indicando maior retenção de água devido à maior porosidade total e ampla variação de tamanho de poros

(van Genuchten & Nielsen, 1985).

Os sistemas de uso do solo alteraram a forma das curvas de retenção de água no solo (Figura 1). O solo sob MN apresentou maior retenção de água no intervalo de potencial correspondente a $\text{Log}(\Psi) = -1$ e $\text{Log}(\Psi) = 1$, quando comparado ao solo sob SPC e SPD. Assim, o aumento na densidade do solo promoveu modificações na distribuição de poros nos solos sob SPD e SPC, principalmente naqueles poros que retêm água em potenciais menores que 1 KPa.

Pode-se inferir que o SPD proporcionou menor retenção de água no solo que SPC, isso mostra que o efeito do sistema de cultivo sobre a umidade do solo depende de diversos fatores, entre eles o tempo de adoção ao sistema. Sendo assim, o tempo de implantação do SPD pode não ter sido suficiente para promover mudança estrutural que contribua para uma maior retenção de água, com isso, os sistemas adaptam-se diferentemente a cada região e sua condição edafoclimática particular (Silva et al., 2012).

Tabela 4. Umidades volumétricas ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na saturação (θ_s), capacidade de campo (θ_{cc}) e no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}); parâmetros θ_r , α (cm^{-1}), m e N gerados pelo modelo de VAN GENUCHTEN (1980) e o coeficiente de ajuste (R^2) entre o medido e o estimado pelo modelo.

Prof. (m)	Manejo	Umidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)			Parâmetros de VAN GENUCHTEN				Ajuste R^2
		θ_s	θ_{cc}	θ_{pmp}	α	θ_r	m	N	
0,00-0,50	SPD	0,307	0,223	0,076	0,036	0,006	0,194	1,243	0,962
0,00-0,50	SPC	0,326	0,280	0,088	0,008	0,067	0,362	1,585	0,893
0,00-0,50	MN	0,392	0,316	0,072	0,009	0,006	0,392	1,777	0,893

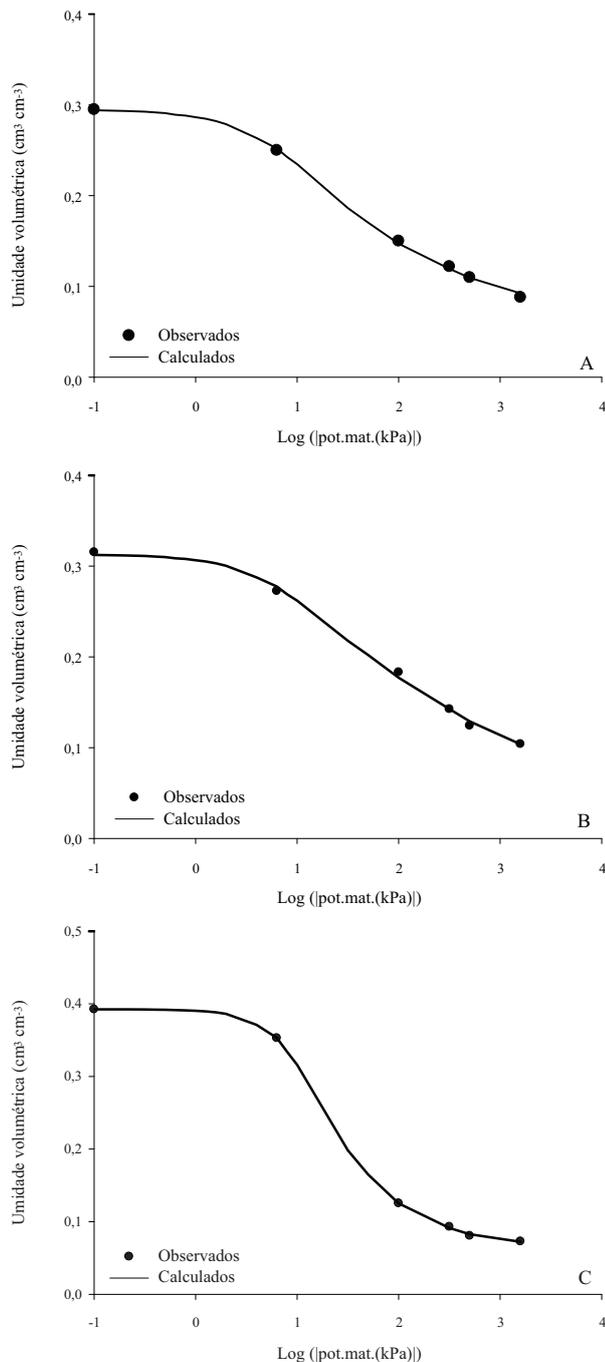


Figura 1. Curva de retenção de água do solo para a camada de 0,0-0,5 m de profundidade para o sistema de plantio direto (A), plantio convencional (B) e mata nativa (C).

Conclusões

Os sistemas de cultivo plantio direto (SPD) e plantio convencional (SPC) proporcionam alterações na forma das curvas de retenção de água no solo.

Os sistemas de cultivo SPD e SPC não influenciam na densidade do solo na camada superficial (0,00-0,10 m).

O sistema plantio direto (SPD) causou maior compactação subsuperficial (0,10-0,20 m) e proporciona

menor retenção de água no solo quando comparado ao SPC e a MN, possivelmente estes atributos variam de acordo com o tempo de cultivo.

Literatura Citada

- Albuquerque, J. A.; Reinert, D. J.; Fiorin, J. E.; Ruedell, J.; Petre, C.; Fontinelli, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo: efeito do solo ao final de sete anos. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, v.19, p.115-119, 1995.
- Aratani, R. G.; Reddi, O. S.; Centurion, J. F.; Andrioli, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n.3, p. 677-687, 2009.
- Assis, R. L.; Lanças, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.29, n.4, p. 515-522, 2005.
- Bescansa, P.; Imaz, M. J.; Virto, I.; Enrique, A.; Hoogmoed, W. B. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. *Soil and Tillage Research*, v.87, p.19-27, 2006.
- Cássaro, F. A. M.; Borkowski, A. K.; Pires, L. F.; Rosa, J. A.; Saab, S. C. Characterization of a Brazilian clayey soil submitted to conventional and no-tillage management practices using pore size distribution analysis. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.111, n.2, p. 175-179, 2011.
- Costa, E. A.; Goedert, W.; Sousa, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.41, n.7, p.1185-1191, 2006.
- Crusciol, C. A. C.; Soratto, R. P.; Borghi, E.; Mateus, G. P. Benefits of integrating crops and tropical pastures as system of production. *Better Crops International*, Atlanta, v.94, n.1, p.14-16, 2010.
- Dalmago, G. A.; Bergamaschi, H.; Bergonci, J.; Krüger, C. A. M. B.; Comiran, F.; Heckler, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.855-864, 2009.
- Drescher, M. S.; Eltz, F. L. F.; Denardin, J. E.; Faganello, A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1713-1722, 2011.
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de Métodos de Análise de Solos. 2ª edição revista*. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos/Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Documentos, 132).
- Figueiredo, C. C.; Santos, G. G.; Pereira, S.; Nascimento, J. L.; Alves Júnior, J. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.2, p.146-151, 2009.
- Freitas, R. M. O.; Dombroski, J. L. D.; Freitas, F. C. L. de, Nogueira, N. W.; Pinto, J. R. S. P. Produção de feijão-caupi

- sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional. *Semina*, v.34, n.6, p.3683-3690, 2013.
- Gill, S. M. Temporal variability of soil hydraulic properties under different soil management practices. University of Guelph, Ontario, Canadá. 2012. 145p. Tese (Doutorado).
- Hickmann, C.; Costa, L. M.; Schaefer, C. E. G. R.; Fernandes, R. B. A.; Andrade, C. L. T. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um argissolo após 23 anos de diferentes manejos. *Revista Caatinga*, v.25, n.1, p.128-136, 2012.
- Jabro, J. D.; Stevens, W. B.; Evans, R. G.; Iversen, W. M. Tillage effects on physical properties in two soils of the Northern Great Plains. *Applied Engineering in Agriculture*. v.25, n.3, p.377-382, 2009.
- Jemai, I.; Aissa, N. B.; Guirat, S. B.; Ben-Hammouda, M.; Gallali, T. Impact of three and seven years of no-tillage on the soil water storage, in the plant root zone, under a dry subhumid Tunisian climate. *Soil and Tillage Research*, v.126, p.26-33, 2013.
- Kluthcouski, J.; Fancelli, A. L.; Dourado Neto, D.; Ribeiro, C. M.; Ferraro, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plano direto. *Scientia Agricola*, v. 57, n. 1, p.97-104, 2000.
- Lima, J. R. de S.; Souza, E. S. de; Antonino, A. C. D.; da Silva, I. F. da; Corrêa, M. M.; Lira, C. A.B. O. Atributos físico-hídricos de um Latossolo Amarelo cultivado e sob mata nativa no Brejo Paraibano. *Agrária - Revista Brasileira de Ciências*, v.9, n.4, p.599-605, 2014.
- Llanillo, R. F.; Richart, A.; Tavares Filho, J.; Guimarães, M. de F.; Ferreira, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. *Semina: Ciências Agrárias*, v.27, n.2, p.205-220, 2006.
- Moret, D.; Arrúe, J. L. Dynamics of soil hydraulic properties during fallow as affected by tillage. *Soil and Tillage Research*, v.96, p.103-113, 2007.
- Nunes, L. A. P. L.; Dias, L. E.; Jucksch, I.; Barros, N. F. Atributos físicos do solo em área de monocultivo de cafeeiro na zona da mata de Minas Gerais. *Bioscience Journal*, v.26, n.1, p.71-78, 2010.
- Oliveira, D. M. S.; Lima, R. P.; Verburg, E. E. J. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquido suíno. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, v.19, n.3, p.280-285, 2015.
- Oliveira, G. C.; Dias Junior, M. S.; Resck, D. V. S.; Curi, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.327-336, 2004.
- Ortigara, C.; Kopppe, E.; Luz, F. B.; Bertollo, A. M.; Kaiser, D. R.; Silva, V. R. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, n.2, p. 619-626, 2014.
- Portugal, A. F.; Costa, O. D'A. V.; Costa, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da zona da mata mineira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.2, p.575-585, 2010.
- Ramos, B. Z.; Pais, P. S. M.; Freitas, W. A.; Junior, M. S. D. Avaliação dos atributos físico-hídricos em um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes sistemas de manejo-Lavras/Minas Gerais/Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, v.36, n.3, 2013.
- Reinert, D. J.; Albuquerque, J. A.; Reichert, J. M.; Aita, C.; Andrada, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.5, p.1805-1816, 2008.
- Sales, R. P.; Portugal, A. F.; Moreira, J. A. A.; Kondo, M. K.; Pegoraro, R. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. *Revista Ciência Agronômica*, v.47, n.3, p.429-438, 2016.
- Santos, G. G. Impacto de sistemas de integração lavoura pecuária na qualidade física do solo. Goiânia: UFG, 2010. 122p. Tese (Doutorado).
- Schiavo, J. A.; Pereira, M. G.; Miranda, L. P. M.; Dias Neto, A. H.; Fontana, A. Caracterização e classificação de solos desenvolvidos de arenitos de formação Aquidauana-MS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.3, p.881-889, 2010.
- Silva, M. A. A.; Azevedo, L. P.; Saad, J. C. C.; Michels, R. N. Propriedades físico-hídricas, desenvolvimento radicular e produtividade da soja em dois tipos de manejos de solo. *Irriga, Botucatu*, v.17, n.3, p.387-396, 2012.
- Souza, Z. M.; Alves, M. C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.25, n.1, p.27-34, 2003.
- Souza, J. M.; Bonomo, R.; Pires, F. R.; Bonomo, D. Z. Curva de retenção de água e condutividade hidráulica do solo em lavoura de café conilon submetida à subsolagem. *Coffee Science*, v.9, n.2, p.226-236, 2014.
- Stefanoski, D. C.; Santos, G. G.; Marchão, R. L.; Petter, F. A.; Pacheco, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.12, p.1301-1309, 2013.
- Stepniewski, W.; Horn, R.; Martyniuk, S. Managing soil biophysical properties for environmental protection. *Agriculture Ecosystems & Environment*, v.88, p.175-181, 2002.
- Tavares Filho, J.; Barbosa, G. M. C.; Ribon, A. A. Physical properties of dystrophic red Latosol (Oxisol) under different agricultural uses. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.3, p.925-933, 2010.
- Tormena, C. A.; Vidigal Filho, P. S.; Gonçalves, A. C. A.; Araújo, M. A.; Pinto, J. C. Influência de diferentes sistemas de preparo de solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distroférrico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, n.1, p.65-71, 2004.
- van Genuchten, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of American Journal*, v.41, p.892-898, 1980.
- van Genuchten, M. T.; Simunek, J.; Leij, F. J.; Sejna, M. RETC

version 6.02. 2009. Disponível em:
<<http://www.pcprogress.com/en/Default.aspx?retc-downloads>>.

van Genuchten, M. T.; Nielsen, D. R. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. *Annales Geophysicae*, v.3, n.5, p.615-628, 1985.

Vasconcelos, R. F. B.; Souza, E. R.; Cantalice, J. R.; Silva, L. S. Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.4, p.381–386, 2014.