



Tempo de adoção do sistema plantio direto e a relação com atributos do solo

Time of adoption of no-till system and its relationship with soil attributes

Lineu Alberto Domit¹, Ricardo Shigueru Okumura², Graziela Moraes de Cesare Barbosa³, Leandro Riyuiti Higashibara⁴, Milton Dalbosco⁵, Daiane de Cinque Mariano², Thiago Ometto Zorzenoni⁴, Maria de Fátima Guimarães⁴

¹Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Sinop, MT.

²Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus de Capitão Poço, Instituto de Ciências Agrárias, Rodovia PA 124, km 0, Vila Nova, CEP 68650-000, Capitão Poço, PA. E-mail: ricardo.okumura@ufra.edu.br

³Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), Londrina, PR.

⁴Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, PR.

⁵Cooperativa Agroindustrial Consolata (COPACOL), Cafelândia, PR.

Recebido em: 26/10/2013

Aceito em: 18/06/2014

Resumo. O objetivo deste trabalho foi avaliar alguns atributos do solo em propriedades rurais da região Oeste do Estado do Paraná com 15, 11, 8, 6 e 5 anos de adoção do sistema plantio direto. Foram avaliados os seguintes atributos: resistência mecânica do solo à penetração (RP) na camada de 0 a 0,60 m; densidade do solo nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m; matéria orgânica do solo nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m e a cobertura morta do solo. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, e para avaliar as possíveis alterações dos atributos do solo procederam-se a análise de componentes principais nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Todas as propriedades agrícolas apresentaram valores de RP na camada de 0-0,20 m considerados indicativos de compactação, embora os valores de densidade do solo tenham confirmado este resultado somente em duas propriedades das cinco avaliadas. Por meio da estatística multivariada constatou-se que as propriedades com adoção do sistema plantio direto em 1992/93, 1995/96 e 1998/99 apresentaram maior efeito da RP na camada de 0,20-0,30 m. O tempo de adoção do sistema de plantio direto influenciou positivamente nos atributos do solo, diminuindo o efeito da resistência mecânica do solo à penetração e densidade do solo nas propriedades com 15 e 11 anos, contudo, existe a necessidade de monitoramento das propriedades com 8 e 5 anos de adoção do plantio direto por apresentarem atributos do solo que caracterizam compactação do solo.

Palavras-chave: resistência mecânica do solo à penetração, manejo do solo, propriedade física do solo

Abstract. The aim of the study was to evaluate some soil attributes on farms in the Western region of the State of Paraná, with 15, 11, 8, 6 and 5 years of adoption of no-tillage system. The following parameters were evaluated: mechanical resistance to penetration in the soil (RP) in layers of 0 to 0.60 m; density of soil in layers of 0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.30 m; soil organic matter in the layers of 0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.30 m; and soil mulch. The results were subjected to analysis of variance and the means were compared by Tukey test at 5% probability, and to evaluate the possible changes of soil attributes carried a principal component analysis in the layers of 0-0.10; 0.10-0.20 and 0.20-0.30 m. All farms showed values of RP at layer 0-0.20 m considered indicative of soil compaction, although the values the density of soil have confirmed this result in only two of the five farms evaluated. By multivariate statistical analysis founded that the properties with adoption of no-tillage system in 1992/93, 1995/96 and 1998/99 showed a greater effect of RP in layers of 0.20-0.30 m. The time of adoption of no-tillage had positive influence on soil attributes, reducing the effect of soil resistance to penetration and density of soil in properties with 15 and 11 years, however, there is a need monitoring of properties with 8 and 5 years adoption of no tillage for presenting attributes characterized soil compaction of the soil.

Keywords: mechanical resistance to penetration in the soil, soil management, physical properties of the soil



Introdução

Os solos agrícolas estão sujeitos à compactação, devido a fenômenos naturais ou ao tráfego intensivo de máquinas e equipamentos agrícolas utilizados no processo produtivo, e seus efeitos manifestam-se com o aumento da resistência mecânica do solo à penetração (RP) (Batey, 2009).

O sistema plantio direto (SPD) apresenta inúmeras vantagens, contudo no decorrer do tempo, a maior compactação superficial do solo, provocada pelo efeito cumulativo do tráfego de máquinas e pela acomodação natural das partículas e/ou agregados, se mal manejada, pode prejudicar alguns atributos do solo (Tormena & Roloff, 1996).

A avaliação e o monitoramento das camadas de impedimento mecânico do solo ao desenvolvimento radicular são ferramentas importantes para caracterizar a evolução de sistemas agrícolas e, também, servem como subsídio indispensável no planejamento e no direcionamento das práticas de cultivo empregadas dentro de uma propriedade agrícola (Torres & Saraiva, 1999). A compactação tem sido avaliada por meio de diversas variáveis físicas, tais como: densidade do solo, densidade relativa, resistência do solo à penetração das raízes (Lanzanova et al., 2010).

Um dos atributos físicos mais adotados como indicativo da compactação do solo tem sido a resistência do solo à penetração (Lima et al., 2010; Bottega et al., 2011), pela facilidade e rapidez na obtenção dos resultados, por apresentar relações diretas com o crescimento das plantas e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação, quando comparada à densidade do solo (Bergamin et al., 2010), apesar das diferenças entre uma raiz e um

cone metálico.

Os níveis críticos de resistência mecânica do solo à penetração para o crescimento radicular das plantas variam com o tipo de solo e a espécie cultivada (Martins et al., 2009), podendo ser encontrados na bibliografia valores críticos de RP para as raízes entre 1 a 3,5 MPa (Tavares Filho et al., 2001; Secco et al., 2009; Lima et al., 2010). Torres & Saraiva (1999), utilizando penetrômetro de impacto para verificar índices de compactação na cultura da soja em Latossolo Vermelho distroférico, consideraram que RP em torno de 3,5 a 6,5 MPa (solo na consistência friável) indicam possíveis problemas de impedimento mecânico, sugerindo que se deva considerar RP em torno de 3,5 MPa como indicativo de compactação baixa e próximas de 6,5 MPa, como altas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar alguns atributos do solo em propriedades rurais da região Oeste do Estado do Paraná com diferentes tempos de adoção do sistema de plantio direto.

Material e Métodos

O estudo foi realizado no período de 03 a 06 de agosto de 2004, em propriedades rurais da região Oeste do Estado do Paraná. Nessa região o clima é do tipo subtropical Cfa (segundo classificação de Köppen), com as seguintes coordenadas geográficas para os municípios de Cafelândia (24° 37' S e 53° 20' W), Palmitópolis (24° 31' S e 53° 15' W), Jesuítas (24° 23' S e 53° 23' W) e Formosa d'Oeste (24° 17' S e 53° 18' W) e o solo de todas as propriedades avaliadas classificadas como Latossolo Vermelho eutroférico (Embrapa, 2006), com os valores de argila, silte e areia apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de argila, silte e areia das cinco propriedades avaliadas na região oeste do Paraná.

Propriedade	Argila	Silte	Areia
	----- % -----		
P1	79,75	13,37	6,88
P2	78,53	14,67	6,79
P3	70,64	16,31	13,05
P4	68,04	17,80	14,16
P5	60,17	18,40	21,43
Mata*	75,99	16,22	7,78

* Área de referência.

Foram avaliadas cinco propriedades rurais com diferentes tempos de adoção do sistema plantio direto (SPD): P1 (15 anos); P2 (11 anos); P3 (8

anos); P4 (6 anos); P5 (5 anos) e um fragmento de Mata (referência). Todas as propriedades possuíam menos de 55 hectares (ha) e, a maioria delas (80%),



menos de 30 ha. Todas as áreas amostradas foram cultivadas com soja na safra anterior e, no momento da amostragem, P1, P3 e P5 estavam com trigo, P4

com milho safrinha e P2 com milho safrinha já colhido (Tabela 2).

Tabela 2. Principais características das cinco propriedades rurais avaliadas na região oeste do Paraná.

Propriedade	Área (ha)	Local (PR)	Início SPD	Cultura	
				2003/04	2004
P1	24,20	Cafelândia	1988/89	Soja	Trigo
P2	53,24	Cafelândia	1992/93	Soja	Milho
P3	28,00	Palmitópolis	1995/96	Soja	Trigo
P4	18,00	Jesuítas	1997/98	Soja	Milho
P5	24,20	Formosa d'Oeste	1998/99	Soja	Trigo
Mata*	1,00	Cafelândia			

* Área de referência.

Para caracterização do teor de argila e matéria orgânica do solo (MO) foi realizada amostragem do solo, com trado holandês, nas mesmas profundidades da DS, para cada camada, foram coletadas cinco amostras simples, de forma aleatória, para compor uma amostra composta

representativa da propriedade (Tabela 3). A MO foi determinada a partir da oxidação do C orgânico pelo dicromato de potássio, seguido de leitura por colorimetria a 650 nm (Camargo et al., 2009). O teor de argila foi determinado pelo método da pipeta (Camargo et al., 2009).

Tabela 3. Matéria orgânica e argila do solo em cinco propriedades agrícolas e em uma área de referência, em Latossolo Vermelho eutroférrico.

Propriedades	Matéria Orgânica			Argila		
	0-0,10m	0,10-0,20m	0,20-0,30m	0-0,10m	0,10-0,20m	0,20-0,30m
	----- g kg ⁻¹ -----			----- % -----		
P1	49,26	35,03	33,45	71,34	83,10	86,49
P2	45,15	35,48	20,74	69,30	69,30	74,67
P3	39,12	36,79	22,19	75,89	79,15	83,20
P4	31,40	27,17	9,69	62,80	67,20	79,35
P5	31,44	24,22	16,91	56,89	60,78	65,69
Mata	46,65	48,12	21,49	74,78	75,10	79,33

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi avaliada em 15 pontos aleatórios de cada área, até a profundidade de 0,60 m e a cada 0,10 m, com penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar/Stolf (Stolf et al., 1983). Para caracterizar a ocorrência de compactação foram utilizados valores de RP entre 3,5 e 6,5 MPa como indicativos de baixos e altos graus de compactação, respectivamente (Torres & Saraiva, 1999).

A densidade do solo (DS) foi calculada pela relação entre a massa do solo seco em estufa a 105°C e o volume da amostra (Embrapa, 1997), enquanto o teor de água do solo (TAS) foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Camargo et al. (2009). As amostras foram coletadas em cilindros, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, com 5 repetições por área.

Considerou-se que valores de DS acima de 1,27 mg m⁻³ caracterizam solos com problemas de compactação (Torres & Saraiva, 1999).

A biomassa seca do solo foi avaliada coletando-se amostras em 10 pontos, utilizando-se um quadrado de 0,5 x 0,5 m (0,25 m²), e depois secando o material em estufa na temperatura de 45 °C até massa constante (Pacheco et al., 2011).

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, por meio do software estatístico SISVAR (Ferreira, 2011). Para avaliar as possíveis alterações das características físicas em decorrência das épocas de adoção do SPD, compararam-se os resultados obtidos nas cinco propriedades (P1, P2, P3, P4 e P5), em relação ao fragmento de mata nativa, para as quais se procedeu

a análise de componentes principais (ACP) nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, utilizando o software estatístico SPAD 3.5 (Cisai-Ceresta, 1998). Os atributos do solo selecionados para tratamento de agrupamento por análise multivariada foram o teor de argila do solo, resistência mecânica do solo à penetração, densidade do solo e teor de matéria orgânica.

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos pela análise da biomassa seca do solo nas propriedades rurais indicam que P2, mesmo não sendo a propriedade

com maior tempo de adoção do SPD, apresentou a maior quantidade de cobertura morta do solo (5.269,9 kg ha⁻¹). Por sua vez, não diferindo estatisticamente das P1 (3.228,4 kg ha⁻¹), P3 (4.288,2 kg ha⁻¹) e P4 (2.529,2 kg ha⁻¹), apenas superior à P5 (2.160,7 kg ha⁻¹) (Tabela 4). Vale ressaltar que na P2, o milho safrinha estava colhido no período da amostragem, além da propriedade utilizar cerca de 4 t ha⁻¹ ano⁻¹ de cama de aviário no manejo das lavouras. Nas demais propriedades ainda apresentavam-se com as culturas a campo, ou seja, não havia iniciado o período de colheita (Tabela 2).

Tabela 4. Biomassa seca, teor de água do solo e densidade do solo em propriedades agrícolas com tempos de adoção do sistema de plantio direto e em uma área de Mata (referência), em Latossolo Vermelho eutroférrico.

Prop	Biomassa seca kg ha ⁻¹	Teor de água do solo			Densidade do solo		
		0-0,10m	0,10-0,20	0,20-0,30	0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
		kg kg ⁻¹			Mg cm ⁻³		
P1	3.228bc	32,18Ab*	32,97Aab	34,93Aa	1,11Aa	1,15Ab	1,12Abc
P2	5.270b	24,47Bc	26,38ABc	29,29Ab	1,08Aa	1,17Ab	1,15Abc
P3	4.288bc	26,42Ac	25,84Ac	29,73Ab	1,17Aa	1,18Ab	1,25Aab
P4	2.529bc	24,63Bc	28,41Bbc	33,14Aa	1,16Ba	1,52Aa	1,41Aa
P5	2.161c	18,98Bd	19,38Bd	21,91Ac	1,22Aa	1,31Ab	1,26Aab
Mata	11.018a	37,78Aa	36,22ABa	35,06Ba	0,81Bb	0,84Bc	0,96Ac

* Médias seguidas de letras distintas diferem entre si nas linhas (maiúsculas) e na coluna (minúsculas) pelo teste de Tukey a 5 %.

Os menores valores de biomassa seca foram obtidos nas P1, P3, P4 e P5, sugerindo que a quantidade de cobertura morta no momento da amostragem não é a variável de maior importância para indicar problemas de compactação do solo. A cobertura morta é inconstante, pois depende do tempo de adoção do SPD, das culturas anteriores e do momento da amostragem (antes ou após a colheita).

A importância de ser avaliada a cobertura morta da propriedade se deve por esta influenciar na produtividade das culturas, principalmente nos anos com condições edafoclimáticas desfavoráveis, pois têm a função de dissipar por reflexão parte da energia luminosa, o que resulta numa menor oscilação da temperatura e da umidade na superfície, contribuindo para a manutenção de temperaturas mais amenas, com isso, diminuindo a perda de água por evaporação (Teodoro et al., 2011; Nunes et al., 2014).

Com base nos dados do teor de água do solo e densidade do solo (Tabela 4) e, considerando-se os

valores críticos de DS adotados por Torres & Saraiva (1999), observa-se que na camada de 0-0,10 m nenhuma das cinco áreas indicavam compactação, apesar de verificar diferença estatística entre os teores de água do solo, principalmente de P1 (32,18 kg kg⁻¹) e P5 (18,98 kg kg⁻¹).

Na profundidade de 0,10-0,20 m, a DS indicava que P4 estava compactada e que P5 estava numa faixa muito próxima ao nível crítico de compactação do solo (Tabela 4). Essas informações sugerem a necessidade de monitoramento da compactação do solo nas propriedades P4 e P5, uma vez que nos primeiros 0,15-0,20 m do solo concentram-se 85 a 90% das raízes (Reichert et al., 2009; Garcia & Rosolem, 2010). Nessas duas propriedades rurais foram observados os menores teores de MO, que de acordo com Jarecki et al. (2005), estão relacionados com valores de DS maiores e menor capacidade de retenção de água, assim como pelo baixo valor de umidade do solo na P5 (19,38 kg kg⁻¹).

Na profundidade de 0,20-0,30 m, a DS

indicou problemas de compactação nas propriedades P3, P4 e P5, e a DS na Mata foi sempre menor que nas áreas em SPD, sendo que as diferenças são menores para as áreas com maior tempo de adoção de SPD.

Para caracterizar a ocorrência de compactação foram utilizados valores de RP em torno de 3,5 e 6,5 MPa como indicativos de baixos e altos graus de compactação, respectivamente (Torres & Saraiva, 1999). Considerando-se os valores críticos de RP observa-se que na camada de 0,0-0,10 m, todas as propriedades apresentavam valores situados na faixa de risco de compactação do solo (Figura 1).

Na profundidade de 0,10-0,20 m, todas as áreas se encontravam na faixa de RP que indica problemas de compactação do solo, sendo que P3 e

P5 apresentavam os maiores riscos (Figura 1). Vale destacar que foi nessa camada que ocorreu o maior valor de RP, diferentemente do obtido por Ralisch et al. (2008) que constataram os maiores valores de RP para o SPD adotado a 14, 8 e 2 anos nas camadas 0,20-0,30 m. A maior ocorrência de indicativos de compactação constatada na profundidade de 0,10-0,20 m pode estar relacionada à ausência de revolvimento do solo e ao efeito cumulativo do tráfego de máquinas na superfície, como demonstrado por Tormena & Roloff (1996). A camada compactada pode ter sido resultante do preparo do solo utilizado na semeadura convencional (antes do SPD), localizando-se na profundidade em torno de 0,10 m (pé de grade) e de 0,15-0,17 m (pé de arado) (Bayer et al., 2006).

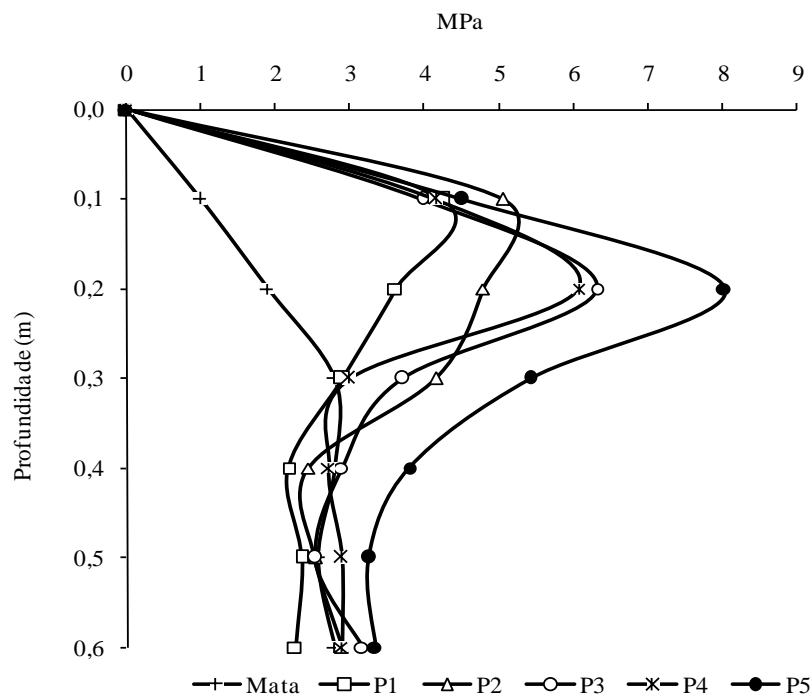


Figura 1. Resistência mecânica do solo à penetração em propriedades agrícolas com tempos de adoção do sistema de plantio direto e em uma área de referência, em Latossolo Vermelho eutroférico.

Na camada de 0,20-0,40 m de profundidade, na qual a concentração de raízes é menos expressiva, apresentando 14% do total de raízes na cultura da soja (Azevedo et al., 2007), os dados de RP indicaram risco de compactação do solo para a P2 e P3 e compactação para P5 (Figura 1). Em seguida, na camada de 0,40-0,60 m apresentou uma tendência dos valores de RP se concentrarem na faixa próximo de 3,0 MPa. Em trabalho desenvolvido por Tavares

Filho et al. (2001) o valor observado na camada de 0,60 m foi menor, situando-se na faixa de 1,5 MPa.

Em todas as propriedades, à medida que a profundidade foi aumentando, a RP, de maneira geral, alcançou a faixa considerada não compactada, verificando que a diminuição nos valores de RP ocorreu a partir da camada de 0,30 m (Figura 1). Esse resultado tem respaldo da bibliografia, na qual relatam que a maior compactação em solos sob SPD



encontra-se nas camadas de 0,20 m (Higashibara et al., 2013), 0,25 m (Tavares Filho et al., 2001) e 0,30 m (Assis & Lanças, 2005) de profundidade, e que após essas profundidades ocorre redução dos valores de RP.

Os valores de RP das áreas, independente do tempo de adoção do SPD, foram maiores que o da Mata (Figura 1), possivelmente, este baixo valor ocorreu pela presença de grande quantidade de raízes e matéria orgânica, especialmente próxima à superfície do solo (Benito et al., 2008). Bertol et al. (2004) estudando o efeito de manejos do solo na sua estrutura física, observaram aumento da RP do solo em todos os tratamentos sob ação antrópica quando comparado ao campo nativo. No entanto, em pesquisa desenvolvida por Ralisch et al. (2008), observou-se que o SPD adotado a 14 anos apresentou valores de RP iguais estatisticamente aos encontrados na Mata até a profundidade de 0,20 m e, segundo os autores, isso ocorreu em função da melhoria da estrutura do solo pelo longo período de implantação do SPD.

Analisando cada propriedade individualmente, observou-se que a propriedade P1 iniciou o SPD em 1988/89 e, em todas as profundidades estudadas, não apresentou dados de RP que sugerissem problemas de compactação do solo (Figura 1), devendo-se considerar, no entanto, que esses valores podem ter sido subestimados pelo fato do solo dessa propriedade encontrar-se na consistência plástica no momento da amostragem.

A propriedade P2, que iniciou o SPD em 1992/93 apresentou valores iguais estatisticamente a P1 nas variáveis cobertura morta e densidade do solo (0-0,30 m), enquanto para as variáveis teor de água do solo e RP observa-se superioridade da área P1 sobre a P2 (Figura 1). Pelos dados obtidos, Pelos dados obtidos, o tempo de adoção do SPD diminuiu o efeito da RP quando bem manejado, pela rotação de culturas e pelo acúmulo de cobertura morta na superfície do solo.

Com relação a P3 que adotou o SPD em 1995/96, apresentou dados de RP que indicavam maiores riscos de compactação na camada de 0,05-0,30 m (Figura 1). Para a P4, que iniciou no SPD em 1997/98, a RP indicava riscos de compactação nas profundidades de 0,05-0,20 m. A propriedade P5 que adotou o SPD em 1998/99 apresentou valores nas profundidades de 0,15-0,25 m que caracterizam compactação do solo.

Pelos resultados existe a necessidade de monitoramento das áreas, principalmente das

propriedades P3 e P5 (Figura 1). Resultados similares foram obtidos por Assis & Lanças (2005) na qual o SPD adotado há 12 anos foi o que apresentou o menor valor de RP, em contrapartida, o SPD adotado há 4 e 5 anos obtiveram as maiores RP. Esse resultado também foi observado por Ralisch et al. (2008), onde a área em SPD a 2 anos foi a que apresentou maior RP, comparativamente aos demais anos de adoção do sistema, 8 e 14 anos.

A análise de componentes principais originou dois fatores (Fator 1 e Fator 2) que conjuntamente possibilitaram uma ordenação bidimensional, o que permitiu a confecção de um gráfico biplot (Figura 2), em que a distribuição das variáveis selecionadas apresentou variância acumulada de 81,80% para os Fatores 1 e 2, sendo que o Fator 1 foi capaz de explicar 64,84% e o Fator 2 explicou 16,96%. Loss et al. (2009), avaliando a influência de sistemas de manejo agroecológico sobre os atributos físicos e químicos de um Argissolo Vermelho Amarelo, verificaram variância acumulada de 72,97% e valores para os eixos F1 e F2 de 49,54% e 23,43%, respectivamente.

A distinção dos fatores que influenciaram nos tempos de adoção do SPD, para o Fator 1 foram as variáveis resistência mecânica do solo à penetração (RP) e densidade do solo (DS), nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, apresentaram autovetores positivos, enquanto os teores de matéria orgânica (MO) e de argila do solo (ARG), nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, resultaram em autovetores negativos. Com relação ao Fator 2, somente a MO na camada de 0,10-0,20 m e a RMSp na profundidade 0,20-0,30 m obtiveram autovetores positivos.

As propriedades P2, P4 e P5 (Figura 2) encontram-se mais próximos da variável RP30, o que indica maior efeito da variável resistência mecânica do solo à penetração sobre essas propriedades na camada de 0,20-0,30 m, sugerindo que essas são as áreas com maior efeito da compactação do solo. No caso das propriedades P4 e P5 esse resultado justifica-se pelo fato de serem as duas propriedades com o menor tempo de adoção do SPD, pois nos primeiros anos de adoção do SPD pode ocorrer aumento na densidade do solo nas camadas superficiais (Aratani et al., 2009).

Nas propriedades P1 e P3 observa-se maior efeito da variável ARG20, ARG30 e MO30, significando que o teor de argila na camada de 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m e a matéria orgânica na profundidade de 0,20-0,30 m foram as que

apresentaram as maiores influências nessas duas propriedades, provavelmente devido o SPD proporcionar acúmulo de resíduos vegetais que tende a ser maior de acordo com o tempo de adoção do sistema. Outra vantagem do maior tempo de adoção do SPD é a diminuição da densidade do solo em decorrência do acúmulo de resíduos culturais na superfície, a qual, associada às raízes em decomposição (Collares et al., 2006), proporciona a

reestruturação do solo e maior distribuição e continuidade dos poros. Em estudo desenvolvido por Pereira Neto et al. (2007) foram observados que os perfis dos solos com SPD implantado há mais de 8 anos, agruparam com o perfil da Mata, indicando a tendência conservacionista do SPD na estruturação física do solo.

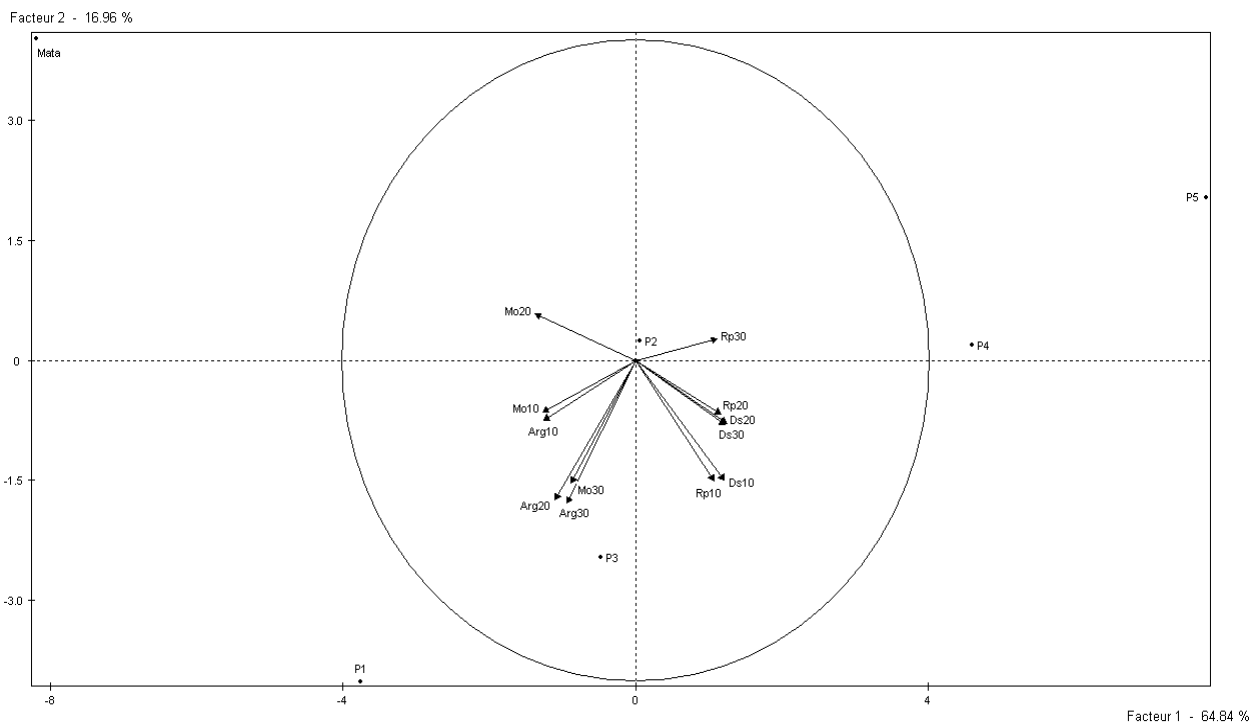


Figura 2. Dispersão (gráfico biplot) realizada por análise de componentes principais nas camadas de 0-0,10 (10); 0,10-0,20 (20) e 0,20-0,30 (30) metros de profundidade de alguns atributos físicos do solo, em propriedades agrícolas com tempos de adoção do sistema de plantio direto e em uma área de Mata (referência), em Latossolo Vermelho eutroférico. RP: resistência mecânica do solo à penetração, DS: densidade do solo, Mo: matéria orgânica e Arg: teor de argila.

A Mata teve maior efeito da variável matéria orgânica na profundidade de 0,10-0,20 m (Figura 2), como esperado, uma vez que foi escolhida por ser um local sem nenhum tipo de manejo agrícola. De acordo com Carneiro et al. (2009) a influência é devido a mata nativa apresentar uma maior diversidade de espécies vegetais que a dos sistemas de manejo agrícola, implicando na deposição de substratos orgânicos oxidáveis com composição variada na serrapilheira, assim como a ausência de perturbações decorrentes de atividades antrópicas em solos agricultáveis, na qual possibilita o acúmulo de maiores teores de biomassa microbiana ao longo

do perfil do solo, o que indica um maior equilíbrio do ecossistema.

Observa-se na Figura 2, o comportamento antagônico entre as variáveis MO20 e RP20, DS20 e DS30, e também entre a MO10 e RP30, evidenciando a relação indireta entre elas, em que os maiores valores de MO correspondem aos menores valores de RMS e DS, ou seja, quanto maior o teor de matéria orgânica menor a compactação do solo, o que é relatado por outros autores (Andrade et al., 2009; Braida et al., 2010). Resultado similar foi obtido por Loss et al. (2009), em que os autores relataram o efeito antagônico entre as variáveis:



volume total de poros (VTP%) e a densidade do solo.

Conclusões

As propriedades agrícolas analisadas encontram-se em processo de compactação na profundidade de 0,10-0,20 m, e a partir da camada de 0,30 m há uma diminuição dos valores de resistência mecânica do solo à penetração.

O tempo de adoção do sistema de plantio direto influenciou positivamente nos atributos do solo, diminuindo o efeito da resistência mecânica do solo à penetração e densidade do solo nas propriedades com 15 e 11 anos. As propriedades com 8 e 5 anos de adoção do plantio direto necessitam de monitoramento por apresentarem atributos do solo que caracterizam compactação.

O emprego de sistemas de manejo menos agressivos e a adoção de rotação de culturas, práticas que contribuem para o acúmulo de matéria orgânica no solo constituem-se em alternativas eficazes para minimizar a compactação dos solos agrícolas.

Referências

ANDRADE, R.S.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 411-418, 2009.

ARATANI, R.G.; FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico 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 distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 515-522, 2005.

AZEVEDO, D.M.P.; LEITE, L.F.C.; TEIXEIRA NETO, M.L.; DANTAS, J.S. 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 Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 1, p. 32-40, 2007.

BATEY, T. Soil compaction and soil management – a review. **Soil Use and Management**, v. 25, n. 4, p. 335-345, 2009.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; SANTOS, S.R. Física do solo, diagnóstico e manejo da compactação em plantio direto. In: FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2006. v. 1, p. 161-188.

BENITO, N.P.; GUIMARÃES, M.F.; PASINI, A. Caracterização de sistemas de manejo em Latossolo Vermelho utilizando parâmetros biológicos, físicos e químicos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 473-484, 2008.

BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; LEMPP, B.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Anatomia radicular de milho em solo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 3, p. 299-305, 2010.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004.

BOTTEGA, E.L.; BOTTEGA, S.P.; SILVA, S.A.; QUEIROZ, D.M.; SOUZA, C.M.A.; RAFULL, L.Z.L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 2, p. 331-336, 2011.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 131-139, 2010.

CALEGARI, A.; CASTRO FILHO, C.; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 147-158, 2006.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. 77p. (Boletim técnico, 106).



- CARNEIRO, C.E.A.; MELÉM JÚNIOR, N.J.; AZEVEDO, M.C.B.; ANDRADE, E.A.; KOGUISHI, M.S.; DIEHL, R.C.; RICCE, W.S.; PASSARIN, A.L.; VAZ, R.H.M.; STELMACHUK, T.L.L.; GUIMARÃES, M.F.; RALISCH, R. Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um Latossolo Vermelho eutroférico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 5-10, 2009.
- CISIA – CERESTA. **Programa:** SPAD for Windows (software). Versão 3.5, 1998.
- COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1663-1674, 2006.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212p.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1489-1498, 2010.
- HIGASHIBARA, L.R.; OKUMURA, R.S.; MARIANO, D.C.; ZACCHEO, P.V.C.; SALDANHA, E.C.M. Avaliação do sistema de semeadura direta pelas análises multivariadas de atributos físicos em Latossolo Vermelho. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 423-433, 2013.
- JARECKI, M.K.; LAL, R.; JAMES, R. Crop management effects on soil carbon sequestration on selected farmer's fields in northeastern Ohio. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, n. 2, p. 265-276, 2005.
- LANZANOVA, M.E.; ELTZ, F.L.F.; NICOLOSO, R.S.; AMADO, T.J.C.; REINERT, D.J.; ROCHA, M.R. Atributos físicos de um Argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1333-1342, 2010.
- LIMA, C.L.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S. Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 1, p. 89-98, 2010.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 68-75, 2009.
- MARTINS, M.V.; CARVALHO, M.P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 1, p. 147-154, 2009.
- NUNES, J.C.; CAVALCANTE, L.F.; LIMA NETO, A.J.; SILVA, J.A.; SOUTO, A.G.L.; ROCHA, L.F. Humitec[®] e cobertura morta do solo no crescimento inicial da goiabeira cv. 'Paluma' no campo. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, n. 1, p. 89-96, 2014.
- PACHECO, L.P.; BARBOSA, J.M.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.L.O.A.; ASSIS, R.L.; MADARI, B.E.; PETTER, F.A. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1787-1799, 2011.
- PEREIRA NETO, O.C.; GUIMARÃES, M.F.; RALISCH, R.; FONSECA, I.C.B. Análise do tempo de consolidação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 489-496, 2007.
- PLANT, R.E. **Spatial data analysis in ecology and agriculture in R**. New York: CRC, 2012. 617p.
- RALISCH, R.; MIRANDA, T.M.; OKUMURA, R.S.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L.C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista**



Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,
Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 381-384, 2008.

REICHERT, J.M.; KAISER, D.R.; REINERT, D.J.;
RIQUELME, U.F.B. Variação temporal de
propriedades físicas do solo e crescimento radicular
de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa
Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 310-319,
2009.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.;
SILVA, V.R. Atributos físicos e rendimento de
grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos
compactados e escarificados. **Ciência Rural**, v. 39,
n. 1, p. 58-64, 2009.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO,
V.L. Penetrômetro de impacto IAA/Planalsucar -
STOLF. Recomendações para seu uso. **STAB**,
Piracicaba, v. 1, n. 3, p.18-23, 1983.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.;
GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência
do solo à penetração e desenvolvimento do sistema
radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes
sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista
Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3,
p. 725-730, 2001.

TEODORO, R.B.; OLIVEIRA, F.L.; SILVA,
D.M.N.; FÁVERO, C.; QUARESMA, M.A.L.
Leguminosas herbáceas perenes para utilização
como coberturas permanentes de solo na Caatinga
Mineira. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2,
p. 292-300, 2011.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da
resistência à penetração de um solo sob semeadura
direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,
Viçosa, v. 20, n. 1, p. 333-339, 1996.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de
impedimento mecânico do solo em sistemas
agrícolas com a soja**. Londrina: EMBRAPA Soja,
1999. 58p. (EMBRAPA Soja. Circular Técnica, 23).