



## AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA PELAS ANÁLISES MULTIVARIADAS DE ATRIBUTOS FÍSICOS EM LATOSSOLO VERMELHO

---

Leandro Riyuiti Higashibara<sup>1</sup>, Ricardo Shiqueru Okumura<sup>2</sup>, Daiane de Cinque Mariano<sup>3</sup>, Paulo Vicente Contador Zaccheo<sup>4</sup>, Eduardo César Medeiros Saldanha<sup>2</sup>

1. Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual de Londrina
  2. Professor da Universidade Federal Rural da Amazônia, Rodovia PA 124, km 0, Vila Nova, Capitão Poço/PA – Brasil, CEP: 68650-000 (ricardo.okumura@ufra.edu.br)
  3. Doutora em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá
  4. Doutorando em Agronomia pela Universidade Estadual de Londrina. Brasil.
- Recebido em: 06/05/2013 – Aprovado em: 17/06/2013 – Publicado em: 01/07/2013
- 

### RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar o efeito da compactação do solo por meio da técnica de análise multivariada dos atributos físicos, em propriedades agrícolas com diferentes épocas de implantação do sistema de semeadura direta e uma pastagem. O experimento foi desenvolvido no município de Mauá da Serra/PR, os solos das áreas foram caracterizados como Latossolo Vermelho eutrófico de textura muito argilosa. Os sistemas de manejo constituíram-se de três propriedades agrícolas com diferentes anos de adoção do sistema de semeadura direta, 12, 21 e 29 anos, uma pastagem e uma mata, como referência do solo natural, sendo os atributos físicos avaliados a umidade gravimétrica, densidade do solo e resistência à penetração. O solo sob pastagem e a área com 29 anos de adoção da semeadura direta apresentaram os maiores valores de resistência à penetração do solo, na profundidade de 0-0,20 m. Observou-se que a utilização da estatística multivariada foi eficiente em analisar as similaridades, demonstrando que o solo com 29 anos de adoção da semeadura direta foi a que mais se aproximou dos atributos físicos do solo da mata.

**PALAVRAS-CHAVE:** análise de agrupamentos hierárquica, análise de componentes principais, compactação do solo.

### EVALUATION OF NO-TILL SYSTEM BY MULTIVARIATE ANALYSIS OF PHYSICS ATTRIBUTES ON A RED LATOSOL

#### ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the effect of soil compaction by multivariate analysis methods of the physics attributes in farms with different times of implantation of no-tillage and pasture. The experiment was conducted in the Mauá da Serra city, State of Paraná, Brazil, land areas were characterized as Red Latosol of loamy soil. The management systems consisted of three farms with different years of adoption of no-tillage, 12, 21 and 29 years, a pasture and a forest, a reference as natural soil, and the evaluated attributes gravimetric moisture, soil bulk density and penetration

resistance. The soil under pasture and area with 29 years of adoption of no-tillage system showed the highest penetration resistance of the soil at a depth of 0-0.20 m. It was observed that the use of multivariate analysis was efficient in analyzing the similarities, showing that soil with 29 years of adoption no-tillage system was the one closest to the physical attributes of the forest soil.

**KEYWORDS:** cluster analysis, principal components analysis, soil compaction.

## INTRODUÇÃO

A tecnologia do sistema de semeadura direta (SSD), testada no âmbito de pesquisa oficial, no final dos anos 60, teve sua adoção por agricultores individualmente e, em seguida por diversos grupos como o Clube da Minhoca, Plantio Direto e os Amigos da Terra (SILVA *et al.*, 2009).

Esse sistema de manejo é eficaz na proteção da superfície do solo contra agentes erosivos (MELO JÚNIOR *et al.*, 2011), mas como não ocorre revolvimento, há formação de camadas compactadas na superfície do solo, causada pelo tráfego de máquinas por ocasião da semeadura, tratos culturais, colheita, transporte (NEVES *et al.*, 2009) e pelo pisoteio de animais em áreas de pastejo (RALISCH *et al.*, 2008; MORAIS *et al.*, 2012). Segundo MELO JÚNIOR *et al.* (2010), o tráfego intenso de animais, especialmente, em solos argilosos úmidos ocasiona a compactação.

Uma estratégia que vem sendo adotada para análise da compactação é o estudo da resistência do solo à penetração, por estar diretamente relacionada ao crescimento das raízes e, conseqüentemente, ao desenvolvimento das plantas (IMHOFF *et al.*, 2000). Esta avaliação requer o monitoramento dos dados de densidade e de umidade, uma vez que esses fatores influenciam diretamente os valores da resistência mecânica do solo à penetração. BENEDETTI *et al.*, (2010), observaram que a resistência varia diretamente com a densidade e inversamente com o conteúdo de água do solo, o que dificulta a interpretação, caso esses fatores não sejam levados em consideração.

Valores de resistência à penetração para as raízes entre 1 e 3,5 MPa são considerados limitantes ao desenvolvimento do sistema radicular do milho (TAVARES FILHO *et al.*, 2001; FOLONI *et al.*, 2003) e da soja (BEUTLER & CENTURION, 2004). Em condições de campo, TORMENA & ROLOFF (1996), verificaram que a resistência de 2 MPa não impediu o crescimento das raízes de ervilhaca, milho, aveia preta e soja cultivadas em sucessão de culturas, com umidade de solo padrão de 0,34 kg kg<sup>-1</sup>, em um Latossolo Vermelho-escuro.

## OBJETIVOS

O objetivo do estudo foi avaliar o efeito da compactação do solo por meio da técnica de análise multivariada dos atributos físicos, em propriedades agrícolas com diferentes épocas de implantação do sistema de semeadura direta e uma pastagem.

## MATERIAL E METODOS

O estudo foi conduzido em propriedades agrícolas localizadas no município de Mauá da Serra/PR. O clima é do tipo subtropical Cfb (segundo classificação de KÖEPPEN), as coordenadas geográficas são 22°29'S e 47°26'W, a altitude média é de 720 m, e o solo é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico de textura

muito argilosa (EMBRAPA, 2006), com 615, 104 e 281 g kg<sup>-1</sup> de argila, silte e areia, respectivamente.

Os sistemas de manejo estudados constituíram-se de três propriedades agrícolas com diferentes anos de adoção do sistema de semeadura direta, 12 (P12), 21 (P21) e 29 anos (P29) com rotação de culturas soja/milho (verão) e trigo/aveia (inverno), uma pastagem (*Panicum maximum* Jacq cv. Tanzânia-1) e uma mata, como referência do solo natural. Os dados foram coletados no período de três a 10 de julho de 2006, sendo avaliados os seguintes atributos físicos: umidade gravimétrica (UG), densidade do solo (DS) e resistência à penetração do solo (RP).

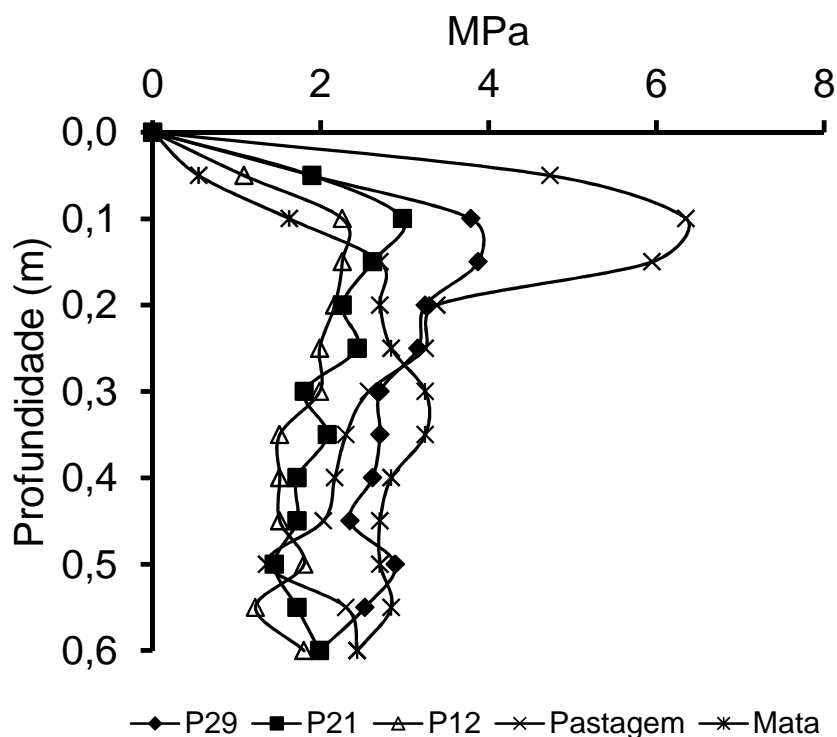
Em todas as áreas, as coletas dos dados de penetrometria foram realizadas de forma aleatória em 15 pontos de amostragem, evitando-se locais como terraços, formigueiros, cupinzeiros ou quaisquer outras alterações do perfil do solo. Foi utilizado penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar/Stolf para as profundidades de 0,00 a 0,60 m, anotando-se os dados obtidos a cada 0,05 m. Para cada profundidade amostrada, o número de impactos dm<sup>-1</sup> foi transformado em Kgf cm<sup>-2</sup> por meio da fórmula proposta por STOLF (1991),  $R = 5,6 + 6,89 \times \text{impactos dm}^{-1}$  e, posteriormente, transformado em resistência dinâmica (MPa), considerando que 1 MPa = 10,2 Kgf cm<sup>-2</sup>.

Para a coleta dos dados da densidade foi utilizado o método do cilindro ou anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), nas profundidades 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, com cinco repetições por propriedade. A cobertura vegetal do solo proveniente do resíduo vegetal em superfície foi avaliada pela coleta de amostras em cinco pontos, por meio de um quadrado de 0,25 x 0,25m, e posterior, secagem do material em estufa de circulação forçada de ar na temperatura de 45 °C até massa constante.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), por meio do software estatístico SAS (SAS, 2008). Em seguida, foram aplicados dois métodos estatísticos multivariados, análise de agrupamentos hierárquica e análise de componentes principais (FONSECA & FONSECA, 2004), mediante o software estatístico SPAD 3.5.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelas informações apresentadas na Figura 1, observou-se que nas profundidades de 0,05 à 0,15 m, a área sob pastagem apresentou resistência à penetração no solo superiores a todos os outros, com valores próximos de 6 MPa, enquanto as propriedades agrícolas P21 e P12 foram iguais a Mata, o que demonstra baixos valores de RP. A P29 proporcionou resistência à penetração de 4 MPa, intermediária entre os locais pastagem e mata. De acordo com RALISCH *et al.*, (2008) e MORAIS *et al.*, (2012), áreas sob pastagem apresenta maior valor de resistência à penetração na superfície devido ao pisoteio dos animais.



**FIGURA 1**– Resistência do solo à penetração em três propriedades agrícolas com diferentes períodos de adoção do sistema de semeadura direta, 12 (P12), 21 (P21) e 29 anos (P29), uma pastagem e uma mata (referência), em Latossolo Vermelho eutroférico.

Nas profundidades de 0,25 até 0,60 m, a RP foi igual, com valores mínimos e máximos em torno de 2 e 3 MPa, respectivamente, o que demonstra que o sistema de semeadura direta ocasiona uma compactação superficial do solo, em decorrência da ausência de revolvimento e o efeito cumulativo do tráfego de máquinas na superfície do solo (TORMENA & ROLOFF, 1996).

De maneira geral, os resultados obtidos demonstram que abaixo da camada de 0,25 m a mata apresentou os maiores valores de resistência à penetração do solo até a profundidade avaliada, na qual sugere uma maior compactação do solo neste local, uma vez que o aumento na densidade diminui a aeração do solo (STONE & SILVEIRA, 2001).

A área sob pastagem apresentou resistência à penetração acima de 6 MPa e, o local P29 proporcionou valor em torno de 4 MPa na camada de 0,20 m, ambos os locais foram classificados de acordo com SOIL SURVEY STAFF (1993) como resistência à penetração muito alta. Estes valores estão acima dos relatados na literatura de 1 a 3,5 MPa como restritivo ao crescimento radicular de milho (TAVARES FILHO *et al.*, 2001; FOLONI *et al.*, 2003) e soja (BEUTLER & CENTURION, 2004) em Latossolos Vermelhos.

A variável cobertura vegetal não diferiu estatisticamente entre os locais avaliados (Tabela 1), possivelmente, em decorrência do valor de coeficiente de variação obtido de 38,88%, que segundo PIMENTEL GOMES (1985) é classificado como muito alto o que demonstra alta variação dos dados experimentais obtidos,

assim como a baixa precisão experimental.

**TABELA 1-** Cobertura vegetal (VEG), umidade gravimétrica e densidade do solo em três propriedades agrícolas (Prop) com diferentes períodos de adoção do sistema de semeadura direta, 12 (P12), 21 (P21) e 29 anos (P29), uma pastagem (Past) e uma mata (referência), em Latossolo Vermelho eutroférico.

Prop	VEG	Umidade gravimétrica			Densidade do solo		
		0-0,1m	0,1-0,2m	0,2-0,4m	0-0,1m	0,1-0,2m	0,2-0,4m
	Mg ha <sup>-1</sup>	kg kg <sup>-1</sup>			g cm <sup>-3</sup>		
P29	5,28a*	24,5b	24,5b	23,4c	0,92a	0,96a	0,95a
P21	7,57a	31,8ab	31,8ab	37,8ab	0,93a	0,90a	0,91a
P12	5,94a	42,8a	42,8a	38,3ab	0,89a	0,91a	0,97a
Past	5,74a	41,7a	41,7a	41,4a	0,96a	0,98a	0,94a
Mata	6,66a	33,7ab	33,7ab	25,6bc	0,74b	0,87a	0,73b
CV(%)	38,88	5,75	5,75	22,81	2,61	7,00	9,34

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%

A cobertura vegetal dissipa por reflexão parte da energia luminosa, resultando numa menor oscilação da temperatura e umidade na superfície, o que contribui para a manutenção de temperaturas mais amenas e evita a perda de água por evaporação (COLOZZI-FILHO *et al.*, 1999). LAL (1974) observou que solo coberto com 4,0 Mg ha<sup>-1</sup> de casca de arroz apresentava 9% a mais de água e temperaturas máximas diárias mais baixas de 4 a 9 °C, em relação ao solo descoberto. Desse modo, apesar dos dados não diferirem estatisticamente, observa-se que os valores de cobertura vegetal foram superiores a 5,28 Mg ha<sup>-1</sup>, o que sugere algum benefício nos solos avaliados (Tabela 1).

Por meio dos resultados de umidade gravimétrica do solo, observa-se que o solo P29 apresentou a menor UG (24,13%), nas três profundidades analisadas, enquanto a área sob pastagem foi a que obteve o maior valor (41,58%) no momento da avaliação (Tabela 1), o que sugere uma maior densidade do solo com pastagem, caso fosse realizadas as amostragens com os mesmo valores de umidade gravimétrica do solo, uma vez que segundo BENEDETTI *et al.*, (2010), a resistência mecânica do solo à penetração é influenciada por vários fatores, sendo a densidade e a umidade os principais, em uma pesquisa de resistência mecânica do solo à penetração, é fundamental que se faça o monitoramento dos dados de densidade e de umidade, uma vez que esses fatores influenciam diretamente os valores da resistência mecânica do solo à penetração.

Com relação a variável densidade do solo, foi observado que na profundidade de 0-0,10 e 0,20-0,30 m a menor DS ocorreu na mata, enquanto que os outros tratamentos apresentaram valores maiores estatisticamente. Na profundidade 0,10 à 0,20 m todas as propriedades agrícolas foram iguais estatisticamente (Tabela 1).

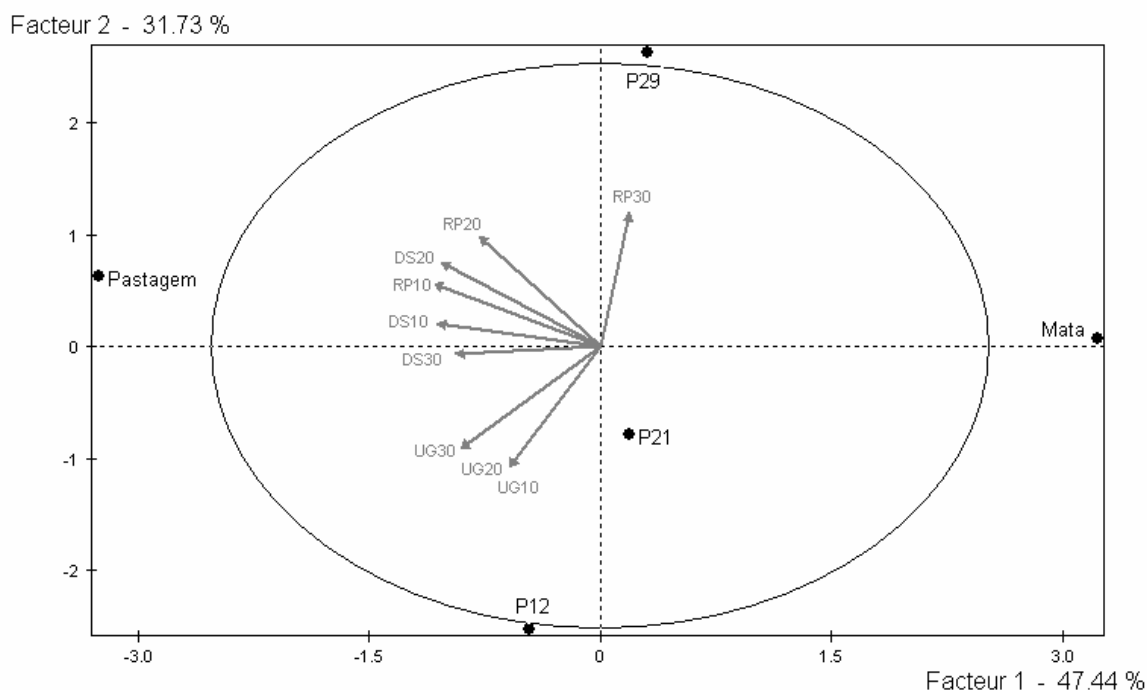
Pelas informações apresentadas na Tabela 1, independente da quantidade de cobertura vegetal, os solos não variaram os valores de DS, o que discordam dos resultados de VIANA *et al.*, (2011), FREITAS *et al.*, (2012) e MORAIS *et al.*, (2012), que solos com teores mais elevados de cobertura vegetal apresentam densidades aparentes menores, uma vez que possuem maior capacidade de retenção de água. Além disso, os tráfegos intensivos de máquinas e implementos agrícolas acarretam em aumento na densidade do solo cultivados (FREITAS *et al.*, 2011), uma vez que a vulnerabilidade do solo à compactação são modificados pelos sistemas de uso e

manejo do solo (BLANCO-CANQUI *et al.*, 2009).

A densidade do solo não diferiu estatisticamente entre as propriedades agrícolas submetidas aos diferentes anos de adoção do SSD e dos sistemas de manejo (Tabela 1), provavelmente, devido os solos avaliados possuírem a mesma natureza do material mineral, com isso, pouca ou nenhuma diferença são constatados para a mesma classe de solo (MELO JÚNIOR *et al.*, 2010).

Apesar de verificada a compactação nas áreas de pastagem e da propriedade agrícola P29, por meio da técnica da penetrometria (Figura 1), a análise da densidade do solo até a profundidade de 0,30 m não constatou valores que limitem o desenvolvimento de raízes, uma vez que os níveis críticos são de 1,0 à 1,6 g cm<sup>-3</sup> (TORMENA *et al.*, 2004; BONFIM-SILVA *et al.*, 2011), valores bem acima dos encontrados no presente estudo de 0,73 à 0,98 g cm<sup>-3</sup> (Tabela 1), ou seja, os solos estudados apresentavam baixos valores de densidade do solo, o que possibilita um maior desenvolvimento das raízes, em decorrência de maior espaço poroso e de melhor percolação da água. De acordo com CYSNE *et al.*, (2012), este resultado reflete que os resíduos das coberturas foram incorporados ao solo na forma de matéria orgânica, contudo não foram suficientes para modificar a densidade do solo.

Na Figura 2 são apresentados os resultados da análise dos componentes principais, o que possibilita uma análise mais generalizada da qualidade das áreas estudadas (FREITAS *et al.*, 2012).



**FIGURA 2** – 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 das propriedades físicas do solo, em três propriedades agrícolas com diferentes períodos de adoção do sistema de semeadura direta, 12 (P12), 21 (P21) e 29 anos (P29), uma pastagem e uma mata (referência), em Latossolo Vermelho eutrófico. RP: resistência do solo à penetração, DS: densidade do solo, UG: umidade gravimétrica.

De acordo com FONSECA & FONSECA (2004) e PEREIRA NETO *et al.*, (2007), os eixos fatoriais formados nos espaços indicam: a) as propriedades

agrícolas, representados por pontos dispersos nesse espaço, sendo que, quanto mais próximos os pontos estiverem entre si maior a semelhança dos valores de atributos físicos dos solos; b) os atributos físicos, por meio de vetores; o ângulo que os vetores formam entre si representa a correlação entre os atributos físicos, ou seja, quanto menor o ângulo maior a correlação.

A representação gráfica das variáveis nos componentes principais permitiu caracterizar os parâmetros que discriminaram na formação e diferenciação das propriedades agrícolas (Figura 2). As variáveis que correlacionaram com a pastagem foram às densidades dos solos, nas três camadas (0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m), e a RP na camada de 0-0,10 m, o que reforça os resultados apresentados na Figura 1 e Tabela 1, uma vez que o tráfego intenso de animais (RALISCH *et al.*, 2008; MORAIS *et al.*, 2012), especialmente, em solos argilosos úmidos, promovem um desarranjo na estabilidade dos agregados com favorecimento da individualização das partículas do solo, o que acarreta na compactação do solo (MELO JÚNIOR *et al.*, 2010).

As variáveis UG10, UG20 e UG30 apresentaram correlações positivas entre si superiores a 0,78, podendo ser UG10 e UG20 considerados um grupo de variáveis. As variáveis DS10, DS20, DS30 e RP10 apresentaram correlações positivas entre si superiores a 0,48. As baixas correlações foram visualizadas para as variáveis RP30 e RP20, o que evidencia a importância da inclusão delas na análise.

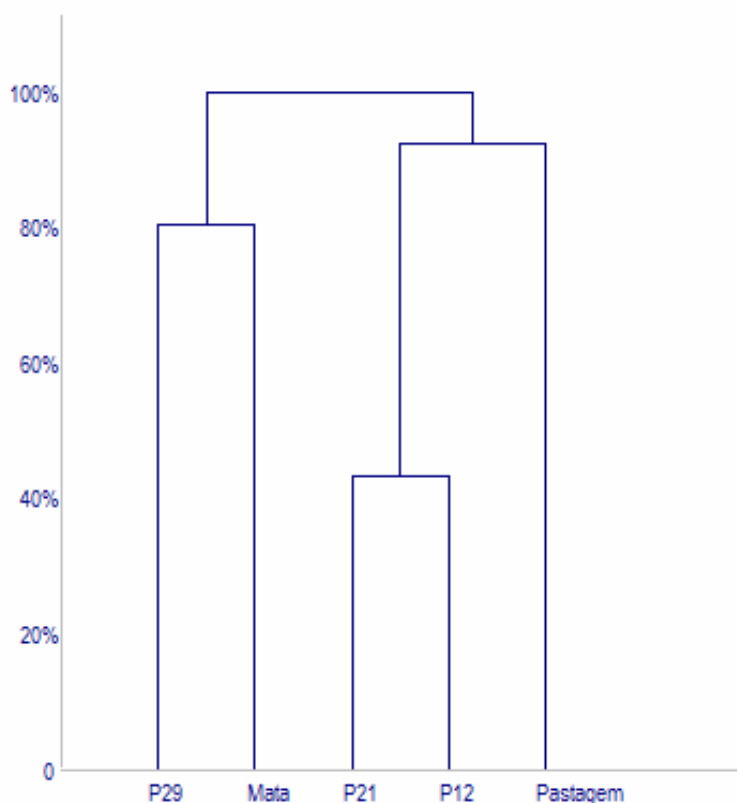
Com as análises estatísticas foi possível verificar a relação existente entre as áreas estudadas, em que os locais e os níveis de profundidade, resultaram em combinação linear dos valores dos diferentes manejos que explicou 47,44% da variabilidade dos dados (chamada primeira componente principal), o segundo componente principal esclareceu 31,73%, logo, os dois eixos representaram 79,17% da variância total (Tabela 2). BURAK *et al.*, (2010), estudando os atributos físicos de uma mesma classe de solo, Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura argilosa, verificaram que os dois primeiros componentes principais foram capazes de explicar 58,58% da variação total dos dados.

**TABELA 2**– Auto-valores e distribuição percentual da variância pela análise dos componentes principais para as análises físicas do solo.

Componente	Auto-Valor	Porcentagem	Porcentagem acumulada
1	4,27	47,44	47,44
2	2,86	31,73	79,17
3	1,59	17,64	96,80
4	0,29	3,20	100,00
5	0,00	0,00	100,00

Diante da possibilidade de utilização das variáveis selecionadas para distinção das áreas, realizou-se a utilização da análise de agrupamento hierárquico, com o objetivo de avaliar a similaridade por meio de um dendograma de ordenação, em que as propriedades agrícolas foram agrupadas com base no seu grau de semelhança, na qual se verifica que o classificador separou as propriedades agrícolas em dois grandes grupos, representados pelos dois ramais, na qual os locais com SSD implantado há 12 (P12) e 21 anos (P21) ficaram agrupados com o solo sob pastagem, enquanto as propriedades agrícolas com 29 anos (P29) permaneceram agrupadas com o perfil de mata (Figura 3), com isso, demonstrou as particularidades de cada tipo de manejo, uma vez que segundo FREITAS *et al.*, (2012) as características dos atributos de um mesmo grupo são semelhantes e

diferentes do comportamento de outros agrupamentos. Desse modo, a utilização do dendograma indicou a tendência conservacionista da implantação do SSD na estruturação física do solo, o que ratifica a importância desse sistema para o meio ambiente (PEREIRA NETO *et al.*, 2007).



**FIGURA 3**—Classificação hierárquica ascendente aplicada em três propriedades agrícolas com diferentes períodos de adoção do sistema de semeadura direta, 12 (P12), 21 (P21) e 29 anos (P29), uma pastagem e uma mata (referência), em Latossolo Vermelho eutrófico.

## CONCLUSÕES

O solo sob pastagem e a propriedade agrícola com 29 anos de adoção do sistema de semeadura direta apresentaram os maiores valores de resistência à penetração do solo, na profundidade de 0 à 0,20 m.

A utilização da estatística multivariada, análise de agrupamento e de componentes principais, foi eficiente para verificar as similaridades, com base nos atributos físicos do solo.

Os solos agricultáveis que mais se aproximaram dos atributos físicos do solo natural, mata, foi a propriedade agrícola com 29 anos de adoção do sistema de semeadura direta.

## REFERÊNCIAS

BENEDETTI, M.M.; MELO JÚNIOR, H.B.; DUARTE, I.N.; BORGES, E.N. Resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes usos. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1-9, 2010.

BEULTER, A.N.; CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 581-588, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000600010>

BLANCO-CANQUI, H.; STONE, L.R.; SCHLEGEL, A.J.; LYON, D.J.; VIGIL, M.F.; MIKHA, M.M.; STAHLMAN, P.W.; RICE, C.W. No-till induced increase in organic carbon reduces maximum bulk density of soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, n. 6, p. 1871-1879, 2009. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2008.0353>

BONFIM-SILVA, E.M.; ANICÉSIO, E.C.A.; SILVA, F.C.M.; DOURADO, L.G.A.; AGUERO, N.F. Compactação do solo na cultura do trigo em Latossolo do Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-8, 2011.

BURAK, D.L.; PASSOS, R.R.; SARNAGLIA, S.A. Utilização de análise multivariada na avaliação de parâmetros geomorfológicos e atributos físicos do solo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 9, p. 1-11, 2010.

COLOZZI-FILHO A.; BALOTA, E.L.; ANDRADE, D.S. Microrganismos e processos biológicos no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.C. (Eds.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS, Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1999. p.487-508.

CYSNE, J.R.B.; PINTO, C.M.; PINTO, O.R.O. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho Amarelo manejado com dois sistemas de rotação de culturas no plantio direto. **Enciclopédia biosfera**, v. 8, n. 15, p. 196-213, 2012.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C.; LIMA, S.L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 947-953, 2003.

FONSECA, R.C.B.; FONSECA, I.C.B. Utilização de métodos estatísticos multivariados na caracterização do mosaico sucessional em floresta semidecidual. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 351-359, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000300005>

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J.C.; DESUÓ, I.C. Atributos químicos e físicos de solo cultivado com cana-de-açúcar próximo a fragmento florestal nativo. **Holos Environment**, Rio Claro, v. 11, n. 2, p. 137-147, 2011.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J.C.; OLIVEIRA, I.A.; AQUINO, R.E. Análises multivariadas de atributos físicos em Latossolo Vermelho submetidos a diferentes manejos. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 126-139, 2012.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000000700025>

LAL, R. No-tillage effects on soil properties and maize (*Zea mays* L.) production in Western Nigeria. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 40, n. 2, p. 321-331, 1974. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00011514>

MELO JÚNIOR, H.B.; DUARTE, I.N.; BENEDETTI, M.M.; BORGES, E.N. Atributos físicos de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1-14, 2010.

MELO JÚNIOR, H.B.; CAMARGO, R.; WENDLING, B. Sistema de plantio direto na conservação do solo e água e recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-17, 2011.

MORAIS, T.P.S.; PISSARRA, T.C.T.; REIS, F.C. Atributos físicos e matéria orgânica de um Argissolo Vermelho-Amarelo em microbacia hidrográfica sob vegetação nativa, pastagem e cana-de-açúcar. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 214-223, 2012.

NEVES, C.M.N.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; MACEDO, R.L.G.; MOREIRA, F.M.S.; D'ANDRÉA, A.F. Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 105-112, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000100015>

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. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000500007>

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. São Paulo: Esalq, 1985. 467p.

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. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000400008>

SAS. 2008. **SAS/STAT**<sup>®</sup>. User's guide. Version 9.2, Cary, NC: SAS Institute Inc.. 584p.

SILVA, A.A.; GALON, L.; FERREIRA, F.A.; TIRONI, S.P.; FERREIRA, E.A.; SILVA, A.F.; ASPIAZÚ, I.; AGNES, E.L. Sistema de plantio direto na palhada e seu impacto na agricultura brasileira. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 4, p. 496-506, 2009.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington, USDASCS. U.S. Gov. Print. Office, 1993. 437p. (Handbook, 18).

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, 1991.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.D. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 395-401, 2001.

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.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 2, p. 333-339, 1996.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxas de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1023-1031, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000600011>

VIANA, E.T.; BATISTA, M.A.; TORMENA, C.A.; COSTA, A.C.S.; INOUE, T.T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2105-2114, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000600025>