

(DOI): 10.5935/PAeT.V10.N2.05

*Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science, Guarapuava-PR, v.10, n.2 p.53-60, 2017*

Scientific Paper

## Qualidade física do solo em sistemas florestais, pecuários e integrados de produção

Cristiano Andre Pott<sup>1</sup>Luiz Carlos Zerbielli<sup>2</sup>Patrikk John Martins<sup>2</sup>Edson Gardin<sup>2</sup>Marcos Leandro Garcia<sup>3</sup>

### Resumo

O manejo inadequado do solo pode afetar negativamente atributos físicos do solo. O objetivo do trabalho foi verificar a qualidade física do solo em sistemas florestais, pecuários e integrados de produção em Latossolo Bruno na região Centro-Sul do Paraná. Para avaliar a qualidade física do solo foram coletadas amostras indeformadas de solo e determinado os seguintes atributos físicos: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, capacidade de aeração total, capacidade de campo, a capacidade de armazenamento de água do solo, e capacidade de armazenamento de ar. Quatro sistemas de uso e manejo foram investigados: (i) área de regeneração com espécies florestais nativas (NATIVAS), (ii) pastagem nativa (PASTO), (iii) reflorestamento com *Pinus taeda* (PINUS) e (iv) sistema de integração agricultura-pecuária (SIAP). Os sistemas SIAP e PASTO apresentaram os maiores valores de densidade do solo, microporosidade e capacidade de campo, e menores valores de macroporosidade e capacidade de aeração total. Os sistemas PINUS e NATIVAS apresentaram os menores valores de densidade do solo, microporosidade e capacidade de campo, e maiores valores de macroporosidade e capacidade de aeração total.

**Palavras chave:** capacidade de campo, densidade do solo, compactação do solo.

### Abstract

#### Soil physical quality in forest, livestock and integrated production systems

Inadequate soil management can negatively affect soil physical attributes. The objective of this work was to verify the soil physical quality in forest, livestock and integrated production systems in Oxisol in Center-South of Paraná. In order to evaluate the soil physical quality, soil samples were collected and the following physical attributes were determined: soil density, macroporosity, microporosity, total porosity, total aeration capacity, field capacity and soil water storage capacity. Four systems of use and management were investigated: (i) regeneration area with native forest species (NATIVAS), (ii) native pasture (PASTO), (iii) reforestation with *Pinus taeda* (PINUS) and (iv) agricultural-livestock integration system (SIAP). The SIAP and PASTO systems presented the highest values of soil density, microporosity and field capacity, and lower values of macroporosity and total aeration capacity. The PINUS and NATIVAS systems had the lowest values of soil density, microporosity and field capacity, and higher values of macroporosity and total aeration capacity.

**Key words:** Field capacity, Soil density, soil compaction.

Received at: 02/03/17

Accepted for publication at: 03/08/17

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo. Dr. Prof. Depto Agronomia. Universidade Estadual do Centro Oeste - UNICENTRO - Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03, Bairro Cascavel, Guarapuava - PR, 85040-080. Email: cpott@unicentro.br

<sup>2</sup> Aluno do Programa de Pós-Graduação. Universidade Estadual do Centro Oeste - UNICENTRO - Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03, Bairro Cascavel, Guarapuava - PR, 85040-080. Email: lucas\_zerbielli@hotmail.com; gardin@unicentro.br; patrikkjmartins@gmail.com

<sup>3</sup> Aluno do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Universidade Estadual Do Centro Oeste - Campus Irati - PR 153, Km 7 - Riozinho, Irati - PR, 84500-000. Email: marcos\_garcia@hotmail.com

## Resumen

### Calidad física del suelo en sistemas forestales, pecuarios e integrados de producción

El manejo inadecuado del suelo puede afectar negativamente atributos físicos del suelo. El objetivo del trabajo fue verificar la calidad física del suelo en sistemas forestales, pecuarios e integrados de producción en Latossolo Bruno en la región Centro-Sur de Paraná. Para evaluar la calidad física del suelo fueron recolectadas muestras indeformadas de suelo y determinados los siguientes atributos físicos: densidad del suelo, macroporosidad, microporosidad, porosidad total, capacidad de aireación total, capacidad de campo, capacidad de almacenamiento de agua del suelo, y capacidad de almacenamiento de aire. Se investigaron cuatro sistemas de uso y manejo: (i) área de regeneración con especies forestales nativas (NATIVAS), (ii) pastoreo nativo (PASTO), (iii) reforestación con *Pinus taeda* (PINUS) y (iv) sistema de integración agrícola-pecuaria (SIAP). Los sistemas SIAP y PASTO presentaron los mayores valores de densidad del suelo, microporosidad y capacidad de campo, y menores valores de macroporosidad y capacidad de aireación total. Los sistemas PINUS y NATIVAS presentaron los menores valores de densidad del suelo, microporosidad y capacidad de campo, y mayores valores de macroporosidad y capacidad de aireación total.

**Palabras clave:** Capacidad de campo, densidad del suelo, compactación del suelo.

## Introdução

A ocupação e o manejo agrícola provocam alterações nos atributos físicos do solo. Segundo Torres et al. (2011) o sistema de manejo atua de forma diferente nos atributos físicos do solo, fato que se deve sobretudo ao revolvimento, sistemas de conservação e tráfego aplicados ao solo, os quais, dependendo da intensidade, podem compactar solo, promovendo alterações físicas distintas ao longo do tempo. Além do tráfego de máquinas, sistemas agropecuários com elevada carga animal pastejando sobre a superfície do solo também são responsáveis pela degradação do solo, especialmente pelo aumento da compactação (COSTA et al., 2012; FIDALSKI e ALVES, 2015).

A relação entre o manejo e a qualidade do solo pode ser avaliada pelo efeito nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (CARNEIRO et al., 2009). A qualidade física do solo merece destaque especial uma vez que influencia a qualidade química e biológica do solo, além de que, segundo Cunha et al. (2012), os atributos físicos são mais sensíveis em detectar mudanças na qualidade do solo em um determinado cultivo. Amado et al. (2009) estudando os efeitos dos atributos físicos em culturas anuais de milho e feijão, verificaram limitações ao rendimento das culturas em função do grau de compactação do solo, mesmo em condições de irrigação. Kramer et al. (2013) constataram limitações de natureza física, sendo os atributos densidade do solo, resistência

à penetração, umidade do solo, taxa de infiltração de água, microporosidade e macroporosidade, indicadores sensíveis para verificar o efeito nas produtividades das culturas.

Dentre os atributos físicos geralmente estudados, destacam-se a densidade do solo (DS), a porosidade total (PT), a macroporosidade (Macro) e microporosidade (Micro) (BORTOLINI et al., 2016; KRAMER et al., 2013; REICHERT et al., 2009; REINERT et al., 2008). Dentre esses atributos, somente a Macro tem limite crítico bem definido na literatura (GRABLE e SIEMER, 1968; REICHERT et al., 2009), sendo consagrado o valor mínimo de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  como limitante para o desenvolvimento radicular da maioria das culturas. Para a DS, Reichert et al. (2003) e Reichert et al. (2009) definem que para solos muito argilosos, como é o caso da região de estudo, valores acima de  $1,30 \text{ mg m}^{-3}$  seriam classificados como compactados. No entanto, Ribellatto et al. (2017) avaliando a densidade máxima dos solos da região Centro-Sul do Paraná constatou valor da DS máxima obtido por meio de ensaio de Proctor igual a  $1,16 \text{ mg m}^{-3}$ , indicando que o valor de  $1,30 \text{ mg m}^{-3}$  como crítico para essa região não é adequado. Reynolds et al. (2002) sugerem ainda, que os atributos capacidade de campo (CC) e capacidade de aeração total (CAT) também sejam investigados, além de suas relações com a porosidade total, CC/PT que define a capacidade de armazenamento de água e CAT/PT que define a capacidade de aeração total do solo. Esses autores sugerem que solos em condições

físicas adequadas, o solo apresentariam um valor adequado de capacidade de armazenamento de água,  $CC/PT = 0,34$  ou 34%, e capacidade de armazenamento de ar,  $CAT/PT = 0,66$  ou 66%. Isto é, em condições físicas ideais para crescimento e desenvolvimento das plantas, demandam que 66% da porosidade esteja ocupada com água e 34% ocupada com ar (FIDALSKI et al., 2008).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade física do solo por meio de parâmetros determinados por meio de amostras indeformadas de solo em diferentes sistemas de uso e manejo do solo.

## Material e métodos

O estudo foi realizado no ano de 2015 no campo experimental da Universidade Estadual do Centro Oeste - UNICENTRO, Campus Cedeteg, município de Guarapuava-PR. O solo da área experimental é um Latossolo Bruno distrófico muito argiloso (BHERING e SANTOS, 2008). Foram avaliadas quatro áreas em diferentes formas de uso e manejo do solo, sendo: (i) regeneração com espécies florestais nativas (NATIVAS), antiga área de pastagem onde em 2007 foi realizado o isolamento da área e a introdução de espécies florestais nativas, pioneiras e secundárias iniciais da região, (ii) pastagem nativa (PASTO) como vegetação de grama Missioneira (*Axonopus compressus*), (iii) reflorestamento com *Pinus taeda* (PINUS) em sistema de plantio adensado, realizado no ano de 2007, e (iv) sistema de integração agricultura-pecuária (SIAP), com área de pastejo no período invernal de bovinos de leite e culturas anuais (milho silagem) durante o verão.

O delineamento experimental utilizado inteiramente casualizado com quatro repetições. A coleta de amostras indeformadas de solo foi realizada em junho de 2015, coletando-se anéis volumétricos de 100 cm<sup>3</sup> conforme metodologia da Embrapa (2011). Utilizou-se macaco hidráulico para minimizar a deformação das amostras no momento da coleta. Em cada tratamento foram coletados anéis em três profundidades, 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m. Após a coleta, os anéis foram saturados com água e após submetidos à mesa de tensão nos potenciais matriciais de -6 kPa e -10 kPa, sendo posteriormente as amostras secas em estufa a 105° C por 48 horas e pesadas, a fim de verificar a massa do solo seco e realizar a determinação dos indicadores de qualidade

física do solo.

A macroporosidade foi definida por meio da diferença de volume de poros drenados entre o solo saturado e o potencial matricial de -6 kPa (Macro). A microporosidade foi definida por meio da diferença de volume de poros drenados no potencial matricial de -6 kPa e o solo seco a 105°C (Micro). A porosidade total consiste no somatório da Macro e Micro. A capacidade de aeração total (CAT) foi definida por meio da diferença de volume de poros drenados entre o solo saturado e o potencial matricial de -10 kPa e a capacidade de campo (CC) foi definida por meio da diferença de volume de poros drenados no potencial matricial de -10 kPa e o solo seco a 105°C, conforme descrito por Reynolds et al. (2002). Já a capacidade de armazenamento de ar e a capacidade de armazenamento de água foram calculadas por meio da relação entre  $CAT/PT$  e  $CC/PT$ , respectivamente. A densidade do solo foi obtida segundo metodologia da Embrapa (2011).

Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ) utilizando o programa estatístico ASSISTAT (SILVA e AZEVEDO, 2016).

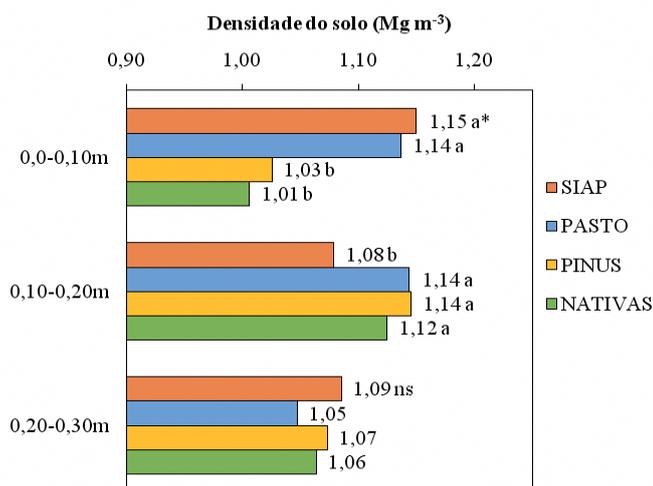
## Resultados e Discussão

Na Figura 1 pode-se verificar os resultados da densidade do solo nos diferentes sistemas de uso e manejo do solo e nas três profundidades estudadas. Houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos, apresentando os sistemas SIAP e PASTO a maior densidade na camada superficial do solo (0 - 0,10 m), com valores de 1,15 e 1,14 mg m<sup>-3</sup>, respectivamente, sendo diferente dos outros dois sistemas PINUS (1,03 mg m<sup>-3</sup>) e NATIVAS (1,01 mg m<sup>-3</sup>). Na profundidade de 0,10 - 0,20 m, somente o SIAP teve a maior densidade do solo, sendo diferente estatisticamente dos três demais sistemas. Na profundidade de 0,20 - 0,30 m, todos os tratamentos comportaram-se de maneira semelhante, não apresentando diferença significativa entre si. Consalter et al. (2014) avaliando a física do solo em sistema de integração agricultura-pecuária também em Latossolo Bruno da região, verificaram que a densidade do solo teve uma variação de 1,10 mg m<sup>-3</sup> a 1,15 mg m<sup>-3</sup> na camada de 0-0,05 m e de 1,14 a 1,20 mg m<sup>-3</sup> na camada de 0,05-0,10 m. Apesar dos valores baixos de DS do Latossolo Bruno da área de estudo, se calculado o grau de compactação do solo utilizando-se o valor de DS máxima obtido pelo ensaio de

Proctor de Ribelatto et al. (2017), sugere-se valores para a camada de 0-0,10 m de grau de compactação de 99, 98, 88, e 87% para os sistemas SIAP, PASTO, PINUS e NATIVAS, respectivamente. Segundo Klein (2014) o grau de compactação ideal está em torno de 80,0 a 90,0 %. Abaixo de 80,0 % o solo apresenta excesso de porosidade. Entre 90,0 e 95,0 % o solo está compactado, e acima de 95,0 % muito compactado.

A Figura 2 apresenta os resultados de porosidade nos diferentes sistemas de uso e manejo do solo. Na Figura 2A, Figura 2B e Figura 2C verifica-se os resultados de porosidade total, macroporosidade e microporosidade nas profundidades de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, respectivamente. O SIAP e o PASTO apresentaram os maiores valores de microporosidade na camada de 0-0,10 m, sendo estatisticamente diferente dos outros dois manejos florestais (PINUS e NATIVAS). Nessa mesma

camada, a macroporosidade também foi menor no SIAP e PASTO, intermediária no PINUS e maior na NATIVAS, evidenciando que o pisoteio animal diminui a macro e aumenta a microporosidade na camada superficial. Estes resultados podem ser explicados pela abundância de raízes encontradas nas áreas de PINUS e NATIVAS. Além disso, a recuperação do bioma NATIVAS em questão remete ao aumento da biota do solo, principalmente pela ação de organismos decompositores. Segundo Pezzoni et al. (2012), a matéria orgânica proveniente da serrapilheira, oriunda da deposição de material morto da parte aérea das árvores interfere de forma positiva nos atributos físicos do solo, promovendo melhoria na qualidade estrutural do solo, que no caso desse estudo é refletido em valores altos de macroporosidade.



**Figura 1.** Densidade do solo ( $\text{mg m}^{-3}$ ) nos diferentes sistemas de uso e manejo de solo e em três profundidades, 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m. Guarapuava, 2015. \*Médias seguidas pela mesma letra em cada profundidade não diferem pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). ns: não significativo.

Nas profundidades de 0,10-0,20 m e de 0,20-0,30 m, o sistema PINUS apresenta melhor desempenho comparado com os demais, pois apresenta maior valor de macro e menor microporosidade, estatisticamente diferente dos demais. O sistema NATIVAS, nessas camadas comportou-se de maneira semelhante aos sistemas SIAP e PASTO, evidenciando o reflexo da degradação do solo, antes da implantação da floresta com espécies florestais. Ao longo dos 8 anos após a implantação da

regeneração da área NATIVAS, verifica-se somente uma melhoria do solo na camada superficial de 0-0,10 m, a qual tem grande aporte de material orgânico, oriundo da serrapilheira da mata em regeneração. Porém a camada subsuperficial, em que não houve revolvimento do solo para rompimento de camadas compactadas, ainda evidencia valores de macro abaixo do limite crítico de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  sugerido por Reichert et al. (2009).

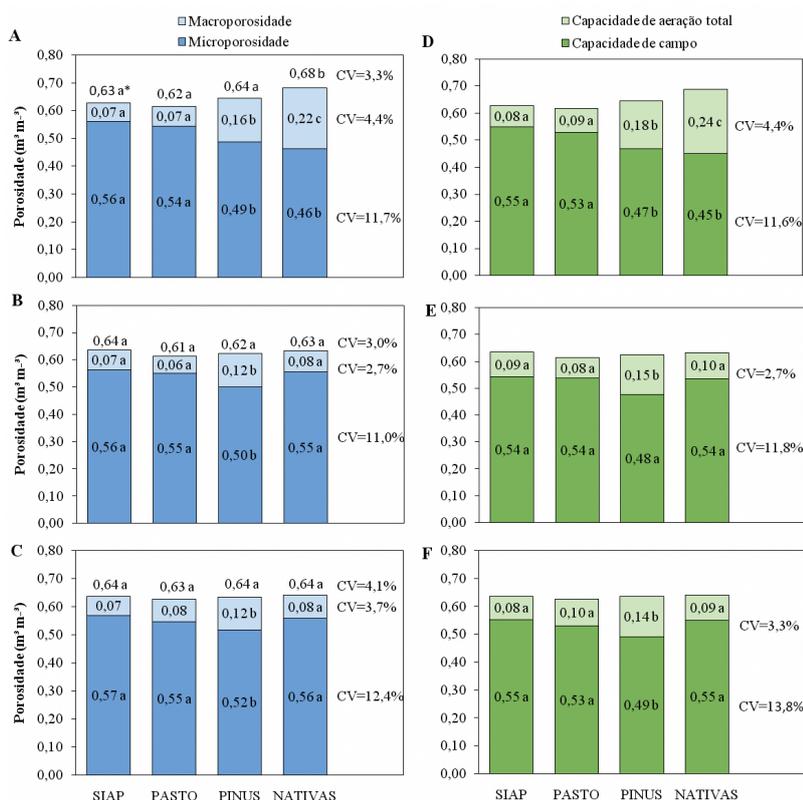
Na Figura 2D, Figura 2E e Figura 2F verifica-se

os resultados de CAT e CC dos diferentes sistemas de manejo nas profundidades de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, respectivamente. O SIAP e o PASTO apresentaram maiores valores de CC, sendo diferente estatisticamente do PINUS e NATIVAS na camada de 0-0,10 m (Figura 2D). A menor CAT e maior CC do SIAP e do PASTO na camada superficial é atribuído à pressão exercida no solo pelo processo de mecanização (PACHECO e CANTALICE, 2011; ROSSETTI e CENTURION, 2015) e pelo pastejo animal (COLLARES et al., 2011; CONSALTER et al., 2014; FIDALSKI e ALVES, 2015).

Os indicadores de CAT/PT e CC/PT nos diferentes sistemas de uso e manejo do solo e nas três profundidades estudadas são apresentadas na Figura 3. A maior CAT/PT ocorreu no sistema NATIVAS com valor de 0,34 na camada de 0-0,10 m (Figura 3A), a qual diferiu estatisticamente do PINUS com valor de 0,28. O CAT/PT foi estatisticamente menor nos sistemas SIAP e PASTO na camada de 0-0,10 m com valores de 0,12 e 0,14, respectivamente. Já os valores

de CC/PT na camada de 0-0,10 seguiram as mesmas diferenças entre os sistemas do índice CAT/PT, porém com o menor valor para o sistema NATIVAS, seguido na segunda posição pelo PINUS. Já o SIAP e o PASTO apresentaram os maiores valores de CC/PT, 0,88 e 0,86, respectivamente.

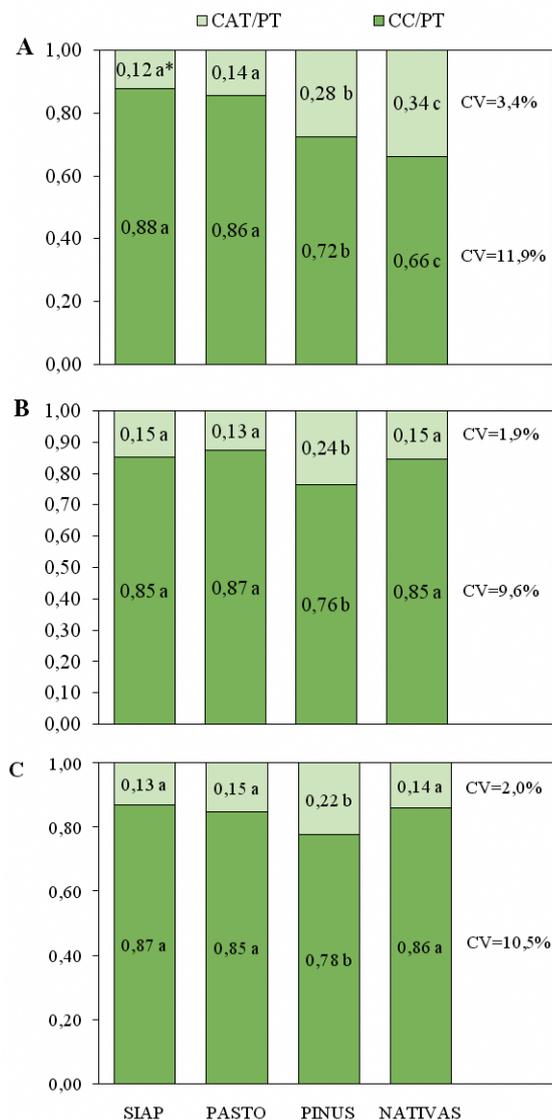
O sistema NATIVAS foi o único a apresentar os índices CAT/PT e CC/PT na camada superficial de acordo com a referência proposta por Reynolds et al. (2002), de 0,34 para CAT/PT e 0,66 para CC/PT, indicando condições físicas ideais para crescimento e desenvolvimento das plantas (FIDALSKI et al., 2008). Kramer (2016) estudando esses mesmos indicadores, em condição de mata nativa encontrou valores de 0,23 de CAT/PT e 0,77 de CC/PT na camada de 0 a 0,25 m e de 0,25 a 0,50 m, diferente dos valores ideais sugeridos por Reynolds et al. (2002). Valores de CAT/PT abaixo do limite e valores de CC/PT acima do limite proposto por Reynolds et al. (2002) já são verificados na camada de 0,10 a 0,30 m mesmo no sistema NATIVAS.



**Figura 2.** Porosidade do solo nos diferentes sistemas de uso e manejo de solo. Macroporosidade (Macro) e microporosidade (Micro) nas camadas de 0-0,10 m (A), 0,10-0,20 m (B) e 0,20-0,30 m (C). Capacidade de aeração total (CAT) e capacidade de campo (CC) nas camadas de 0-0,10 m (D), 0,10-0,20 m (E) e 0,20-0,30 m (F). \*Médias seguidas pela mesma letra em cada atributo não diferem pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

O pisoteio animal pode ser considerado como um dos principais responsáveis pela degradação física dos solos, pois aumenta a densidade do solo, a microporosidade e a resistência à penetração, além de reduzir a macroporosidade e porosidade total, principalmente nas camadas superficiais (COLLARES et al., 2011; FIDALSKI e ALVES, 2015). Os sistemas

com pastejo, nesse caso SIAP e PASTO, apresentam o pisoteio animal como o agente responsável pela diminuição da macroporosidade e do CAT, e aumento da microporosidade e da CC, além de altos valores de CC/PT e baixos valores de CAT/PT, indicando compactação do solo nesses sistemas.



**Figura 3.** Capacidade de armazenamento de ar (CAT/PT) e capacidade de armazenamento de água (CC/PT) nas camadas de 0-0,10 m (A), 0,10-0,20 m (B) e 0,20-0,30 m (C) nos diferentes sistemas de uso e manejo de solo. \*Médias seguidas pela mesma letra em cada atributo não diferem pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

## Conclusões

Os sistemas SIAP e PASTO apresentaram os maiores valores de densidade do solo, microporosidade e capacidade de campo, e menores valores de macroporosidade e capacidade de aeração total.

Os sistemas PINUS e NATIVAS apresentaram os menores valores de densidade do solo,

microporosidade e capacidade de campo, e maiores valores de macroporosidade e capacidade de aeração total.

Os valores de CC/PT e CAT/PT foram bons indicadores da qualidade física do solo, evidenciando, principalmente a camada de 0-0,10 m no sistema NATIVAS como apresentando condições ideais para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, com CC/PT igual 0,66 e CAT/PT igual a 0,34.

## Referências

- AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 831-843, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000400008>
- BHERING, S.; SANTOS, H. **Mapa de solos do Estado do Paraná: Legenda atualizada**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/IAPAR, 2008. p.
- BORTOLINI, D.; ALBUQUERQUE, J. A.; RECH, C.; MAFRA, Á. L.; RIBEIRO FILHO, H. M. N.; PÉRTILE, P. Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 1, p. 60-67, 2016. DOI: 10.5965/223811711512016060
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. D.; REIS, E. F. D.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000100016>
- COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação superficial de Latossolos sob integração lavoura: pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 41, n. 2, p. 246-250, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011000200011>
- CONSALTER, M. A. S.; SOUZA, M. L. D. P.; MORAES, A. D.; COIMBRA, C. H. G. Compactação de Latossolo Bruno em sistema integrado lavoura pecuária. **Scientia Agraria**, v. 15, n. 1, p. 23-31, 2014. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v15i1.41095>
- COSTA, M. A. T.; TORMENA, C. A.; LUGÃO, S. M. B.; FIDALSKI, J.; NASCIMENTO, W. G. D.; MEDEIROS, F. M. D. Resistência do solo à penetração e produção de raízes e de forragem em diferentes níveis de intensificação do pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 993-1004, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000300029>
- CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. D. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000100008>
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.
- FIDALSKI, J.; ALVES, S. J. Altura de pastejo de braquiária e carga animal limitada pelos atributos físicos do solo em sistema integração lavoura-pecuária com Soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 864-870, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140667>
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; CECATO, U.; LUGÃO, S. M. B.; BARBERO, L. M.; COSTA, M. A. T. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 11, p. 1583-1590, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008001100018>
- GRABLE, A. R.; SIEMER, E. G. Effects of bulk density aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Journal**, v. 32, p. 18-186, 1968.

KLEIN, V. A. **Física do Solo**. Passo Fundo: UPF, 2014. 240 p.

KRAMER, L. **Indicadores qualitativos e quantitativos para avaliação da qualidade física de Latossolos do Paraná**. 2016. (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

KRAMER, L. F. M.; MÜLLER, M. M. L.; TORMENA, C. A.; MICHALOVICZ, L.; NASCIMENTO, R.; VICENSI, M. Wheat yield and physical properties of a brown latosol under no-tillage in south-central Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1216-1225, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000500011>

PACHECO, E. P.; CANTALICE, J. R. B. Compressibilidade, resistência a penetração e intervalo hídrico ótimo de um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 403-415, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200010>

PEZZONI, T.; VITORINO, A. C. T.; DANIEL, O.; LEMPP, B. Influência de *Pterodon emarginatus* Vogel sobre atributos físicos e químicos do solo e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* Stapf em sistema silvipastoril. **CERNE**, v. 18, n. 2, p. 293-301, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000200014>

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência Ambiental**, v. 27, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.07.002>

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. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000500002>

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LUC, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, n. 1, p. 131-146, 2002. DOI: 10.1016/S0016-7061(02)00228-8

RIBELATTO, P. J. C.; TAUBINGER, L.; BEN, T. J.; VICENSI, M.; POTT, C. A. Caracterização da Densidade Máxima do solo da Região Centro Oeste do Paraná. **Investigación Agraria**, v. 19, n. 1, p. 49-55, 2017. <http://dx.doi.org/10.18004/investig.agrar.2017.junio.49-55>

ROSSETTI, K. D. V.; CENTURION, J. F. Ensaio de compactação em Latossolo cultivado com milho sob diferentes períodos de adoção de tipos de manejo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 4, p. 499-505, 2015. 10.5039/agraria.v10i4a5013

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522

TORRES, J. L. R.; FABIAN, M. G.; PEREIRA, M. G. Alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Ciência & Agrotecnologia**, v. 35, n. 3, p. 437-445, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000300001>