



RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SOB POUSSO E DIFERENTES CULTURAS DE COBERTURA

Edson Bento de Assis¹; Maria Cândida Moitinho Nunes²; Marco Antonio Aparecido Barelli³; Santino Seabra Junior⁴, Milson Evaldo Serafim⁵

¹Engenheiro Agrônomo. Universidade do Estado de Mato Grosso

²Professora Doutora. Departamento de Solos. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. FAEM/UFPEL
(nunes.candida@gmail.com)

³Professor Doutor. Departamento de Agronomia. Universidade do Estado de Mato Grosso. UNEMAT/Campus Cáceres

⁴Professor Doutor. Departamento de Agronomia. Universidade do Estado de Mato Grosso. UNEMAT/Campus Nova Mutum

⁵Professor Doutor. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia (IFMT/Cáceres).

Recebido em: 30/09/2014 – Aprovado em: 15/11/2014 – Publicado em: 01/12/2014

RESUMO

A utilização de espécies com diferentes características de sistema radicular pode reduzir os efeitos da compactação e contribuir para a agregação do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência mecânica à penetração (RP) de um Argissolo Vermelho-Amarelo, no município de Cáceres-MT. O experimento foi desenvolvido em solo sob pousio e sob diferentes plantas de cobertura. A RP foi determinada até 0,5 m de profundidade com um Penetrômetro de impacto. Foram realizadas análises de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade. Não houve diferença significativa na RP entre as diferentes culturas até a profundidade de 0,30 m; As culturas utilizadas e o período de tempo de avaliação não foram suficientes para provocar diferenças na densidade do solo; O tratamento com milho foi o que apresentou as menores classes de RP ao longo do perfil; A partir da profundidade de 0,1 m, todos os tratamentos, exceto o solo cultivado com milho, apresentaram classes de RP consideradas restritivas ao desenvolvimento das culturas.

PALAVRAS-CHAVE: cobertura vegetal, compactação, umidade do solo

PENETRATION RESISTANCE IN ALFISOL UNDER FALLOW AND DIFFERENT COVER CROPS

ABSTRACT

The use of species with different characteristics of the root system can reduce the effects of compression and contribute to soil aggregation. The objective of this study was to evaluate the penetration resistance (PR) of an Ultisol in the city of Cáceres-MT. The experiment was conducted in soil under fallow and under different cover crops. The RP was determined to 0.5 m deep with a Penetrometer impact. Analyses of variance and Tukey test at 5% probability. There was no significant difference in RP between different cultures to a depth of 0.30 m. Cultures used and the time of assessment were not sufficient to cause differences in soil density; Treatment with millet showed the lowest classes RP along the profile; from the depth of 0.1 m, all

treatments except soil cultivated with millet, presented classes RP considered restrictive to crop development.

KEYWORDS: vegetation cover, soil compaction, soil moisture

INTRODUÇÃO

As plantas de cobertura com sistema radicular abundante e agressivo podem reduzir os efeitos da compactação e contribuir para a melhoria da agregação do solo, além de proteger a superfície do solo pela presença de resíduos vegetais. A descompactação biológica inclui o cultivo de plantas que tenham sistema radicular pivotante, capaz de crescer em camadas de solo compactado (ABREU et al., 2004).

O processo de compactação é um dos principais responsáveis pela degradação dos solos agrícolas (HORN et al., 2003), sendo um limitante da qualidade física dos mesmos, o que, conseqüentemente, prejudica a obtenção de maiores índices de produtividade (ALAKUKKU & ELOMEN, 1994).

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) é um importante indicador da qualidade física dos solos cultivados. Mediante monitoramento periódico de áreas agrícolas, com penetrômetro, pode-se determinar facilmente o grau de compactação do solo e, conseqüentemente, a condição de penetração das raízes (RIBON et al., 2003).

A RP, além da dependência de fatores intrínsecos do solo (textura, estrutura e mineralogia), é altamente dependente da umidade do solo (SILVA et al., 2002). Em condição de baixa umidade ocorre maior resistência à deformação ou à penetração de raízes. Com o aumento do teor de água, decresce a atuação das forças de coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, incorrendo em redução da RP (CUNHA et al., 2002).

Segundo VEPRASKAS & MINER (1986), valores de RP de 2,8 a 3,2 MPa retardam a elongação das raízes e com 4 Mpa não há crescimento de raízes. CINTRA & MIELNICZUK (1983) encontraram redução de 50% no comprimento radicular de várias culturas quando a RP foi de 1,1 MPa, em Latossolo muito argiloso.

CANARACHE (1990) sugere que valores acima de 2,5 MPa começam a restringir o pleno crescimento das raízes da maioria das plantas. Segundo BEUTLER et al. (2006), valores de 2,0 a 3,0 MPa são limitantes à produtividade de soja. MEROTTO & MUNDSTOCK (1999) indicam que RP maior que 3,5 MPa causa severa limitação ao crescimento de plantas de trigo.

BEUTLER et al. (2004) obtiveram valores de RP superiores a 3 Mpa em Latossolo Vermelho de textura média, os quais foram restritivos ao crescimento da cultura do arroz. FREDDI et al. (2006) verificaram que valores entre 0,90 a 2,00 Mpa, em Latossolo Vermelho de textura argilosa, não reduziram a produtividade da cultura do milho. De maneira geral, considera-se que 2,0 Mpa seja o valor crítico de resistência do solo ao crescimento radicular (TAYLOR, 1966).

Na tentativa de solucionar os problemas decorrentes do preparo convencional, têm sido utilizados escarificadores, subsoladores e plantas de cobertura, sobretudo com espécies de sistema radicular pivotante, pois além da proteção da superfície do solo com a presença de resíduos vegetais, as raízes dessas espécies são decompostas e deixam canais que proporcionam o aumento do movimento de água e a difusão de gases (MÜLLER et al., 2001).

A utilização de espécies com diferentes características de sistema radicular pode ser incluída em sistemas de rotação e/ou de sucessão, sendo de extrema

importância para diminuir os efeitos da compactação do solo (TEIXEIRA et al., 2003). Plantas descompactadoras/condicionadoras, ao contrário do que ocorre com o uso de subsoladores, podem proporcionar um rompimento mais uniforme da camada compactada, além de contribuírem para a melhoria do estado de agregação do solo (CAMARGO & ALLEONI, 1997). Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a RP de um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico chernossólico, em pousio e diferentes culturas de cobertura, no município de Cáceres-MT.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação Experimental da Empresa Mato-grossense de Pesquisa e Extensão Rural (EMPAER), em Cáceres-MT, localizada a 57° 40' 51" de longitude e 16° 43' 42" latitude s ul, com altitude média de 118 m. O Clima predominante é o Tropical Continental Aw (Köppen) com verão chuvoso e inverno seco, instalado num Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico Chernossólico (EMBRAPA, 2006) cuja caracterização física e química é apresentada na Tabela 1.

TABELA 1. Caracterização física e química de um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico chernossólico

Camada m	Textura			Caracterização Química									
	Areia	Silte	Argila	pH	MO	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	CTC	V
	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹		g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	%				
0,0-0,1	736,7	172,2	91,1	7,3	18	43,4	143,0	4,6	1,7	0,0	1,1	6,7	85,5
0,1-0,2	743,9	167,6	88,5	7,2	18	34,3	116,1	4,5	1,4	0,0	1,2	6,2	83,8

Antes da instalação do experimento, nos últimos sete anos, a área foi utilizada da seguinte forma: 2005 e 2006 com formação de mudas frutíferas, onde eram feitos todos os tratamentos culturais, capina manual e tração animal e em 2007 a área ficou em pousio; nos últimos três anos, a área foi cultivada com experimento de feijão, com emprego de operações de gradagem (preparo convencional).

Para a instalação do experimento foi adotado o sistema convencional de preparo, sendo que o controle das ervas invasoras foi realizado com uma gradagem. Após, foi realizado o sorteio dos blocos e dos tratamentos para a semeadura das plantas de cobertura. A semeadura foi de acordo com o recomendado para cada cultura, levando em consideração o espaçamento e a densidade. As plantas vegetaram no campo num período de cinco meses, no ano agrícola de 2010/2011.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e quatro repetições, constituindo 20 parcelas de 9 m², sendo os tratamentos: 1) Pousio; 2) Mucuna Ana (*Mucuna deeringiana*); 3) Milheto (ADR 300); 4) Crotalária (*Crotalária espectralis*); 5) Feijão de Porco (*Canavalia ensiformis*).

A RP foi determinada em Julho de 2011 (período de seca na região), utilizando-se um penetrômetro de impacto – modelo IAA/Planalsucar (STOLF et al., 1983). Os resultados obtidos em impactos dm⁻¹ foram convertidos para RP em kgf cm⁻² por meio da equação de STOLF (1991): RP = 5,6 + 6,98N. Os valores obtidos foram transformados em Mpa por meio de uma constante (0,0980665).

Foram coletados três pontos de cada parcela, nas entrelinhas das culturas ali implantadas, tomados aleatoriamente, até 50 cm de profundidade. Simultaneamente à determinação da RP, foram coletadas amostras de solo para a determinação do

teor de umidade gravimétrica (EMBRAPA, 1997), nas camadas de 0,0 - 0,1; 0,1 - 0,2 e 0,2 - 0,3 m. As amostras foram cuidadosamente acondicionadas em sacolas plásticas para evitar a perda de umidade. Essas amostras foram pesadas e levadas à estufa de circulação de ar forçado, a 105°C por 48 horas. Em cada ponto de amostragem foram coletadas amostras indeformadas por meio de anéis volumétricos, na camada de 0,0 - 0,1 m, para a determinação da densidade do solo (Ds), conforme EMBRAPA (1997).

Para a avaliação dos resultados de resistência à penetração foram calculadas as médias de RP em cada uma das três camadas. Para a interpretação dos dados de penetrometria foram empregados os critérios descritos por SOIL SURVEY STAFF (1993), citado por ARSHAD et al., (1996), os quais adotam as seguintes classes de resistência mecânica do solo à penetração: baixa, de 0,1 a 1,0 MPa; moderada, de 1,0 a 2,0 MPa; alta, de 2,0 a 4,0 MPa; muito alta, de 4,0 a 8,0 Mpa; e extremamente alta, acima de 8,0 MPa.

Foi realizada a análise de variância e testes de médias (Tukey a 5%), por meio do software ASSISTAT (SILVA & AZEVEDO, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de resistência mecânica do solo à penetração, umidade gravimétrica e densidade do solo, sob diferentes plantas de cobertura, são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2. Resistência à penetração (RP), Umidade Gravimétrica (UG) e Densidade do solo (Ds), sob diferentes plantas de cobertura

PLANTAS DE COBERTURA	RP MPa			UG kg kg ⁻¹			Ds Mg dm ⁻³
	0,0 - 0,1 m	0,1 - 0,2 m	0,2 - 0,3 m	0,0 - 0,1 m	0,1 - 0,2 m	0,2 - 0,3 m	0,0 - 0,1 m
POUSIO	1,34a	3,08a	5,54a	10,39a	10,66a	24,62a	1,49a
MUCUNA	1,14a	2,86a	5,44a	12,14a	11,90a	12,84b	1,53a
MILHETO	1,14a	2,43a	3,22a	11,76a	10,57a	9,22ab	1,56a
CROTALARIA	1,20a	3,54a	6,37a	10,66a	10,48a	11,96b	1,81a
F. DE PORCO	1,71a	5,15a	7,36a	9,89a	9,44a	16,69b	1,56a
CV%	27,34	48,42	43,12	14,31	15,09	22,20	4,33

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

De acordo com os resultados obtidos, não houve diferença significativa entre os dados de RP nas diferentes coberturas utilizadas, até a profundidade de 0,3 m. Este resultado pode ser devido, principalmente, ao pequeno período (cinco meses)

de condução do experimento. ABREU et al., (2004) e SILVEIRA JÚNIOR et al., (2012) verificaram que a eficácia da ruptura da camada compactada do solo depende da propriedade hídrica ou mecânica do solo usada como indicadora. Segundo os autores, se o indicador for a RP e o interesse for a redução da resistência às raízes, a “escarificação biológica” é menos eficaz na ruptura da camada compactada e estabelecimento de poros condutores de água do que a escarificação mecânica do solo.

Considerando a classificação de SOIL SURVEY STAFF (1993), o solo da camada de 0 - 0,1 m, em todos os tratamentos, apresentou valores de RP considerados como moderados. Vários autores (TAYLOR, 1966; CANARACHE, 1990; BEUTLER et al., 2006; FREDDI et al., 2006) verificaram que valores de RP menores que 2 MPa (RP baixa a moderada) não são restritivos ao desenvolvimento radicular. Entretanto, LIPIEC & HATANO (2003) indicam que valores de resistência à penetração variando de 1 a 1,7 MPa começam a provocar redução do crescimento radicular e que, valores entre 3 e 4 MPa, causam paralisação do crescimento das raízes. Para ROSOLEM et al. (1999), a RP de 1,3 MPa reduz à metade o crescimento das raízes seminais adventícias do milho. LIMA et al. (2010) verificaram que, para as condições de umidade em campo de um Argissolo Vermelho Distrófico arênico, sob semeadura direta e convencional, a RP crítica para a produtividade de grãos de feijão é 1,7 Mpa e a altura de plantas da soja é influenciada a partir de 1,9 MPa.

Na camada de 0,1 a 0,2 m, entretanto, a RP classificou-se como alta, com exceção apenas do tratamento com feijão de porco, no qual o solo apresentou resistência muito alta, o que pode causar sérias limitações ao crescimento radicular. Em relação ao solo com Feijão de porco, esses valores, provavelmente, estão relacionados aos baixos teores de umidade do solo no momento da determinação da resistência à penetração (Tabela 2). A manutenção de valores mais elevados de água na camada superficial do solo, principalmente, na presença contínua de cobertura vegetal, pode contribuir para a obtenção de menores valores de resistência do solo à penetração (BORGES, 2004). STONE et al. (2002) avaliaram a influência da compactação na cultura do feijoeiro, em um Latossolo Vermelho da Microrregião de Goiânia, e observaram que ao manter o solo com teor de umidade próximo da capacidade de campo, para a densidade de $1,40 \text{ Mg dm}^{-3}$, a RP foi de apenas 1,70 MPa, valor este classificado como moderado.

Na camada de 0,2 a 0,3 m, o solo sob cultivo com milho apresentou RP alta, enquanto que nos outros tratamentos, a resistência foi muito alta.

Para o atributo densidade do solo, na camada de 0 a 10 cm, não houve diferença significativa entre os tratamentos. A partir dos dados do Tabela 2 se observa que a média da densidade do solo em todos os tratamentos está abaixo do valor crítico de densidade para culturas comerciais pois, conforme proposto por REINERT & REICHERT (2001), para solos de textura arenosa (menos de 20% de argila), a densidade crítica é de aproximadamente $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$. Resultados semelhantes foram encontrados por SILVEIRA JUNIOR et al. (2012), os quais utilizaram o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) para verificar o efeito das raízes na descompactação do solo (descompactação biológica) sob plantio direto e verificaram que não houve diferença significativa entre os valores de Ds medidos numa mesma camada de solo, ou seja, nem a escarificação mecânica ou a descompactação biológica mostraram-se alternativas eficientes para melhorar a qualidade física do solo quando o parâmetro avaliado foi a Ds. Segundo os autores, após 18 meses, o

plantio direto, com ou sem práticas de descompactação, apresentou praticamente a mesma qualidade física, como indicado pela densidade do solo, porosidade, permeabilidade ao ar e continuidade de poros.

A partir da profundidade de 0,2 m, o solo com a cultura do milho apresentou RP alta, enquanto que o solo com as outras culturas apresentou RP classificada como muito alta (Figura 1).

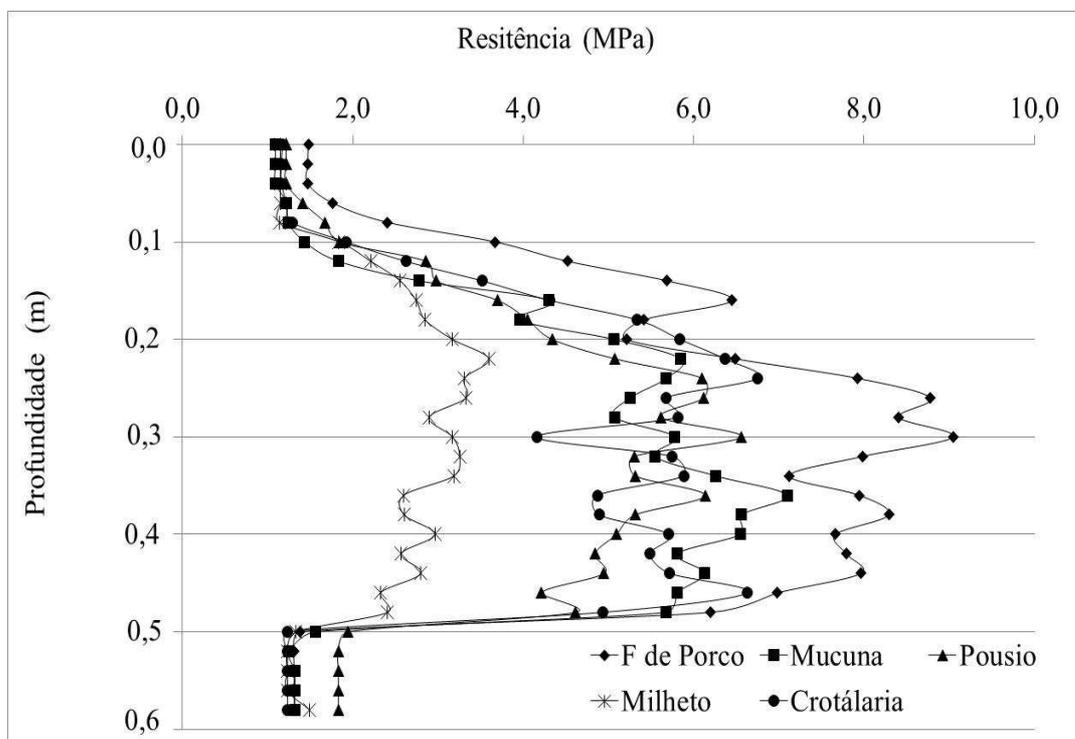


FIGURA 1. Resistência mecânica à Penetração (Mpa) de um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico chernossólico, sob diferentes plantas de cobertura

Dentre as culturas utilizadas, o milho foi o que apresentou valores de RP menos restritivos para o desenvolvimento radicular. SILVA & ROSOLEM (2002) concluíram que o cultivo anterior do solo com guandu, milho ou aveia-preta foi mais favorável ao crescimento radicular da soja em vasos do que com mucuna-preta, soja, sorgo, tremoço azul ou pousio. Pires et al., (2008) avaliaram três tipos de coberturas vegetais do solo antecedendo a cultura da soja, em plantio direto, em um Latossolo Vermelho Distrofítico típico, e também observaram que a cobertura com o milho proporcionou menor resistência do solo à penetração.

Em todos os tratamentos utilizados, considerando a profundidade de 0,1 a 0,5m, o solo poderá apresentar impedimento ao adequado desenvolvimento de plantas cultivadas, pois os valores de RP ficaram acima do limite crítico de 2 Mpa.

À medida que aumenta a profundidade, até 50 cm, ocorre um incremento nos valores de resistência a penetração. Estes resultados estão relacionados, possivelmente, com a gênese do solo em estudo, que apresenta translocação de argila do horizonte A para o horizonte B, criando um gradiente textural Bt, com aumentos na densidade do solo, o que reflete na resistência à penetração e permeabilidade do solo (EMBRAPA, 2006).

Os valores elevados de resistência do solo à penetração, verificados neste

trabalho, podem estar associados ao pouco tempo de implantação das culturas. Contudo, essa condição de valores altos, de acordo com SOUZA & ALVES (2003), que utilizaram sistema plantio direto, ocorre apenas nos primeiros anos, deixando de existir com o passar do tempo, pois a deposição frequente de resíduos orgânicos na camada superficial do solo promove aumento da atividade biológica e, conseqüentemente, tal atividade se encarrega de melhorar as condições físicas do solo.

CONCLUSÕES

Não houve diferença significativa na resistência mecânica do solo à penetração entre as diferentes culturas até a profundidade de 0,30 m;

As culturas utilizadas e o período de tempo de avaliação não foram suficientes para provocar diferenças na densidade do solo;

O tratamento com milheto foi o que apresentou as menores classes de resistência mecânica do solo à penetração ao longo do perfil;

A partir da profundidade de 0,1 m, todos os tratamentos, exceto o solo cultivado com milheto, apresentaram classes de resistência mecânica à penetração consideradas restritivas ao desenvolvimento das culturas.

REFERÊNCIAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.519-531, 2004.

ALAKUKKU, L.; ELOMEN, P. Long-term effects of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.36, p.141-152, 1994.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran, J. W.; Jones, A. J. Methods for assessing soil quality. Madison: Soil Science Society of America, SSSA Special Publication, 49. p.123- 141. 1996.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade de arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.557-580, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P.; BARBOSA, J. C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.639-645, 2006.

BORGES, J. R. Resistência à penetração de um Gleissolo submetido a sistemas de cultivo e culturas. **Revista brasileira de Agrociências**, v.10, n. 1, p 83-86, 2004.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.

CANARACHE, A. PENETROMETER - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.16, n.1, p.51-70, 1990.

CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.197- 201, 1983.

CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.10, p.1-7, 2002.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2^a. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ, 2006. 306p.

FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; VERONESI JÚNIOR, V.; CARVALHO, G. J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, v.26, p. 113-121, 2006.

HORN, R.; WAY, T.; ROSTEK, J. Effect of repeated tractor wheeling on stress/strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils. **Soil Tillage Research**, 73:101-106, 2003.

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**, Brasília, v.45, n.1, p.89-98, 2010.

LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, v.116, p.107-136, 2003.

MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v.23, p.197-202, 1999.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.531-538, 2001.

PIRES, F. R.; ASSIS, R. L.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, G.P.; MORAES, L.L.; RUDOVALHO, M.C.; BÔER, C.A. Manejo de plantas de cobertura antecessora à cultura da soja em plantio direto. **Revista Ceres**, v.55, p.94-101, 2008.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. **In: CARLESSO, R.; PETRY, M.; ROSA, G. & CERETTA, C. A. Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul**, Santa Maria, 2001. p. 114-131.

RIBON, A. A.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; PEREIRA, G. T. Densidade e resistência à penetração de solos cultivados com siringueira sob diferentes manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.25, n.1, p.13-17, 2003.

ROSOLEM, C. A.; FERNANDEZ, E. M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.5, p.821-828, 1999.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4, n.1, p.71-78, 2002.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.855-860, 2002.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. II – Grau de saturação em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.9-15, 2002.

SILVEIRA JUNIOR, S. D.; SILVA, A. P. FIGUEIREDO, G. C.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1854-1867, 2012.

SOIL SURVEY STAFF, **Soil Survey Manual**. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18, Washington, DC. 1993.

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**, Maringá, v.25, n.1, p.27-34, 2003.

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

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.2, p.229-35, 1991.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: Efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.207-212, 2002.

TAYLOR, H. M., ROBERTSON, G. M., PARKER, J. J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, New York, v.102, p.18-22, 1966.

TEIXEIRA, C. F. A.; PAULETTO, E. A.; SILVA, J. B. Resistência mecânica à

penetração de um Argissolo Amarelo Distrófico Típico sob diferentes sistemas de produção em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, p.1165-1167, 2003.

VEPRASKAS, M. J.; MINER, G. Effects of subsoiling and mechanical impedance of tobacco root growth. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.50, p. 423-427. 1986.