



**OTIMIZAÇÃO DE PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO PARA
MONITORAMENTO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM SOLOS
ARENOSOS**

**OPTIMIZACIÓN DE PROTOTIPO DE BAJO COSTO PARA EL
MONITOREO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ÚNICA EN SUELOS
ARENOSOS**

**LOW-COST PROTOTYPE OPTIMIZATION FOR SINGLE PENETRATION
RESISTANCE MONITORING IN SANDY SOILS**

Apresentação: Comunicação Oral

Anderson Prates do Carmo¹; Wesley Tessaro Andrade²; Wagner Henrique Moreira³

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.VIIICOINTERPDVAgro.0205>

RESUMO

O uso intensivo do solo, pode levar a problemas como a compactação e, conseqüentemente, redução da produtividade. Compactação refere-se ao aumento da densidade do solo em determinado volume (fixo) com redução da porosidade. A compactação é um dos maiores problemas na agricultura, pois dificulta o desenvolvimento radicular das plantas. Dependendo do grau de compactação, reduzirá radicalmente a produtividade das culturas. Solos arenosos tem menos tendência de compactação do solo, pois apresentam partículas maiores e

¹ Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul (IFMS),
anderson.carmo@estudante.ifms.edu.br

² Mestre, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul (IFMS),
wesley.andrade@ifms.edu.br

³ Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul (IFMS),
wagner.moreira@ifms.edu.br

maior quantidade de macroporos. Além da redução com comprimento radicular, o aumento da resistência do solo à penetração (RP) causa o aumento do diâmetro radicular, fato que pode ser explicado como uma alternativa da planta a se adaptar ao ambiente de maior resistência ao crescimento das raízes. Assim, é importante haver metodologias para avaliar com precisão a RP. Este estudo teve como objetivo viabilizar a avaliação da RP com um protótipo de penetrômetro de baixo custo e comparar com o equipamento comercial. O protótipo foi composto por Arduino que captura e envia os dados para o celular onde são armazenados os resultados, célula de carga que foi responsável por medir a força aplicada ao equipamento, sensor de distância para avaliar a camada avaliada e “buser” para proporcionar sinais de alerta. Os testes foram realizados em duas parcelas com plantas de cobertura, sendo que cada parcela foi constituída por dez pontos de análises. Os resultados indicaram problemas no protótipo para leituras em profundidade, porém, apresentou relação com o equipamento comercial. Assim, mais estudos são necessários para validar o protótipo.

Palavras-Chave: Solo, compactação e protótipo.

RESUMEN

El uso intensivo del suelo puede provocar problemas como la compactación y, en consecuencia, una reducción de la productividad. La compactación se refiere al aumento de la densidad del suelo en un volumen determinado (fijo) con una reducción de la porosidad. La compactación es uno de los mayores problemas en la agricultura, ya que dificulta el desarrollo radicular de las plantas. Dependiendo del grado de compactación reducirá radicalmente la productividad del cultivo. Los suelos arenosos tienen menos tendencia a la compactación del suelo, mientras que los suelos arcillosos y arcillosos tienen una mayor tendencia a la compactación, debido a que la densidad es diferente entre estos suelos. Además de la reducción de la longitud de las raíces, el aumento de la resistencia a la penetración provoca un aumento en el diámetro de las raíces, hecho que puede explicarse como una alternativa para que la planta se adapte al ambiente con mayor resistencia al crecimiento de las raíces. Por lo tanto, es importante contar con metodologías para evaluar con precisión la compactación del suelo. Este estudio tuvo como objetivo permitir evaluar la resistencia a la penetración (RP) del suelo con



un prototipo de penetrómetro de bajo costo y compararlo con el comercial. El prototipo se construyó con materiales sencillos y de fácil manejo, compuesto por componentes como Arduino que captura y envía datos al celular donde se almacenan los resultados. Las pruebas se llevaron a cabo en dos parcelas con cultivos de cobertura, cada parcela constaba de diez puntos de análisis. Los resultados indicaron problemas en el prototipo para lecturas en profundidad, sin embargo, estaba relacionado con equipos comerciales. Por tanto, se necesitan más estudios para validar el prototipo.

Palabras clave: Suelo, compactación y prototipo.

ABSTRACT

The intensive use of soil can cause problems such as compaction and, consequently, a reduction in productivity. Compaction refers to the increase in the density of the soil in a determined (fixed) volume with a reduction in the porosity. Compaction is one of the biggest problems in agriculture, which makes the root development of plants difficult. Depending on the degree of compaction, the productivity of cultivation will radically reduce. Sandy soils have less tendency to compact the soil, whereas clay and clay soils have a greater tendency to compaction, due to the fact that the density is different between these soils. In addition to the reduction in the length of the roots, the increase in the resistance to penetration causes an increase in the diameter of the roots, I think that can be explained as an alternative for the plant to adapt to the environment with greater resistance to the growth of the roots. Therefore, it is important to have methodologies to accurately evaluate the compaction of the soil. This study aims to allow evaluating the penetration resistance (RP) of soil with a low-cost penetrometer prototype and comparing it with a commercial one. The prototype was built with simple and easy-to-handle materials, made up of components such as Arduino that captures and sends data to the cell phone where the results are stored. The tests were carried out in two plots with cover crops, each plot having ten analysis points. The results indicated problems in the prototype for in-depth readings, however, it was related to commercial equipment. Therefore, more studies are needed to validate the prototype.

Keywords: Suelo, compaction and prototype.



INTRODUÇÃO

A compactação do solo é um fator onde ocorre a diminuição do espaço dos poros, ocorrendo assim um aumento da densidade do solo, sendo que pode ser causada por vários fatores que são: uso intensivo e em monocultivo do solo, excesso de trânsito de máquinas agrícolas, pisoteio de animais, entre outros fatores que podem ocasionar a compactação do solo (NASCIMENTO, 2016). O tipo de solo influi muito na compactação do solo, pois solos mais argilosos são mais suscetíveis à compactação, já solos mais arenosos são menos suscetíveis a essa problemática, além disso, o teor de água dos solos também vai influenciar na compactação (FOLONI et al., 2003).

A utilização de maquinários agrícolas resulta na compactação pelo fato do peso exercido pelo trator durante o tráfego (Figura 1), nesse caso a pressão irá depender das características do maquinário, pois irá depender da carga que está sendo carregada (além da massa do trator), quantidades de pneus, largura do pneu e também a velocidade do trator, sendo que dez passagens no mesmo lugar já é o suficiente para que ocorra uma compactação de entorno de 50 cm de profundidade (NASCIMENTO, 2016). O pisoteio de animais pode levar a danos na estrutura do solo, principalmente a compactação, pois pode acarretar a deterioração de até 20 centímetros do solo (FOLONI et al., 2003).

Problemas são acarretados através da compactação (Figura 2), pois afeta crescimento de raízes e, conseqüentemente, absorção de nutrientes e desenvolvimento da fauna do solo (EMBRAPA, 2012). Com a diminuição de poros entre as partículas, ocorre redução na taxa de infiltração e drenagem da água e na difusão de oxigênio, podendo levar ao estabelecimento de condições anóxicas, ou seja, a falta de água e oxigênio no solo (BONNETI et al., 2016). A partir da compactação do solo ocorre o aumento da desnitrificação, processo responsável pela emissão de N_2O para a atmosfera (FOLONI et al., 2003). A formação de zonas anóxicas podem reduzir a taxa de nitrificação do solo a zero (NASCIMENTO, 2016). A fertilidade do solo também é deteriorada pela compactação, pois o fenômeno danifica as estruturas por onde a fauna do solo pode se mover e transportar nutrientes (EMBRAPA, 2012).

O diagnóstico e a detecção da compactação do solo dependem de um conjunto de informações e atributos característicos que configuram um solo compactado (BONNETI et al., 2016). Os penetrômetros são aparelhos capazes de ler o grau de resistência do solo à penetração



(RP). Esse instrumento é dotado de uma haste metálica que, ao ser introduzida no solo, indica maior ou menor resistência do solo (NASCIMENTO, 2016).

O objetivo deste estudo foi viabilizar a avaliação da RP com um protótipo de penetrômetro e comparar os resultados com o penetrômetro comercial.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A utilização de sucessão de culturas é comum na cadeia produtiva, tornando assim a utilização do solo intensa e proporcionando também degradação do solo (WAGNER et. al., 2017). Uma das formas de degradação, é a compactação do solo. A compactação do solo ocorre pela pressão exercida no solo, que diminui o volume ocupado pelas partículas (CHAGAS et. al., 2017), esta pressão pode ocorrer através do tráfego de máquinas agrícolas e animais (NASCIMENTO, 2016). Com a compactação do solo, há redução da porcentagem de macroporos, tendo menos espaço para crescimento das raízes, dificultando assim as trocas gasosas e também a dificuldade de drenagem de água no solo, favorecendo o processo erosivo (WAGNER et. al., 2017).

Segundo PIONEER (2019) a compactação se refere ao aumento da densidade do solo em um determinado volume (fixo) com a redução da porosidade. Assim, por compressão, expulsando o ar e rearranjando as partículas, esse fato se dá por intermédio do ser humano, pois através de tráfego de máquinas agrícolas, manejo equivocado no solo com implementos e/ou animais em uma mesma área. Os animais compactam uma camada superficial do solo, já as máquinas agrícolas compactam uma camada subsuperficial do solo, podendo ser mais difícil a descompactação. (PIONEER, 2019).

A compactação do solo pode ser avaliada por diferentes métodos, com o uso de sondas de resistência do solo à penetração, o uso de aparelhos de ressonância magnética, o uso de sensores de umidade do solo e o uso de modelos matemáticos (BONNETI et al., 2016). Dentre esses métodos, o uso de penetrômetros é um dos mais comuns, pois permite uma avaliação precisa da compactação do solo em diferentes profundidades.

O penetrômetro é um equipamento que mede a pressão necessária para uma haste com ponta cônica penetrar no solo, no caso na agricultura é bastante utilizado para avaliar a compactação do solo (PIONEER, 2009). Esse equipamento contém uma haste que por sua vez



é introduzida verticalmente no solo, em profundidades variáveis, sendo as mais comuns aproximadamente 40 e 60 cm de profundidade.

A compactação é um dos grandes problemas na agricultura, pois dificulta o desenvolvimento radicular das formas de mensurar a interferência do crescimento radicular das plantas é a avaliação da resistência à penetração (RP), sendo que sua avaliação irá variar conforme o teor de água do solo, sendo desejável que o solo seja avaliado na capacidade de campo. Segundo (FOLONI et al., 2003) valores iguais ou superior a 1,4 MPa de resistência a penetração dificultam o desenvolvimento radicular em profundidades mais profundas. Conforme ROSOLEM (1999), o aumento da RP decorrente da compactação do solo tende a diminuir o comprimento radicular, principalmente de raízes seminais. BEULTER e CENTURION, avaliando a interferência da compactação do solo na produtividade da cultura, verificaram que acima de 0,85 MPa podem ocorrer perdas de produtividade que chegam a 1000 kg ha⁻¹. A utilização do penetrômetro requer alguns cuidados, pois a RP está diretamente relacionada ao teor de água do solo.

A RP é um atributo que indica o grau de compactação do solo, ou seja, busca uma aproximação em relação à força que a raiz precisa exercer para se desenvolver no solo (EMBRAPA, 2012). No cenário agrícola atual, a compactação do solo é um problema para os agricultores, resultando assim na diminuição da produtividade das espécies cultivadas (WAGNER et. al., 2017).

METODOLOGIA

O trabalho foi realizado no Instituto Federal do Mato Grosso do Sul, no campus Nova Andradina, localizado às margens da rodovia MS-473 no km 23, Fazenda Santa Bárbara. O protótipo foi constituído por uma placa microcontroladora Arduino, células de cargas e a utilização de um celular para obter as coordenadas e a visualização e armazenar os resultados de RP. Para a visualização dos resultados foi utilizado celular com sistema Android conectado por via Wi-Fi com o Arduino do protótipo. O celular conectado tem que ter instalado o aplicativo que foi criado para ordenar os comandos de iniciar a análise e a visualização dos resultados, onde também são armazenados os valores de RP.

Este projeto, também buscou possibilitar a coleta de dados diretamente no celular. Ou



seja, substituir o cartão de memória, armazenamento dos dados no celular via comunicação Wi-Fi. Para isso, uma aplicação foi desenvolvida na suíte Kodular, através de Blocos de low-code

Foram confeccionadas hastes com as medidas de 6 mm de diâmetro, 42 cm de comprimento tendo sua ponta cônica com dimensões de 7,9 mm x 14,82 mm e ângulo de 30 °. Os resultados obtidos são convertidos e as unidades de medidas de quilogramas (Kgf) são transformadas para mega pascal (MPa).

Os dados obtidos foram tabulados e submetidos a comparação pelo intervalo de confiança da média conforme Payton et al.(2000) a 5%. Além do intervalo de confiança, foi realizada análise estatística dos dados com a utilização do software SAS Institute (DER e EVERITT 2015), através de correlação de Pearson e análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 1: Médias final Sistema de Plantio Convencional com protótipo

Análise	Tempo/ s	Distancia/ m	RP/ Kg
1	13,58	0	-6,49
2	12,21	224,43	11,96
3	15,86	203,7	8,22
4	13,26	209,91	-0,31
5	12,59	203,2	-0,33
6	9,04	181,18	0
7	12,23	153,71	49,62
8	10,67	163	16,23
9	10,62	385,18	2,39
10	13,75	484,12	3,75
11	11,32	204,45	11,27
12	11,81	218,94	0,44
Média Final	12,28	219,26	7,71

Fonte: Própria (2023).



Tabela 02: Médias finais Sistema de Semeadura Direta com protótipo

Análise	Tempo/ s	Distancia/ m	RP/ Kg
1	9,32	98,55	8,33
2	11,86	271,86	11,29
3	13,91	252,95	4,3
4	11,53	233,92	0,15
5	11,01	249,91	-19,28
6	819,4	0	13,5
7	11,75	99,35	-0,32
8	11,75	101,34	-16,19
9	10,66	90,24	5,35
10	703,9	0	80,15
11	890,8	0	39,44
12	10,05	92,65	0,08
Média Final	227,81	127,10	10,57

Fonte: Própria (2023).

Tabela 3: Médias finais em mata nativa com protótipo

Análise	Tempo/ s	Distancia/ m	RP/ Kg
1	9,41	342,63	3,2
2	12,51	9,8	2,29
3	11,25	216,04	2,27
4	12,26	211,4	6,01
5	11,78	220,49	4,94
6	15,6	178,85	-0,16
7	14,44	196,52	0,04
8	14,24	193,28	1,23
9	14,08	207,31	0,4
10	12,68	243,4	0,64

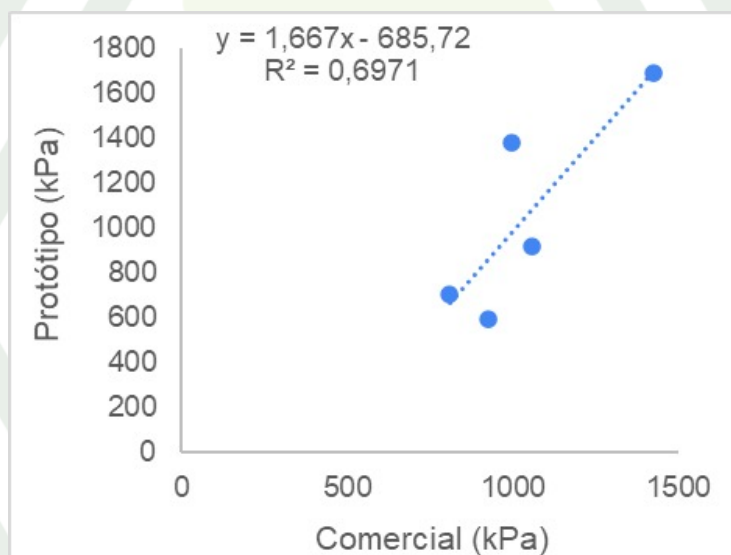


11	11,56	223,2	0,74
12	12,45	218,2	6,95
Média Final	12,71	203,90	2,38

Fonte: Própria (2023).

A Figura 1, apresenta os resultados do protótipo desenvolvido em relação ao penetrômetro comercial. Ambas as avaliações foram realizadas na mesma área, porém os resultados apresentaram inconsistências a partir de determinada profundidade. Ambos começam com uma média de MPa semelhante, porém ao passar de 20 cm o protótipo continua a aumentar enquanto o comercial estabiliza.

Figura 1. Comparação dos resultados do protótipo e do penetrômetro comercial até 0,2 m.



Fonte: Própria (2023).

Tabela 4. Comparação dos resultados do protótipo e do penetrômetro comercial até os 40 cm.

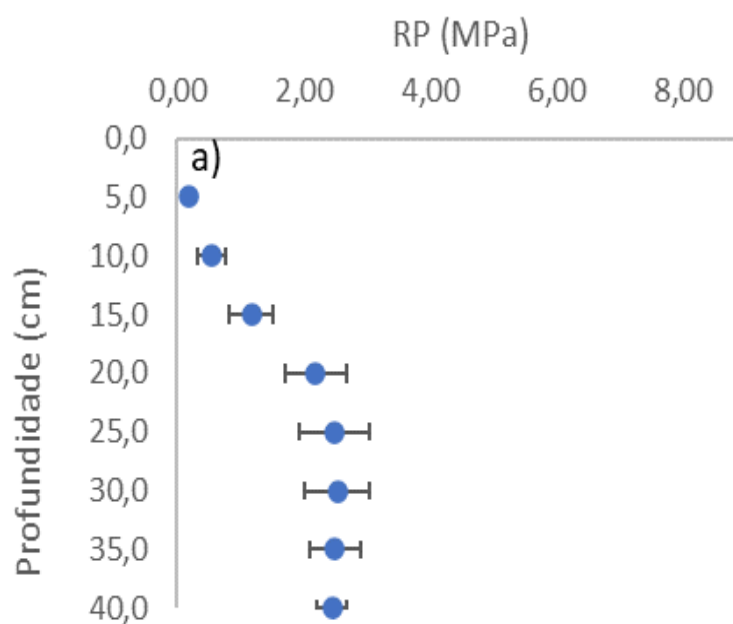
Prof (cm)	Média (MPa)	DP	CV (%)	Máximo (MPa)	Mínimo (MPa)
Protótipo					
5,0	0,12	0,12	99,38	0,28	0,03
10,0	1,60	1,44	90,17	3,41	0,30
15,0	3,38	1,65	48,71	5,76	1,14
20,0	3,41	1,28	37,69	4,59	1,53



25,0	5,00	1,81	36,27	6,76	2,55
30,0	5,67	1,50	26,52	7,18	3,63
35,0	6,44	1,68	26,13	7,70	3,51
40,0	7,35	0,39	5,26	7,88	6,96
Comercial					
5,0	0,20	0,09	44,38	0,34	0,07
10,0	0,55	0,34	62,43	1,09	0,19
15,0	1,18	0,55	46,84	2,08	0,53
20,0	2,19	0,77	34,91	3,42	1,18
25,0	2,49	0,90	36,12	3,58	1,11
30,0	2,54	0,83	32,75	3,62	1,39
35,0	2,49	0,64	25,71	3,53	1,64
40,0	2,45	0,37	15,24	3,15	2,08

Fonte: Própria (2023).

Figura 2. Resultados de compactação do comercial.

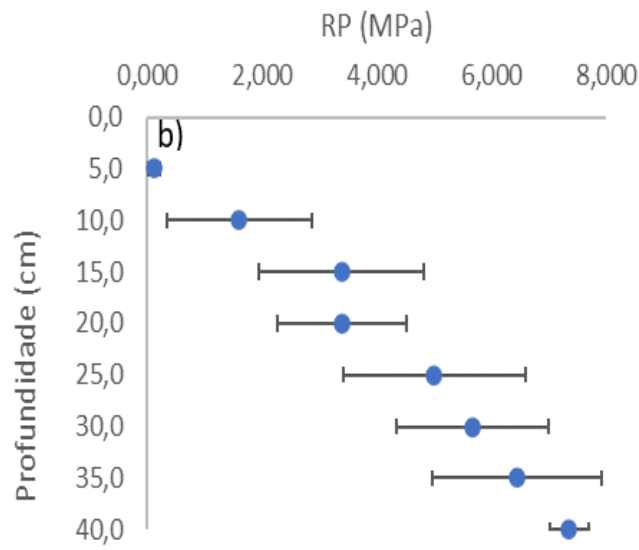


Fonte: Própria (2023).

A Figura 2 demonstra os valores de RP obtidos com o equipamento comercial. As barras representam o intervalo de confiança da média. A sobreposição do Intervalo de confiança da média indica ausência de diferença estatística conforme Payton et al. (2000).

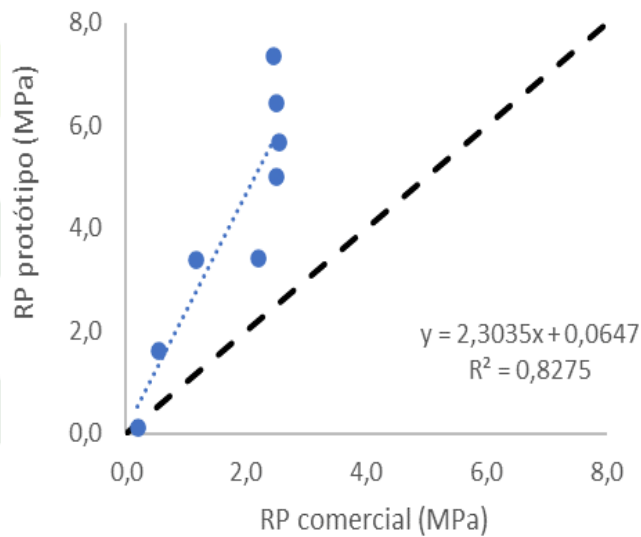


Figura 3. Resultados compactação do protótipo.



Fonte: Própria (2023).

Figura 4. Correlação de compactação do protótipo com o comercial.



Fonte: Própria (2023).

A Figura 4 demonstra os valores de RP do protótipo em função dos valores do



equipamento comercial. Houve tendência de superestimativa dos valores no protótipo, que pode ser observado pela distribuição dos valores acima da linha 1:1 (linha pontilhada). Estatisticamente não houve significância na regressão ($p > 0,05$). Contudo, também foi analisada a correlação, que foi significativa ($p < 0,05$) e com valor de $r = 0,91$.

O protótipo teve um custo médio de R\$1.200,00 reais, custos esses que foram para custear serviços de terceiros como de torneiros, para a aquisição dos materiais, entre outros. Esse custo é considerado muito baixo em comparação aos penetrômetro comercial, pois o valor do penetrometro pode ultrapassar R\$10.000,00. Assim, embora haja limitações nas avaliações em profundidade, pelos resultados obtidos em superfície, o protótipo apresenta potencial.

CONCLUSÕES

Diante de várias problemáticas que a compactação favorece, temos meios que a previne, tendo como o uso de análises de compactação onde nos demonstra o quanto este solo esta compactado, com o protótipo de baixo custo que foi desenvolvido foi possível obter resultados com correlação significativa com o equipamento comercial. Porém, mais estudos são necessários para ajustar o protótipo, pois os valores de RP do protótipo foram superiores ao comercial para camadas abaixo de 0,2 m.

REFERÊNCIAS

ARDUINOS. HCP ELETRÔNICOS. 2017 DISPONÍVEL EM :
<https://www.hcpeletronicos.com.br/produto/robotica/placas-processamento/440-arduino-uno-r3-com-cabo-usb>. ACESSO EM 13 JAN. 2022

BEUHLER, A. N; CENTURION, J. F; SILVA, A. P. COMPARAÇÃO DE PENETRÔMETROS NA AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DE LATOSSOLOS. Eng. Agríc. Jaboticabal, v.27, n.1, p.146-151, jan/abr. 2007.

CHAGAS, Gleiber da Silva; MOURA, Alfran Sampaio; DE ARAUJO CARNEIRO, Andressa. UTILIZAÇÃO DA COMPACTAÇÃO PARA REDUÇÃO DO POTENCIAL DE COLAPSO/EXPANSÃO DE UM SOLO SILTO ARGILOSO DE MASSAPÊ DA CIDADE



DE ICÓ–CE. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 13, n. 1, 2017.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L. Variabilidade da resistência a penetração do solo em função da dimensão da malha amostral. Revista Plantio Direto e Tecnologia Agrícola, 2011, p. 4-9, 2011.

COMPACTAÇÃO DE SOLOS. BLOG AGRONEGÓCIO EM FOCO. 2019. DISPONÍVEL EM:[compactação de solos agrícolas](#). ACESSO EM 13 JAN. 2022

EMBRAPA. Compactação do solo: resistência do solo à penetração. Londrina, PR, 2012. MARANGON. M. MECÂNICA DOS SOLOS II. Capacidade de carga dos solos. Cap.7 p.200. 2018.

FOLONI, J. S. S; CALONEGO, J. C; LIMA, S. L. EFEITO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NO DESENVOLVIMENTO AÉREO E RADICULAR DE CULTIVARES DE MILHO. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 38, n. 8, p. 947-953, ago. 2003.

FREDDI. COMPACTAÇÃO DO SOLO NO CRESCIMENTO RADICULAR E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO. R. Bras. Ci. Solo, p.627-636, 2007.

PAYTON, M. E., A. E. MILLER, ET AL. (2000). "Testing Statistical Hypotesis using standard error bars and confidence intervals." Communications in Soil Science and Plant Analysis 31: 547-551.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C. & REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:1131-1140, 2007. MACEDO, D. X. S.; MONTEIRO, L. A.; SANTOS, V. C. Compactação, escarificador e subsolador, 2016. Disponível em: http://www.lima.ufc.br/arquivos_pdf/20160503104319.pdf. Acesso em: 13 de mai. 2022.



LUND, E. D.; COLIN, P. E.; CHRISTY, C.; DRUMMOND, P. E. Applying soil electrical conductivity technology to precision agriculture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, Madison. Proceedings. Madison: ASA-CSSA-SSA, 1999. P.1089-1100.

PORTUGAL, Nabila Rhaiane Nascimento. Compactação do solo por atividades agropecuárias. 2016.

ROSOLEM, C. A. et al. CRESCIMENTO RADICULAR DE PLÂNTULAS DE MILHO AFETADO PELA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.34, n.5, p.821-828, mai. 1999.

NEIS, L.; PAULINHO, H. B.; SOUZA, E. D. D.; REIS, E. F. D.; PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 409-416, 2010.

MACHADO, P. L. O. A. et al. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n. 6, p. 1023-1031, jun. 2006. MOLIN, J.P; AMARAL, L.R., COLAÇO, A.F. *Agricultura de Precisão*. ed. 01. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2015, p. 139-140.

WAGNER et al. Efeito da compactação do solo na produtividade da cultura da soja (*Glycine max L.*). 2017.

