

RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM RESPOSTA AO NÚMERO DE AMOSTRAS

**JUAN JOSE BONNIN¹, RUBEN FRANCO IBARS², PEDRO ANÍBAL VERA³,
ANGELA MANCUELLO⁴, SERGIO CHAMORRO⁵, EUGENIO GONZÁLEZ⁶**

¹ Doutor, Faculdade de Ciências Agrárias/UNA, Fone 595-985-229-061, jose.bonnin@hotmail.com

² Mestre, Faculdade de Ciências Agrárias/UNA, Fone 595-971-151-445, rubenf27@yahoo.mx

³ Mestre, Faculdade de Ciências Agrárias/UNA, Fone 595-992-686193, pvera@agr.una.py

⁴ Engenheiro Florestal, Faculdade de Ciências Agrárias/UNA, Fone 595-982-307-754, amancuello@gmail.com

⁵ Engenheira Agrônomo, Faculdade de Ciências Agrárias/UNA, Fone 595-971-725-298, sergio_chamorro35@hotmail.com

⁶ Engenheira Agrônomo, Faculdade de Ciências Agrárias/UNA, Fone 595-975-251-677, gonzalezzeugenio21@gmail.com

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: O presente trabalho teve por objetivo verificar a variação dos valores da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em resposta ao número de repetições (população amostral), sob dois tipos de manejo: sistema de preparo de solo convencional (PSC) e sistema de plantio direto (SPD). A determinação da RMSP foi mensurada por meio do índice de cone (IC), através de um penetrômetro eletrônico de acionamento manual, nas faixas de profundidade de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e >40 cm. Para a análise dos dados, realizou-se uma análise exploratória e posteriormente, determinou-se o erro amostral em função aos números de repetições necessárias para caracterizar adequadamente um ponto de leitura de IC. O número de amostras representativas para a determinação da RMSP variou com o sistema de manejo e a profundidade de amostragem. De modo geral a partir de 10 repetições o erro amostral se manteve no patamar de 5% em ambos sistemas de manejo de solo avaliados no trabalho de pesquisa.

PALAVRAS-CHAVE: Compactação do solo, amostragem do solo, erro amostral

MECHANICAL RESISTANCE OF SOIL TO PENETRATION IN RESPECT OF NUMBER OF SAMPLES

ABSTRACT: The objective of the present study was to verify the variation of soil mechanical resistance to penetration (RMSP) in response to the number of replications (Sample population) under two types of management: conventional soil preparation system (PSC) and system (SPD). The RMSP determination was measured using the cone index (IC), using an electronic hand-held penetrometer, in depth ranges of 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 and > 40 cm. For the analysis of the data, an exploratory analysis was carried out and the sampling error was determined as a function of the numbers of repetitions necessary to adequately characterize an IC reading point. The number of representative samples for the determination of the RMSP varied with the management system and the sampling depth. In general, from 10 repetitions, the sampling error remained at the 5% level in both soil management systems evaluated in the research work.

KEYWORDS: Compaction of the soil, soil sampling, sampling errors

INTRODUÇÃO: Um atributo físico amplamente observado em solos agrícolas é a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), que é causada, principalmente, pelo aumento do tráfego de máquinas agrícolas, associado com condições inadequadas de umidade e peso das máquinas entre outros fatores, que influenciam no aumento da compactação do solo, afetado diretamente no desenvolvimento da cultura, reduzindo sua produtividade (CONTE et al., 2017). Para a caracterização da compactação do solo, o indicador mais utilizado é o índice de cone (IC), que mede a resistência que o solo exerce com relação à penetração de uma ponta cônica, que para exercer esta penetração são utilizados os penetrômetros. Mais para Portz et al. (2013) o IC apresenta grandes variações em função das propriedades do solo, principalmente, a causa do teor de água e a densidade. De acordo com Molin et al. (2015) é necessário realizar leituras em uma grande quantidade de sub amostras em razão da dificuldade de se representar o ponto amostral a partir do IC, cuja área de medição é extremadamente pequena. Assim, a determinação de um número de amostras que assegure a obtenção de um valor médio confiável da área avaliada admitirá uma economia de tempo e trabalho e a realização sistemática das amostragens necessárias para o acompanhamento do sistema de produção, em tanto houve-se uma relação custo-benefício positivo por meio da acurácia (Exatidão e precisão) na avaliação com menor custo (TAVARES FILHO e RIBON, 2008). Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo verificar a variação dos valores da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em resposta ao número de repetições (População amostral), sob dois tipos de manejo: sistema de preparo de solo convencional (PSC) e sistema de plantio direto (SPD).

MATERIAL E MÉTODOS: A pesquisa foi realizada nos limites do campo experimental da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Nacional de Assunção (FCA/UNA), São Lorenzo, Departamento Central (Paraguai), localizado na latitude Sul 25°19'33" e longitude Oeste 57°31'13" com uma altura de 237 msnm (Datum WGS 84). O solo das áreas experimentais foi classificado como Ultisol, de acordo com López et al. (1995). A coletas dos dados foram feitas em duas áreas distintas, a primeira, na área denominada PSC, a qual vinha sendo manejada sob um sistema de preparo de solo convencional com tráfego agrícola durante o ano todo. A segunda área (SPD) sob sistema de plantio direto, encontrava-se coberta por palha de milho no momento da realização do trabalho de campo. Cada área experimental possui uma superfície de 24 m² (8 x 3 m) e nelas foram realizadas 30 leituras aleatórias da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) para cada sistema de manejo, através de um penetrômetro eletrônico de acionamento manual da marca Eijkelkamp, modelo Pentrollogger 06.15.AS equipo com um sistema de aquisição e processamento automático de dados de resistência em forma gráfica e numérica em tempo real. A determinação da RMSP foi mensurada por meio do índice de cone (IC), nas faixas de profundidade de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e >40 cm. Igualmente, foi determinado o teor de água no solo para cada área de estudo, em duas camadas de 0-20 e 20-40 cm. Para a análise dos valores de RMSP em ambas áreas estudadas, realizou-se, primeiramente, um estudo exploratório (Estatística descritiva), calculando medidas de localização (Média, mínima e máxima), de tendência central (Assimetria e curtose) e de variabilidade (Coeficiente de variação), para verificar a normalidade dos valores registrados no campo. Posteriormente, foram analisadas as médias obtidas em cada área experimental, em função dos números de repetições necessários para caracterizar adequadamente um ponto de leitura de IC, utilizando-se como parâmetro o valor do erro amostral em porcentagem calculado através do desvio padrão dividido pela média de acordo à metodologia proposta por Molin et al. (2012). Este último análise partiu do conceito de que, aumentando o número de repetições, menor é a variabilidade de um valor representativo da propriedade estudada em escala maior.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Tabela 1 são apresentados os resultados da análise exploratória dos valores de IC no perfil de cada área, no intervalo de 10 cm gerados a partir da média das 30 leituras. Verificou-se que todos os dados de RMSP apresentam uma distribuição normal de acordo ao Teste de Shapiro-Wilks ($p < 0,05$), independente da profundidade de amostragem e dos sistemas de manejo do solo. Observou-se que, de maneira geral, os valores médios de IC para as duas áreas avaliadas apresentaram um aumento na RMSP na medida que aumentava a profundidade de amostragens, sendo mais evidente na área de PSC, donde o tráfego de máquinas foi mais intenso, embora só na camada >40 cm superará os 2 MPa de resistência, que de acordo com Petean et al. (2010), valores de IC de entre 2 e 2,5 MPa têm sido indicados como os limites críticos de RMSP para o crescimento radicular das plantas e consequentemente, da parte aérea, considerando a espécie vegetal e o teor de água do solo. Os coeficientes de variação (CV) obtidos nas duas áreas estudadas para RMSP, apresentaram uma variabilidade média ($12 < CV < 60\%$), conforme os limites propostos por Warrick e Nielsen (1980).

TABELA 1. Estatística descritiva dos valores de índice de cone (IC), em quatro profundidades do solo, utilizando malhas amostrais de diferentes dimensões.

Variáveis Índice de Cone (IC)	Sistema de plantio direto (SPC)						
	Profundidade de amostragens					Teor de água no solo (%)	
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	>40 cm	0-20 cm	20-40 cm
Média (MPa)	0,52	0,99	1,12	1,77	2,89	38,23	36,97
Mínimo (MPa)	0,10	0,61	0,68	0,78	1,28	23,00	22,00
Máximo (MPa)	0,88	1,52	1,70	3,28	4,01	52,00	49,00
D.S.	0,25	0,25	0,27	0,61	0,69	11,45	7,44
CV (%)	47,88	24,67	23,89	34,78	29,92	32,73	26,43
Assimetria	-0,28	0,39	0,23	0,63	0,98	0,39	0,59
Curtose	-1,07	-0,92	-0,50	-0,07	0,53	-0,70	-0,40
Dist. Normal	Aceitada*	Aceitada*	Aceitada*	Aceitada*	Aceitada*	Aceitada*	Aceitada*
Variáveis Índice de Cone (IC)	Preparo de solo convencional (SPD)						
	Profundidade de amostragens					Teor de água no solo (%)	
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	>40 cm	0-20 cm	20-40 cm
Média (MPa)	0,85	1,15	1,53	1,89	1,90	34,98	28,14
Mínimo (MPa)	0,41	0,40	0,55	0,56	0,44	15,00	18,00
Máximo (MPa)	1,30	1,66	2,66	3,29	2,53	59,00	46,00
D.S.	0,23	0,29	0,49	0,57	0,47	6,16	6,48
CV (%)	27,45	25,56	31,90	30,07	24,60	16,12	17,54
Assimetria	0,19	-0,46	0,06	0,08	-1,15	0,04	-0,36
Curtose	-0,40	0,26	-0,12	0,34	1,59	0,21	-0,09
Dist. Normal	Aceitada*	Aceitada*	Aceitada*	Aceitada*	Aceitada*	Aceitada*	Aceitada*

* Teste de Shapiro-Wilks ($p < 0,05$); D.S.: Desvio Padrão; CV: coeficiente de variação.

Na Figura 1 são apresentados os gráficos do erro amostral das duas áreas de manejo analisada em função do número de repetições para cada profundidade de solo. Pode-se afirmar que, em todas as camadas estudada, o erro amostral mostrou-se acima de 10% até 4 repetições para os dois sistemas de manejo (PSC e SPD). Logo a partir de 10 repetições os erros amostrais foram inferiores ao 5%. Posteriormente, foram decrescendo a porcentagem de erro amostral em função do aumento da repetição, independentemente, do tipo de manejo de solo. No caso do PSC, verificou-se que a partir de 12 repetições o erro amostral não sofreu decréscimo em seus valores importantes, variando entre 2 a 1% para as primeiras camadas de solo, mais, a partir de 30 cm de profundidade o erro amostral se manteve acima de 2%, fato que pode significar maior variabilidade dos resultados, exigindo um maior número de amostras para a obtenção de uma média mais confiável nesse caso. Para o SPD, a estabilidade dos dados ocorre a partir

das 14 repetições, com uma variação do erro amostral de 3 a 1%. Tavares Filho e Ribon (2008) verificaram que para o nível de 10% de erro amostral o número de repetições ideal seria igual a 10 para o penetrômetro de impacto. Molin et al. (2012) menciona que a partir de 15 repetições o erro amostral não sofre decréscimo significativo em seus valores, variando entre 5 e 15% para os penetrômetros de impacto, eletrônico de acionamento manual e de acionamento hidráulico.

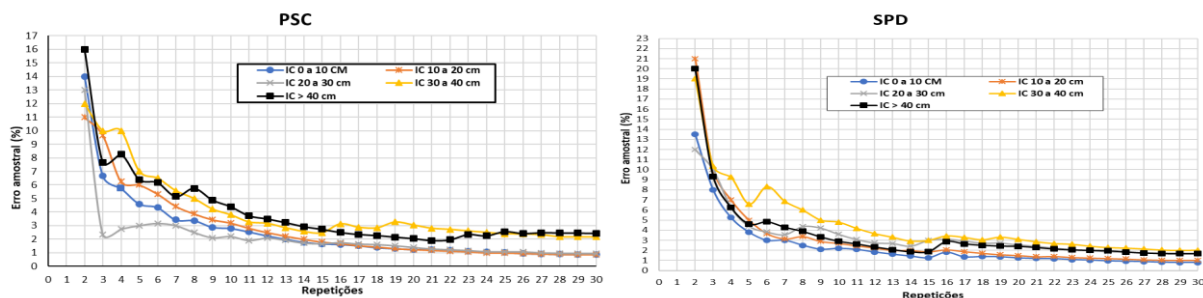


FIGURA 1. Acurácia da estimativa do erro amostral da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) sob dois tipos de manejo: preparo de solo convencional (PSC) e sistema de plantio direto (SPD), em função do número de amostragem.

CONCLUSÕES: O número de amostras representativas para a determinação da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) variou com o sistema de manejo e a profundidade de amostragem. De modo geral, a partir de 10 repetições o erro amostral manteve-se no patamar de 5% em ambos os sistemas de manejo avaliados neste estudo.

REFERÊNCIAS:

- CONTE, P. H.; CANSION, C. A.; ALVES, A.; RAFIN, E.; DA ROSA, D. P. Variabilidade espacial da resistência a penetração de um nitossolo vermelho sob sistema plantio direto e cultivo mínimo. **XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017**. Maceió - AL, Brasil, 30 de julho a 03 de agosto de 2017
- LÓPEZ, G. O.; GONZÁLEZ, E.; LLAMAS, P.; MOLINAS, A.; FRANCO, E.; GARCÍA, S.; RÍOS, E. 1995. Estudio de reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la región oriental del Paraguay. Paraguay MAG
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLACO, A. F. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- MOLIN, J. P.; DIAS, C. T. dos S.; CARBONERA, L. Estudo de penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n.5, p.584-590. 2012.
- TAVARES FILHO, J.; RIBON, A. A. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.487-494, 2008
- PETEAN, L.; TORMENA, C.; ALVES, S. Intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 34: 1.515-1.526, 2010.
- PORTZ, G.; SCHOENKNECHT, E.; ALBUQUERQUE, M.; TREIN, C. Ajuste dos valores obtidos por Resistência a Penetração (Índice de Cone), em função da Umidade e Densidade do Solo em condições de campo. Disponível em: <http://www.falker.com.br/artigos/Ajuste_RP_umidade_GustavoPortz.pdf>. Acesso em: 1 maio 2019.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, p. 319-344, 1980.