

## RESISTÊNCIA MECÂNICA À PENETRAÇÃO DO CONE NUM LATOSSOLO COMPACTADO EM LABORATÓRIO EM VARIADOS GRAUS DE UMIDADE

WALTER F. MOLINA JR<sup>1</sup>, SONIA M. S. PIEDADE<sup>2</sup>, JUAREZ R. AMARAL<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Dr. do Depto de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - USP, Piracicaba/SP, Fone: (19) 3429-4165, wfmolina@usp.br.

<sup>2</sup> Eng. Agrônoma, Prof. Dr. do Depto de Ciências Exatas, ESALQ/USP.

<sup>3</sup> Eng. Eletrônico, Téc. Especializado do Depto de Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP.

Apresentado no

X Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola - CLIA 2012

XLI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2012

15 a 19 de julho de 2012 - Londrina - PR, Brasil

**RESUMO:** A utilização da resistência à penetração do cone no solo tem sido cada vez mais utilizada para representar seu estado de compactação e vários autores procuram relacionar o índice de cone (IC) com a massa específica do solo. Com o objetivo de verificar o comportamento do índice de cone (IC) em relação à densidade de um latossolo vermelho escuro distrófico (argila - 43,78%, silte - 15,06% e areia - 41,16%) produziram-se, em laboratório, corpos de prova compactados com dispositivo de tração e compressão universal, marca Instron, em quatro níveis de umidade (12% a 27%) em cujo interior foram colocados anéis metálicos para tomada de amostras e determinação de densidade e umidade do solo. Mediu-se o IC a cada  $5.10^{-3}$ m de penetração (com hastes e cones acoplados ao mesmo equipamento) em três velocidades (2,8 a  $8,5.10^{-3}$ m.s<sup>-1</sup>). Os valores de densidade do solo foram agrupados em sete classes. Como o número de observações variou em cada corpo de prova, a análise estatística teve delineamento experimental inteiramente casualizado (para cada umidade e velocidade) realizando-se teste F da análise de variância, e posteriormente as médias de IC correspondentes a cada densidade foram comparadas pelo teste de Tukey. Os resultados obtidos mostram que a associação dos valores de IC à densidade não pode ser feita de forma generalizada e sua determinação é intensamente influenciada pela umidade, dificultando a correlação entre eles.

**PALAVRAS CHAVE:** ÍNDICE DE CONE, DENSIDADE DO SOLO, VELOCIDADE DE PENETRAÇÃO

### MECHANIC CONE PENETRATION RESISTANCE IN A LABORATORY COMPACTED SOIL IN VARIED HUMIDITY GRADES

**ABSTRACT:** The use of penetration resistance of a cone into the soil has been more and more used to represent the compaction situation and there are several authors attempting relate the cone index (CI) with the density of the soil. With the objective of verify the cone index (CI) compoment, related with the density of a clay oxisoil (clay- 43,78%, silt- 15,06% and sand - 41,16%), were produced, in labs, compacted specimens by traction and universal compression device, label Instron, in four humidity levels (12% to 27%) in which internal were placed metal rings for sampling and humidity and density determination from soil. CI were measured every  $5.10^{-3}$ m of penetration (with shafts and cones coupled in the same equipment) in three speeds (2,8 to  $8,5.10^{-3}$ m s<sup>-1</sup>). The soil density values were grouped in seven classes. As the group of classes varied in each specimen, the statistical analysis was completely randomized design (for each humidity and speed) performing F test from variance analysis, and afterward the average density respective to each CI were compared by Tukey test. The results showed that the association of IC values to density can't be made by a generalized way and its determination is strongly influenced by soil moisture, complicating the correlation between them.

**KEYWORDS:** CONE INDEX, SOIL DENSITY, PENETRATION SPEED

**INTRODUÇÃO:** A determinação do índice de cone (IC) dos solos agricultados são frequentemente correlacionadas com o impedimento mecânico para o desenvolvimento radicular; grau de compactação ou avaliação da densidade, predição da capacidade de tração de rodados e mudanças no seu estado físico, pela ação do trabalho dos equipamentos agrícolas. Com o emprego de maquinário cada vez maior e mais pesado, observa-se compactação severa nas camadas superficiais do solo. A correção de tais efeitos exige métodos rápidos e eficientes de determinação das condições físicas do solo, o que é feito pela medição do IC. Estudando a influência da umidade na resistência à penetração, ASSIS et al. (2009) concluíram que as relações são inversas. Foram observadas grandes alterações do índice de cone para pequenas variações da umidade e nos solos argilosos observaram-se maiores resistências que nos arenosos. CUNHA et al. (2002) apresentaram conclusões semelhantes, acrescentando também que a intensidade da compactação eleva os valores obtidos para o índice de cone. No entanto, SOJKA et al. (2001) comentam que apesar de, na prática, ser comum a utilização de instrumentos que promovem a penetração de um cone no solo como método de caracterização, tais determinações raramente são acompanhadas de informações que permitam quantificar como os valores obtidos são influenciados por parâmetros relacionados com as propriedades físicas de cada solo. Além disso, como constataram BEUTLER et al. (2007), equipamentos diferentes podem produzir resultados diferentes nas mesmas condições, embora possam indicar tendências equivalentes. Comentam que estes resultados estão relacionados com as características construtivas dos aparelhos, embora o cone utilizado nas medições fosse padronizado. O presente estudo teve o objetivo de verificar a influência da umidade na determinação de IC, em condições de laboratório. Para tanto, foram utilizados dispositivos que permitiram reproduzir a compactação em corpos de prova com variação de umidade.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A composição granulométrica do solo utilizado nos ensaios, sua umidade e massa específica foram determinadas segundo EMBRAPA (1997). O solo foi coletado em área de pasto natural, após retirada a cobertura vegetal e esparramado sobre filme plástico de polietileno de baixa densidade (lona preta) para secagem ao ar. Posteriormente, foi peneirado (malha de  $4.10^{-3}$  m) e novamente distribuído na lona preta, numa camada uniforme com espessura média de  $5.10^{-2}$  m, sendo gradualmente umedecido, aspergindo-se água com um pulverizador costal até que atingisse umidade próxima de sua capacidade de campo. A seguir, o material foi dividido em quatro partes de volumes iguais e deixado à sombra para secagem. Decorridos intervalos de tempo diferentes, cada uma das partes foi acondicionada e vedada em sacos plásticos. Os ensaios de penetração do cone realizaram-se em corpos de prova obtidos pela compressão do solo em dispositivos construídos com tubos metálicos que foram divididos longitudinalmente e ligados entre si por um dos lados, através de dobradiças. As dimensões eram de 0,4m de altura e área da seção transversal de  $1,959.10^{-3}$  m<sup>2</sup>. A compressão do solo foi realizada por equipamento de tração e compressão universal, marca Instron, modelo 4466. Os corpos de prova foram obtidos da seguinte forma: primeiramente foi adicionado volume de solo correspondente a  $4,98.10^{-3}$  m<sup>3</sup>, submetendo-o à compressão. Em seguida, foi mediu-se a altura do espaço entre a superfície do solo até a borda do cilindro para determinar o volume vazio. Quando possível uma nova quantidade de solo, idêntica à inicial, seria adicionada. Caso contrário o cilindro seria completado até preencher seu volume máximo. O material adicionado era novamente prensado e o procedimento repetido por, no máximo, quatro vezes. Ao final, o material prensado seria o *corpo de prova* para os ensaios de resistência à penetração. Concomitante à adição de solo no cilindro, distribuíram-se lateralmente, anéis metálicos com o objetivo de servirem de amostras para determinação da sua massa específica e umidade. Foram obtidos setenta e três valores diferentes para massa específica e umidade que foram reunidos em sete e quatro classes, respectivamente. A força programada para promover a compactação do solo produziu tensões da seguinte ordem: 98,1kPa, 196,1kPa, 294,2kPa, 392,3kPa. A compressão ocorreu à velocidade constante de  $3,33.10^{-4}$  m.s<sup>-1</sup> e ao atingir a força máxima programada, a prensa permaneceu estática até que o tempo total do processo atingisse 600s. Verificações preliminares, indicaram que a partir deste prazo o solo atingiu condição estável de acomodação. A resistência à penetração de um cone padrão (ASAE, 1999) foi medida em quatro corpos de prova para cada tensão, em três níveis de velocidade:  $V1 = 2,83.10^{-3}$  m.s<sup>-1</sup>,  $V2 = 5,67.10^{-3}$  m.s<sup>-1</sup> e  $V3 = 8,47.10^{-3}$  m.s<sup>-1</sup>. Após cada determinação os cilindros foram abertos para retirada dos anéis metálicos do seu interior. Para associar o índice de cone e a massa específica do solo foi determinada a posição década anel. O solo neles contido foi transferido para cápsulas de alumínio, para obtenção de umidade e massa específica. A análise estatística dos resultados foi elaborada em função dos valores do índice de cone relacionados às umidades do solo. Para cada massa específica e velocidade de penetração da haste do penetrômetro o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com número diferente de

repetições. Foi elaborado o teste F da análise de variância e, posteriormente, as médias de índice de cone, para cada umidade, foram comparadas pelo teste de Tukey.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A Tabela 1 apresenta as características do solo utilizado nos ensaios.

TABELA 1. Granulometria, valores de umidade (%), classes de massa específica ( $10^3\text{kg.m}^{-3}$ ) e seus coeficientes de variação (cv), obtidos da análise dos anéis incluídos nos corpos de prova.

Composição	Argila		Silte			Areia		
	Granulométrica (%)							
	43,78		15,06			41,16		
Classes		1	2	3	4	5	6	7
Umidade (U)	%	26,42	22,41	18,71	11,98	-x-	-x-	-x-
	cv	4,71	4,72	3,51	7,14	-x-	-x-	-x-
Massa Específica (ME)	$\frac{10^3\text{kg}}{\text{m}^3}$	1,11	1,21	1,30	1,41	1,50	1,61	1,70
	cv	2,57	2,65	2,08	1,96	1,92	1,79	2,00

Os resultados da análise estatística dos valores de índice de cone estão na Tabela 2. Houve dificuldade em produzir os maiores valores de massa específica nas umidades mais baixas (U3 e U4) e nas mais elevadas (U1 e U2), os valores maiores. Independente da velocidade de penetração considerada, os valores de índice de cone cresceram à medida que a umidade diminuiu para as mesmas massas específicas. Outros autores (Busscher et al (1997), Cunha et al (2002), Tormena et al (2002) e Watanabe al (2002)) encontraram resultados semelhantes com medição do índice de cone em diferentes umidades. Lins e Silva (1999) relata que em umidades maiores, o índice de cone mostra menor sensibilidade para representar variações de densidade do solo e que o comportamento é inverso para menores umidades, fato também observado nos resultados obtidos no presente estudo. Os resultados obtidos para a menor das massas específicas nas umidades U3 e U4, foi inverso ao dos outros casos, com valores de IC menores para a menor umidade, pois na umidade U4, os corpos de prova apresentaram camada superficial (onde foi obtida massa específica  $1,1.10^3\text{kg.m}^{-3}$ ) o material apresentou pequena coesão.

TABELA 2. Valores de índice de cone (MPa) obtidos com a variação da umidade (%) e da massa específica do solo em cada uma das velocidades de penetração da haste do penetrômetro.

	Umidade	Massa Específica do Solo ( $10^3\text{kg.m}^{-3}$ )						
		1,11	1,21	1,30	1,41	1,50	1,61	1,70
Velocidade (V1)	U1	-x-	-x-	0,256Ed	0,364Gcd	0,472Dc	0,766Ab	1,204Ca
	U2	-x-	0,798Ec	0,818Dc	0,859Ec	0,934Cc	1,275Cb	2,054Aa
	U3	1,087Bd	1,276Cd	1,581Cc	2,670Cb	3,135Aa	3,449Ea	-x-
	U4	0,572Dd	1,846Bc	3,267Ab	4,276Aa	-x-	-x-	-x-
Velocidade (V2)	U1	-x-	-x-	0,329Ec	0,370FGc	0,563Cc	0,864ABb	1,470Ba
	U2	-x-	0,842DEc	0,786Dc	0,863Ec	0,982Cc	1,331Cb	2,118Aa
	U3	1,158Ad	1,272Cd	1,645Cc	2,662Cb	3,189Aa	3,327Ea	-x-
	U4	0,599Dd	1,824Bc	2,947Bb	3,808Ba	-x-	-x-	-x-
Velocidade (V3)	U1	-x-	-x-	0,332Ec	0,412Fc	0,475Dc	0,934Bb	1,521Ba
	U2	-x-	0,880Dd	0,873Dd	0,959Dd	1,080Bc	1,698Db	2,163Aa
	U3	1,116ABd	1,243Cd	1,628Cc	2,730Cb	3,126Aa	3,170Ea	-x-
	U4	0,857Cd	2,018Ac	2,828Bb	3,840Ba	-x-	-x-	-x-

\*Letras maiúsculas referem-se às colunas e as minúsculas às linhas. Letras iguais indicam valores iguais com significância estatística a 5% de probabilidade.

Quando se mantém constante a umidade do solo, a tendência dos valores obtidos para IC tem comportamento diferente nas umidades maiores e menores. Acima de 20% de umidade (U1 e U2) as medições indicam IC sensível à variação de massa específica quando seus valores superam  $1,5 \cdot 10^3 \text{kg.m}^{-3}$ . Nas umidades menores que 20% (U3 e U4) limite de sensibilidade do IC para variação de massa específica diminui, a ponto de para U4, haver significância estatística para os valores de IC em todas as medidas. Estes resultados são conflitantes com Cunha et al (2002) que estabeleceram correlações seguras entre IC e massa específica do solo em variadas umidades. Apesar disso, os autores afirmam que o IC tende a ser maior, para a mesma massa específica, quando a umidade do solo diminui.

**CONCLUSÃO:** Com base nos resultados obtidos é possível concluir que:

A umidade tem influência importante nas determinações de resistência à penetração de um solo pelo índice de cone;

Quanto menor o valor da massa específica do solo, menor é a sensibilidade do penetrômetro para registrar as suas variações através do índice de cone;

Quanto maior é a umidade do solo, menor é a sensibilidade do penetrômetro registrar as variações de suas massas específicas através do índice de cone.

#### **REFERÊNCIAS:**

- ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. ASAE S313.1: Soil cone penetrometer. ASAE Standards 1999: standards engineering practices data, 46th ed. St. Joseph, 2004. p.859-860.
- ASSIS, R.L., LAZARINI, G.D., LANÇAS, K.P., CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.29, n.4, p.558-568, 2009.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F., SILVA, A.P. Comparação de penetrômetros na avaliação da compactação de latossolos. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, n.27, n.1, p.146-151, 2007.
- BUSSCHER, W.J., BAUER, P.J., CAMP, C.R., SOJKA, R.E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. Amsterdam, **Soil & Tillage Research**, n.43, p.205-217, 1997.
- CUNHA, J.P.A.R.; VIEIRA, L.B.; MAGALHÃES, A.C. Resistência mecânica do solos à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **RevEng.**, Viçosa, v.10, p.1-4, 2002.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997, 212p.
- LINS E SILVA, M. L. Modelagem matemática na estimativa da densidade de um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa, pelo índice de cone. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 1999. 161p. (Tese de Doutorado)
- SOJKA, R.E., BUSSCHER, W.J., LEHRSCHE, G.A. In situ strength bulk density, and water content relationship of a durinodic xeric haplocalcid soil. **Soil Sc.**, New York, v.166, n.8, p.520-529. 2001.
- WATANABE, S.H. et al. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico influenciadas por sistemas de preparo do solo utilizados para implantação da cultura da mandioca. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p.1255-1264, 2002.