

Notas Científicas

Minipenetrômetro dinâmico para determinação da resistência à penetração em amostras de solo indeformadas

Marcos Aurélio Carolino de Sá⁽¹⁾, João de Deus Gomes dos Santos Junior⁽¹⁾, Dimas Vital Siqueira Resck⁽¹⁾, Eloisa Aparecida Belleza Ferreira⁽¹⁾ e Claudio Alberto Bento Franz⁽¹⁾

⁽¹⁾Embrapa Cerrados, Caixa Postal 08223, CEP 73310-970 Planaltina, DF. E-mail: carolino@cpac.embrapa.br, jdsantos@cpac.embrapa.br, dvsresck@cpac.embrapa.br, eloisa@cpac.embrapa.br, franz@cpac.embrapa.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi descrever e testar um minipenetrômetro dinâmico para a determinação da resistência do solo à penetração, em amostras indeformadas. Foram construídas quatro peças de diferentes massas, para a mensuração da resistência à penetração em solos com conteúdos variáveis de água. Para o teste, foram utilizadas amostras de um Latossolo Vermelho, sob sistemas de plantio convencional e direto. Avaliaram-se o índice de cone, a densidade do solo e os conteúdos gravimétrico e volumétrico de água do solo. O equipamento avaliado é confiável, preciso, de baixo custo e tem potencial para promover mais estudos sobre intervalo hídrico ótimo do solo.

Termos para indexação: intervalo hídrico ótimo, índice de cone, qualidade física do solo.

A dynamic minipenetrometer for assessment of soil mechanical resistance in undisturbed soil samples

Abstract – The objective of this study was to describe and to test a dynamic minipenetrometer for measuring soil mechanical resistance in undisturbed soil samples. Four pieces with different weight were constructed for impact analysis of soil with diverse water content. Undisturbed soil samples were taken from an Oxisol (Rhodic Haplustox) under conventional and no-tillage systems. Cone index, soil density, gravimetric and volumetric water content were evaluated. The equipment is reliable, accurate, obtainable at a low cost, besides having potential to promote more studies on the determination of soil least limiting water range.

Index terms: least limiting water range, cone index, soil physical quality.

A resistência mecânica que o solo oferece à penetração, expressada pelo índice de cone, é utilizada na caracterização de atributos físicos e mecânicos relacionados à trafegabilidade, compactação e manejo. Afeta diretamente, também, o crescimento radicular e a produtividade das culturas.

A determinação do índice de cone em amostras indeformadas, em condições de laboratório, permite maior precisão no ajuste de relações matemáticas entre esse atributo, o conteúdo volumétrico de água (θ) e a densidade do solo (Ds), fatores cruciais quando o objetivo é a determinação do intervalo hídrico ótimo do solo (Silva et al., 1994; Tormena et al., 1998; Leão et al., 2004; Collares et al., 2006). Para essa finalidade, têm sido

utilizados penetrômetros de bancada estáticos, que devem possuir taxa de penetração constante e menor que $8,2 \text{ mm s}^{-1}$ (Lowery & Morrison, 2002). Esses equipamentos são compostos por sistemas eletroeletrônicos complexos, com atuador linear elétrico acoplado a motor de passo; sistema para controle de velocidade e deslocamento; célula de carga, para registro da força; e microcomputador para decodificação e processamento dos dados (Tormena et al., 1998). Tais características construtivas apresentam custo elevado, o que tem limitado a utilização do intervalo hídrico ótimo na avaliação da qualidade física do solo.

Uma alternativa aos penetrômetros estáticos são os penetrômetros dinâmicos ou de impacto, que apresentam

menor custo. A utilização desses equipamentos em condições de campo tem sido recomendada (Stolf, 1991; Stolf et al., 1998; Vaz et al., 2001). Nos penetrômetros dinâmicos, a penetração é proporcionada pelo impacto de um corpo metálico que cai de uma altura constante, o que o torna independente da força física do operador e dispensa mecanismos eletrônicos sofisticados.

O objetivo deste trabalho foi descrever e testar um minipenetrômetro dinâmico, para a determinação da resistência à penetração em amostras de solo indeformadas.

O equipamento apresentado é uma miniatura baseada em equipamentos já descritos na literatura (Stolf, 1991; Vaz et al., 2001), e apresenta o mesmo princípio de funcionamento. O custo do material para sua construção, exceto o suporte auxiliar e a mão-de-obra, foi de cerca de US\$ 10,00.

Um estudo dedutivo das principais equações para a transformação dos resultados de penetrômetros dinâmicos em força por unidade de área foi feito por Stolf (1991), em que se concluiu que a equação denominada fórmula dos holandeses é a mais adequada para tal finalidade, em sua forma completa. A dedução dessa fórmula foi também apresentada em um estudo de aplicação da técnica em solos pedregosos (Stolf et al., 1998) e em um comentário teórico (Stolf et al., 2005) de validação de sua utilização, na seguinte forma:

$$IC = \left(\frac{Mg + mg}{A} \right) + \left[\left(\frac{M}{M + m} \right) \times \left(\frac{Mg \times h}{A \times x} \right) \right],$$

em que: IC é o índice de cone (kgf cm^{-2}); A é a área da base do cone (cm^2); M é a massa que provoca o impacto (kg); m é a massa dos demais componentes do penetrômetro (kg), excluídos M e a peça nº 2 de sustentação ao suporte (Figura 1 A); Mg e mg são os pesos das massas consideradas (kgf); h é a altura de queda de M (cm); x é a medida de penetração unitária, ocasionada por um impacto (cm). Para se expressar o índice de cone em MPa, basta multiplicar o valor obtido pela equação (em kgf cm^{-2}) por 0,0980665.

O penetrômetro descrito no presente trabalho, construído com quatro opções de massas de impacto, possui as seguintes características: M – 0,10139, 0,08403, 0,06586 e 0,05051 kg (Mg – 0,10139, 0,08403, 0,06586 e 0,05051 kgf); m – 0,14690 kg (mg – 0,14690 kgf); A – 0,116416 cm^2 (diâmetro 3,85 mm).

Para o teste do equipamento, foram coletados anéis volumétricos com 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro, em experimento de longa duração implantado em 1979/1980, num Latossolo Vermelho textura argilosa (400 g kg^{-1} de argila, 100 g kg^{-1} de silte e 500 g kg^{-1} de areia), na Embrapa Cerrados, em Planaltina (DF). Foram amostrados dois sistemas de manejo: convencional, com preparo do solo com arado de discos no pré-plantio, e sistema de plantio direto, após preparo inicial com arado de discos em 1979/1980, ambos em rotação soja/milho. No ano agrícola de 2006/2007, por ocasião das amostragens deste estudo, foi cultivada a soja.

Em cada sistema de manejo, foram coletadas amostras nas camadas 0,00–0,05, 0,05–0,10, 0,10–0,20, 0,20–0,30 e 0,30–0,40 m de profundidade, com sete amostras por camada, num total de 35 amostras por

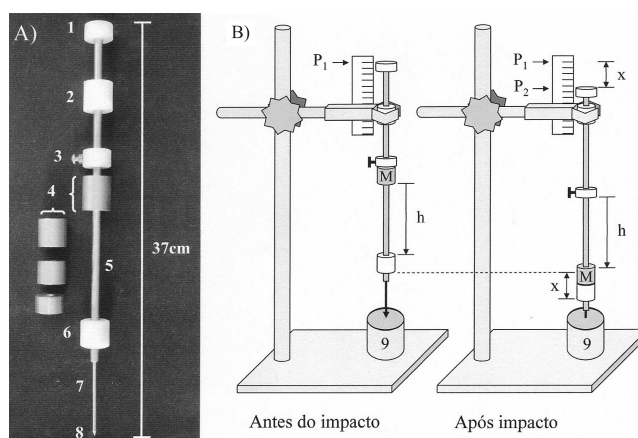


Figura 1. A) Minipenetrômetro dinâmico, onde podem ser visualizados: 1, peça em tec-nil, com altura 1,5 cm e diâmetro 2,5 cm, para manuseio do equipamento; 2, peça em tec-nil, com altura 2,5 cm e diâmetro 2,5 cm, para fixação ao suporte; 3, anel em tec-nil, com altura 1,5 cm e diâmetro 2,5 cm, com parafuso de fixação para regulagem da altura de queda (h); 4, pesos em aço inox, com altura de 1,5 a 3,0 cm e diâmetro 2,5 cm, utilizados para promover o impacto; 5, haste em aço inox, com diâmetro 0,8 cm; 6, plataforma de impacto em tec-nil, com altura 2,5 cm e diâmetro 2,5 cm; 7, haste em aço inox, com diâmetro 0,35 cm; 8, ponta cônica, com base de 0,385 cm de diâmetro, padrão ASAE (1999). B) Esquema do minipenetrômetro dinâmico fixado em suporte auxiliar, que mostra a variação da posição dos componentes (x) antes do impacto (P_1) e depois do impacto (P_2), após a queda do peso M de uma altura h, e proporciona a penetração da haste na amostra 9.

sistema. No laboratório, as amostras foram saturadas e submetidas aos potenciais mátricos (ψ) de -3, -6, -10, -33, -80, -100, -1.500 kPa, em câmaras de pressão com placa porosa. Após o equilíbrio, as amostras foram pesadas e submetidas ao teste de resistência do solo à penetração, com o minipenetrômetro de impacto. A altura de queda (h) foi padronizada em 0,10 m, tendo-se utilizado os pesos de massa $M = 0,05051$ kg nos potenciais -3 e -6 kPa; $M = 0,06586$ kg no potencial -10 kPa; $M = 0,08403$ kg no potencial -33 kPa e $M = 0,10139$ kg nos potenciais -80, -100 e -1.500 kPa.

Cada amostra foi colocada na base do suporte auxiliar (Figura 1 B). A penetração estática, causada apenas pelo peso total do equipamento ($Mg + mg$), foi desprezada, tendo-se considerado como valor inicial (P_1) a posição onde o equipamento se estabiliza, depois de posicionado sobre a amostra (Figura 1 B), a qual foi medida com régua graduada em milímetros. Após estabilização do aparelho, procedeu-se ao primeiro impacto, tendo-se anotado em seguida o valor de P_2 (Figura 1 B). O procedimento foi repetido até que a haste penetrasse cerca de 0,04 m na amostra, o que caracterizou uma repetição. Foram feitas três repetições por amostra, conforme sugerido por Leão et al. (2004).

Foi calculado o índice de cone de cada amostra, com base no número de impactos e no perfil de resistência médio dentro do anel volumétrico (Stolf, 1991). Considerou-se como índice de cone de cada amostra a média das três repetições.

Após os ensaios, as amostras foram secadas em estufa a 105°C por 24 horas e pesadas, para a determinação da densidade do solo (D_s) em $g\ cm^{-3}$, do conteúdo gravimétrico de água (U) em $g\ g^{-1}$, e posterior cálculo do conteúdo

volumétrico de água (θ), em $cm^3\ cm^{-3}$, pela expressão: $\theta = U \times D_s / D_a$, em que D_a é a densidade da água, considerada, para esse propósito, $1\ g\ cm^{-3}$.

Os dados de índice de cone (MPa), para cada sistema de manejo, foram ajustados em relação ao conteúdo volumétrico de água no solo (θ , $cm^3\ cm^{-3}$) e à densidade (D_s , $g\ cm^{-3}$), tendo-se utilizado o modelo não linear proposto por Busscher (1990): $IC = a \times \theta^b \times D_s^c$, em que IC é o índice de cone (MPa); a, b, c são parâmetros do modelo, ajustados por meio do procedimento NLIN, do SAS (SAS Institute, 2000).

O número de golpes em cada amostra variou, em média, de 15 a 30, de acordo com o potencial mátrico de água no solo. Na Tabela 1 está apresentada a distribuição estatística das variáveis físicas do solo, utilizadas para ajuste dos modelos não lineares, conforme Busscher (1990). Os dois modelos ajustados apresentaram parâmetros a, b e c significativos ($p < 0,001$) e valores de R^2 elevados, de 0,83 para arado de discos e 0,88 para plantio direto. Os valores de R^2 e níveis de significância, obtidos neste estudo, estão próximos aos observados por autores que utilizaram penetrômetros eletrônicos, entre eles Tormena et al. (1998) ($R^2 = 0,86$) e Leão et al. (2004) ($R^2 = 0,86$).

O custo acessível do equipamento descrito, menos de 1% do custo de um penetrômetro eletrônico estático, pode favorecer a sua adoção e promover a utilização do intervalo hídrico ótimo no estudo da qualidade física do solo. Conclui-se que o minipenetrômetro dinâmico de bancada apresenta sensibilidade, confiabilidade e precisão, e pode ser utilizado em laboratório, para a determinação da resistência do solo à penetração, com o objetivo de se ajustarem as relações matemáticas entre índice de cone e outros atributos do solo.

Tabela 1. Distribuição estatística das variáveis físicas do solo utilizadas para ajuste dos modelos.

Variável ⁽¹⁾	N ⁽²⁾	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	Modelo ajustado
Arado de discos						
IC	35	1,427	0,928	0,358	3,741	$IC = 0,019590^{-2,37674} D_s^{8,73515}$ $R^2 = 0,83$
D_s	35	1,139	0,059	1,013	1,245	
θ	35	0,291	0,059	0,217	0,418	
Plantio direto						
IC	35	1,503	0,949	0,386	3,470	$IC = 0,021240^{-2,37618} D_s^{9,08472}$ $R^2 = 0,88$
D_s	35	1,127	0,055	1,011	1,226	
θ	35	0,288	0,060	0,212	0,417	

⁽¹⁾IC: índice de cone (MPa); D_s : densidade do solo ($g\ cm^{-3}$); θ : conteúdo volumétrico de água ($cm^3\ cm^{-3}$). ⁽²⁾Número de observações.

Agradecimentos

Ao assistente de pesquisa Joel Manoel de Morais, pelo auxílio na construção do equipamento.

Referências

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE S313.3**: soil cone penetrometer. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 1999. p.834.
- BUSSCHER, W.J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. **Transactions of the ASAE**, v.33, p.519-524, 1990.
- COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1663-1674, 2006.
- LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V.P.B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.415-423, 2004.
- LOWERY, B.; MORRISON JUNIOR, J.E. Soil penetrometers and penetrability. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Ed.). **Methods of Soil Analysis**: physical methods. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p.363-388.
- SAS INSTITUTE. **SAS software**: user's guide: version 8.2. Cary: SAS Institute, 2000. 291p.
- SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1775-1781, 1994.
- 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**, v.15, p.229-235, 1991.
- STOLF, R.; CASSEL, D.K.; KING, L.D.; REICHARDT, K. Measuring mechanical impedance in clayey gravelly soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.189-196, 1998.
- STOLF, R.; REICHARDT, K.; VAZ, C.M.P. Response to 'Comments on simultaneous measurement of soil penetration resistance and water content with a combined penetrometer-TDR moisture probe and a dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance'. **Soil Science Society of America Journal**, v.69, p.927-929, 2005.
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.573-581, 1998.
- VAZ, C.M.P.; HOPMANS, J.W. Simultaneous measurement of soil penetration resistance and water content with a combined penetrometer-TDR moisture probe. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.4-12, 2001.

Recebido em 6 de julho de 2007 e aprovado em 28 de setembro de 2007