

Comparação de dois penetrômetros na avaliação da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos

Cassiano Garcia Roque¹, José Frederico Centurion¹, Guilherme Viana de Alencar², Amauri Nelson Beutler^{1*}, Gener Tadeu Pereira¹ e Itamar Andrioli¹

¹Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Unesp, Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n°, 14870-000 Jaboticabal, São Paulo, Brasil. ²Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: amaurib@yahoo.com.br

RESUMO. A compactação do solo é um problema que afeta o crescimento radical e a produção das plantas. Este trabalho teve o objetivo de avaliar o estado de compactação de um Latossolo Vermelho sob algodão, cana-de-açúcar e mata, na profundidade de 0,0-0,4 m, através da resistência à penetração determinada com os penetrômetros de impacto e estático. Os penetrômetros de impacto e estático apresentaram resultados semelhantes e correlação significativa de 0,80. A área cultivada com algodão apresentou valores de resistência à penetração acima de 3,5 MPa, na profundidade de 0,15-0,35 m.

Palavras-chave: penetrômetro de impacto, penetrômetro estático, cana-de-açúcar, algodão, mata.

ABSTRACT. Evaluate of two penetrometers in penetration resistance of Haplustox in different use. Soil compaction affects root growth and plant production. Compaction state of Haplustox under cotton, sugar-cane and forest, at 0.0-0.4 m depth, has been evaluated by penetration resistance of impact and static penetrometers. Impact and static penetrometers had similar results and significant correlation of 0.80. Cotton cultivated area cotton presented values of penetration resistance above 3.5 MPa, at 0.15-0.35 m depth.

Key words: impact penetrometer, static penetrometer, sugar-cane, cotton, forest.

Introdução

A utilização intensiva de máquinas e equipamentos agrícolas em todas as etapas de produção ocasiona mudanças nos atributos físicos do solo, que podem ser verificadas em superfície ou subsuperfície, principalmente através da formação de camada compactada. Camadas compactadas em subsuperfície em sistemas de manejo convencional foram verificadas nos estudos de Baldissera *et al.* (1994) e Beutler *et al.* (2001).

A compactação, além de ser um impedimento mecânico ao crescimento radicular, afeta os processos de aeração, condutividade ao ar, à água e ao calor, infiltração e redistribuição da água, além dos processos químicos e biológicos (Camargo e Alleoni, 1997).

A resistência do solo à penetração é um atributo utilizado atualmente na maioria das pesquisas para avaliar a compactação do solo e vem se destacando por estar diretamente relacionado ao crescimento das plantas (Letey, 1985), sendo de fácil e rápida determinação (Stolf, 1991), apesar de estar relacionado com a umidade, densidade do solo e

textura. A resistência do solo à penetração apresenta relação direta com o conteúdo de argila e a densidade do solo e inversa com a umidade (Rosolem *et al.*, 1999).

Gomes e Peña (1996) verificaram que próximo à densidade máxima do solo, pequenas variações na densidade causam acentuadas variações na resistência do solo à penetração e, que o efeito da umidade é maior em solos mais compactados e mais argilosos. Segundo Klein *et al.* (1998), pequenas reduções na umidade proporcionam incrementos acentuados da resistência do solo à penetração. Assim, vários autores afirmaram que a umidade na capacidade de campo é ideal quando se determina a resistência à penetração, pois nesta condição é obtida boa correlação com o crescimento radicular das plantas (Henderson, 1989; Arshad *et al.*, 1996).

O valor de resistência do solo à penetração de 2,0 MPa é considerado limitante ao crescimento radicular das plantas em solos com preparo convencional (Arshad *et al.*, 1996), na umidade retida a capacidade de campo de 0,01 MPa (Reichardt, 1988). Segundo Rosolem *et al.* (1999), resistência à penetração da ordem de 1,3 MPa reduz à metade o

crescimento das raízes seminais adventícias do milho e, Materechera *et al.*, (1991) verificaram redução na alongação radicular em 90 % e aumento do diâmetro das raízes em Rp de 4,2 MPa. Além disso, a redução da matéria seca total e da parte aérea é constatada na presença deste impedimento físico (Pedrotti. 1998). *et al.* Baldissera *et al.* (1994), em Latossolo Vermelho eutroférico distrófico, verificaram maior resistência do solo à penetração no sistema de uso convencional, 1,14 e 1,24 MPa, seguida do plantio direto 0,93 e 0,99 MPa e mata 0,34 e 0,31 MPa, para as profundidades de 0,00-0,15 e 0,15-0,30 m, respectivamente.

A resistência do solo à penetração tem sido determinada atualmente pelos penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico, denominados de dinâmico e estático em função do princípio de penetração (Stolf *et al.*, 1893). Segundo estudos de Stolf (1991), o penetrômetro de impacto apresentou valores superiores em solo argiloso e em solo arenoso apresentou resultados semelhantes ao estático. Entretanto, na literatura são escassos os trabalhos que comparam valores obtidos com os penetrômetros de impacto e estático, apesar de estes apresentarem diferentes princípios de penetração no solo.

Este experimento teve o objetivo de avaliar e comparar a resistência à penetração medida com o penetrômetro de impacto e estático em Latossolo Vermelho sob algodão, cana-de-açúcar e mata.

Material e métodos

O experimento foi realizado em Latossolo Vermelho distrófico, textura média, A moderado, caulínico, localizado no município de Jaboticabal, Estado de São Paulo. As coordenadas geográficas são de 21°08'27" de latitude sul e 48°16'17" longitude oeste. O clima é classificado como mesotérmico de inverno seco (Cwa), pelo sistema de Köppen.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, utilizando parcelas subdivididas, com sete repetições. Os sistemas de uso foram: cultivo de algodão utilizando o preparo convencional com arado de discos, grade aradora e quatro gradagens niveladoras, sendo esta área cultivada com culturas anuais durante 30 anos; cultivo de cana-de-açúcar (5° ano de corte), com preparo convencional utilizando-se arado de discos, grade aradora e subsolagem, realizando-se queima antes do corte, sendo a área ocupada com cana-de-açúcar durante 30 anos; e, mata nativa. As subparcelas foram constituídas pelas seguintes profundidades: 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m.

Foi determinada a resistência do solo à penetração, na entrelinha das culturas, em abril de 2001, até a profundidade de 0,4 m, com os penetrômetros de impacto (modelo IAA/Planalsucar-Stolf) (Stolf *et al.*, 1983) e estático (Solotest 1.210.001), ambos com ângulo de cone de 30°.

A transformação dos valores da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em resistência à penetração (MPa) foi obtida pela fórmula dos "holandeses", segundo Stolf (1991), a seguir:

$$R(\text{kgf cm}^{-2}) = \frac{(Mg + mg) + \frac{M}{M + m} * Mg * h/x}{A}$$

em que R é a resistência à penetração em kgf cm⁻² (kgf cm⁻² * 0,098 = MPa), M é a massa do embolo (4 kg), Mg corresponde a 4 kgf, m é a massa do aparelho sem embolo (3,2 kg), mg corresponde a 3,2 kgf, h é a altura de queda do embolo (0,4 m), x é a penetração da haste do aparelho (cm/impacto), A é a área do cone (1,29 cm²) e g é a aceleração da gravidade.

A resistência à penetração com o penetrômetro estático foi determinada utilizando cone com área de 3,80 e 1,13 cm², respectivamente. O valor obtido no relógio de leitura foi transformado em kgf pela equação de calibração do aparelho, a seguir:

$$R(\text{kgf}) = 1,0444 + 0,2998y$$

em que R é a resistência à penetração em kgf ((kgf/área do cone)* 0,098 = MPa) e y é a leitura no relógio (mm).

Foram retiradas amostras deformadas de solo para determinação da composição granulométrica pela dispersão com NaOH e agitação lenta, pelo método da pipeta (Day, 1965). A matéria orgânica foi determinada segundo Camargo *et al.* (1986) (Tabela 1).

A análise estatística dos resultados foi realizada no programa estatístico SAS (Schlotzhaver e Littell, 1997). Foram realizadas a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%. Visando uniformizar o efeito da umidade na resistência à penetração, realizou-se a análise de covariância dos valores de resistência à penetração em função da variação da umidade gravimétrica, apresentada na Tabela 2.

Resultados e discussão

Na Tabela 2, verifica-se que a mata apresentou maior umidade na profundidade de 0,0-0,1 m, possivelmente relacionado ao maior conteúdo de matéria orgânica (Tabela 1) e a cobertura do solo com resíduos vegetais que diminuem as perdas de água por evaporação e, na profundidade de 0,1-0,2 m não diferiu do algodão. Observa-se, ainda, que não ocorreram variações da umidade a partir de 0,1 m profundidade nos sistemas de uso e, que esta foi inferior à capacidade de campo (0,01 MPa) deste solo, que é de 0,14 kg kg⁻¹, considerada adequada quando se determina a resistência à penetração, segundo Henderson (1989) e Arshad *et al.* (1996).

Tabela 1. Composição granulométrica e conteúdo de matéria orgânica (MO) do Latossolo Vermelho, em diferentes profundidades e sistemas de uso do solo

Sistema de uso	Argila	Silte	Areia		MO
			fina	Grossa	
-----g kg ⁻¹ -----					
0,0-0,1 m					
Algodão	226,3	76,5	348,7	348,5	18,4
Cana-de-açúcar	190,5	102,2	362,8	344,5	20,0
Mata	178,0	114,7	362,8	344,5	47,1
0,1-0,2 m					
Algodão	219,2	87,5	344,2	349,2	16,3
Cana-de-açúcar	234,7	83,0	331,8	350,7	18,6
Mata	231,5	99,5	325,5	343,5	35,7
0,2-0,3 m					
Algodão	249,0	77,3	337,0	336,5	12,9
Cana-de-açúcar	276,2	65,5	340,2	318,2	15,1
Mata	275,2	66,5	340,8	318,2	25,7
0,3-0,4 m					
Algodão	270,7	88,5	339,5	301,3	10,3
Cana-de-açúcar	304,8	63,0	327,2	305,0	12,7
Mata	324,3	52,5	323,7	299,5	23,9

Na Figura 1, observa-se que os valores determinados com o penetrômetro de impacto e estático foram semelhantes, confirmando os resultados obtidos por Stolf (1991) e Beutler *et al.* (2002). Segundo estes autores, em meios incompressíveis de pouca elasticidade, solos arenosos, a força estática e a dinâmica se confundem, já que a resistência do meio não varia com o aumento da velocidade de penetração, confirmando, neste caso, os resultados encontrados no Latossolo Vermelho de textura média, com cerca de 700 g kg⁻¹ de areia total.

O comportamento dos valores de resistência a penetração para as profundidades e sistemas de uso foram semelhantes para os dois penetrômetros (Tabela 3). Os valores de resistência do solo à penetração indicaram correlação significativa a 5% de probabilidade ($r = 0,80$) (Figura 2), corroborando com Beutler *et al.* (2002), que encontrou correlação acima de 0,95 entre esses penetrômetros, em Latossolo Vermelho, textura média. Estes resultados

sugerem que os penetrômetros conduzem a valores relativos semelhantes e que podem ser utilizados, desde que seja considerado que o penetrômetro estático conduz a valores absolutos inferiores em solos sujeitos a compressões elásticas e que estas aumentam com a resistência do meio, segundo Stolf (1991) e Beutler *et al.* (2002).

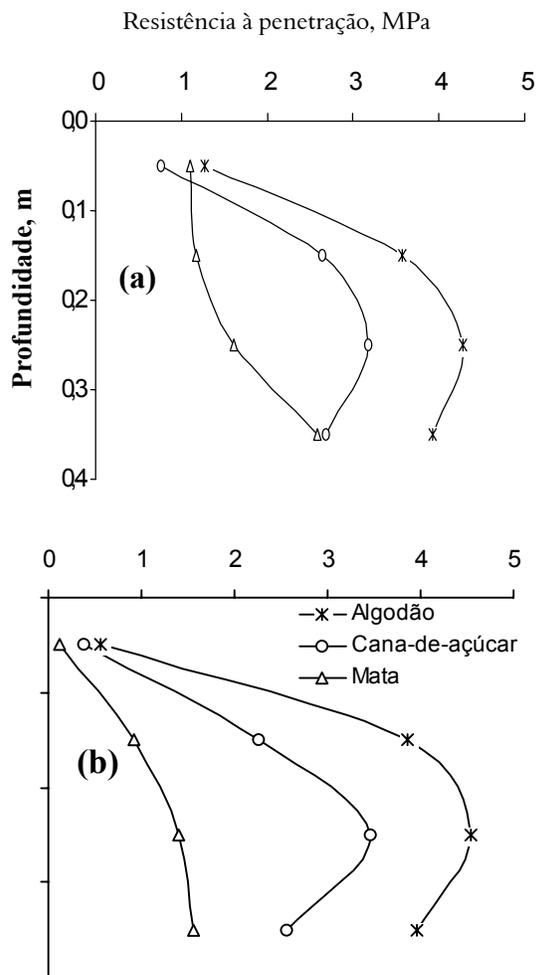


Figura 1. Resistência à penetração avaliada com os penetrômetros de impacto (a) e estático (b), em diferentes profundidades e sistemas de uso do solo

Tabela 2. Umidade do solo em diferentes profundidades e sistemas de uso do solo

Sistema de uso	Profundidade (m)			
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4
..... Umidade, kg kg ⁻¹				
Algodão	0,14 Ba	0,13 ABab	0,12 Aab	0,11 Ab
Cana-de-açúcar	0,13 Ba	0,11 Ba	0,10 Aa	0,11 Aa
Mata	0,19 Aa	0,15 Ab	0,12 Ab	0,12 Ab

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas, e pelas mesmas letras minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$)

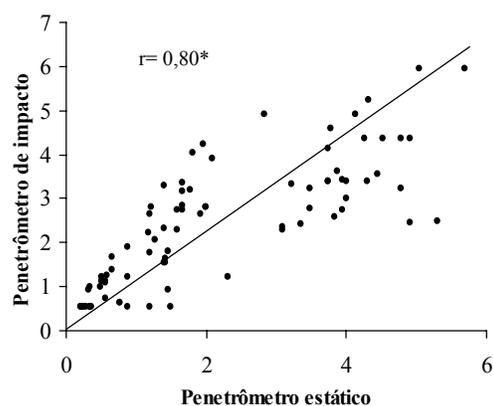


Figura 2. Correlação entre os valores de resistência do solo à penetração determinados com o penetrômetro estático e de impacto

Na profundidade de 0,0-0,1 m, todos os sistemas de uso não diferiram entre si e apresentaram menor resistência do solo à penetração (Tabela 3), possivelmente relacionado ao maior conteúdo de matéria orgânica e ao efeito do sistema radicular das plantas, que promovem melhor estruturação ao solo, aumentando a porosidade e diminuindo a compactação.

Tabela 3. Resistência à penetração determinada com os penetrômetros de impacto e estático, em diferentes profundidades e sistemas de uso do solo

Sistema de uso	Resistência à penetração, MPa			
	0,0 – 0,1m	0,1 – 0,2m	0,2 – 0,3m	0,3 – 0,4m
	Penetrômetro de impacto			
Algodão	1,27 Ab	3,57 Aa	4,28 Aa	3,92 Aa
Cana-de-açúcar	0,77 Ab	2,64 Aa	3,18 Ba	2,68 Ba
Mata	1,10 Ac	1,18 Bbc	1,62 Cab	2,59 Ba
	Penetrômetro estático			
Algodão	0,56 Ab	3,85 Aa	4,55 Aa	3,96 Aa
Cana-de-açúcar	0,38 Ab	2,27 Ba	3,46 Aa	2,56 Ba
Mata	0,12 Aa	0,92 Ba	1,39 Ba	1,56 Ba

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, para o mesmo penetrômetro, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5%.

Na profundidade de 0,1-0,3 m, a mata apresentou menor resistência à penetração e, na profundidade de 0,3-0,4 m, o algodão apresentou a maior resistência à penetração. A cana-de-açúcar apresentou uma maior compactação aos 0,25 m, enquanto que, para o algodão, foi na profundidade de 0,15 a 0,35 m, confirmando os estudos de Baldissera *et al.* (1994), que verificaram que solos revolvidos anualmente apresentaram maior resistência à penetração, e superior na profundidade de 0,15-0,30 m, em relação a sistemas de plantio direto, em que ocorre compactação superficial. Neste sentido, Harris *et al.* (1996) encontraram maior compactação na profundidade de 0,3 m em

solos revolvidos anualmente, comparado ao sistema de plantio direto e mata nativa.

Os maiores valores de resistência do solo à penetração encontrados no algodão estão relacionados ao maior revolvimento do solo durante as operações de preparo, que desestruturaram o solo, e ao maior tráfego de máquinas e equipamentos nas operações de preparo e durante os tratos culturais. Neste sentido, Centurion *et al.* (2001), estudando sistemas de manejo, verificaram maior resistência à penetração em solos submetidos a maiores pressões de compactação, com formação de camadas compactadas variando com a profundidade em que foram aplicadas as pressões.

Segundo Arshad *et al.* (1996), o valor de resistência do solo à penetração de 2 MPa, determinado na umidade a capacidade de campo (0,01 MPa), promove significativa restrição ao crescimento radicular de culturas em sistemas de preparo convencional. Entretanto, segundo estes autores, em solos não revolvidos anualmente, são toleráveis valores de resistências até 4 MPa, devido à permanência e continuidade de poros, atividade biológica mais ativa e maior estabilidade de agregados. Assim, pode-se inferir que o valor de 3,41 MPa, encontrado na profundidade de 0,25 m para a cana-de-açúcar, não deve provocar acentuados prejuízos ao crescimento das plantas. Já para o algodão os valores acima de 3,58 MPa, encontrados na profundidade de 0,15 a 0,35 m, possivelmente resultam em prejuízos ao crescimento e produção das plantas.

Conclusão

Os penetrômetros de impacto e estático apresentaram resultados semelhantes e correlação significativa.

A área com algodão apresentou valores de resistência à penetração acima de 3,5 MPa, restritivo ao crescimento das plantas, na profundidade de 0,15-0,35 m.

Referências

- ARSHAD, M.A. *et al.* Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.) *Methods for assessing quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141 (SSSA Special Publication 49).
- BALDISSERA, I.T. *et al.* Características físicas em solos de Santa Catarina sob diferentes sistemas de manejo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., 1994, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: SBCS, 1994. p.416-417.

- BEUTLER, A.N. *et al.* Utilização dos penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico em latossolos. *Eng. Agric.*, Jaboticabal, v.22, n.2, p.191-199, 2002.
- BEUTLER, A.N. *et al.* Resistência à penetração e permeabilidade de LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v.25, p.167-177, 2001.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. *Compactação do solo e desenvolvimento das plantas*. Piracicaba: Esalq, 1997. 132p.
- CAMARGO, O.A. *et al.* Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas: IAC, 1986.
- CENTURION, J.F. *et al.* Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.*, Campina Grande, v.5, n.2, p.254-258, 2001.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C.A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Part 1, p.545-567 (Agronomy, 9).
- GOMES, A. da S.; PEÑA, Y.A. Caracterização da compactação através do uso do penetrômetro. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.49, p.18-20, 1996.
- HARRIS, R.F. *et al.* A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.) *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.61-82 (SSSA Special publication, 49).
- HENDERSON, C.W.L. Using a penetrometer to predict the effects of soil compaction on the growth and yield of wheat on uniform, sandy soils. *Aust. J. Agric. Res.*, Melbourne, v.40, p.497-508, 1989.
- KLEIN, V.A. *et al.* Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade de solo e teor de água. *Eng. Agric.*, Jaboticabal, v.18, n.2, p.45-54, 1998.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production, *Adv. Soil Sci.*, New York, v.1, p.277-294, 1985.
- MATERECHERA, S.A. *et al.* Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant species. *Plant Soil*, The Hague, v.135, p.31-41, 1991.
- NESMITH, D.S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.51, p.183-186, 1987.
- PEDROTTI, A. *et al.* Níveis de compactação do Planossolo e o desenvolvimento radicular de algumas culturas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE USO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: SBCS, 1998. p.89-90.
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.12, p.211-216, 1988.
- ROSOLEM, C.A. *et al.* Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.34, n.5, p.821-828, 1999.
- SCHLOTZHAVER, S.D.; LITTELL, R.C. *SAS system for elementary statistical analysis*. 2.ed. Cary: SAS, 1997.
- STOLF, R. Teoria de testes experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.15, p.229-235, 1991.
- STOLF, R. *et al.* *Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar-Stolf*. São Paulo: MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1983. 8p. (Boletim, 1)

Received on June 05, 2002.

Accepted on February 12, 2003.