
**EFICIÊNCIA DOS PENETRÔMETROS DE IMPACTO E ELETRÔNICO NA
DETECÇÃO DE COMPACTAÇÃO DO SOLO**

EFFICIENCY OF IMPACT AND ELECTRONIC PENETROMETERS IN THE SOIL
COMPACTION DETECTION

Rafael Soriani¹
Elizeu David dos Santos¹
Caroline Aparecida Moreira Leite¹
Cesar Augusto Carvalho Barbosa¹
Michele Corpolato Maia da Silva¹
Murillo Cazelato Colombo¹
Thais Lumi Kajihara Chagas¹
Higo Forlan Amaral²

RESUMO

A compactação do solo é uma importante causa de perdas na produtividade das culturas, em razão de modificações físicas no ambiente radicular provocada pelas alterações na agregação do solo. A resistência mecânica do solo à penetração “RMP” simula o impedimento mecânico ao crescimento radicular. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência dos Penetrômetros na detecção da compactação do solo. As avaliações foram realizadas com o Penetrômetro Eletrônico Modelo FALKER penetroLOG PLG1020 e com o Penetrômetro de Impacto Modelo KAMAQ série A0315, em um Latossolo Vermelho Eutroférico típico na cultura da soja. As análises demonstraram que ambos os penetrômetros exerceram a mesma função, demonstraram eficiência na avaliação da resistência mecânica à penetração e detecção das camadas compactadas no perfil do solo. Porém o penetrômetro eletrônico apresentou maior eficácia e sensibilidade na detecção de camadas compactadas do solo, além de possuir maior tecnologia e uma metodologia mais simplificada para se gerar o resultado, diminuindo a possibilidade de erro operacional, conseqüentemente do resultado.

202

Palavras-chave: Manejo do solo. Qualidade física. Resistência à penetração.

¹ Graduandos de Agronomia no Centro Universitário Filadélfia (UNIFIL) – Departamento de Ciências Agronômicas, Av. Juscelino Kubitschek, 1626, Londrina, PR. CEP: 86.020-000. E-mail: rafaelSORIANI@hotmail.com.

² Professor Dr. e orientador no Centro Universitário Filadélfia (UNIFIL) – Departamento de Ciências Agronômicas, Av. Juscelino Kubitschek, 1626, Londrina, PR. CEP: 86.020-000. E-mail: higo.amaral@unifil.br.

ABSTRACT

Soil compaction is an important cause of losses in crop productivity, in reasons of physical changes in the root environment caused by changes in soil aggregation. The mechanical resistance of the soil to the penetration "RMP" simulates the mechanical impediment to root growth. The objective of this work was to evaluate the efficiency of the Penetrometers in the detection of soil compaction. The evaluations were carried out with the FALKER penetroLOG PLG1020 Model Electronic Penetrometer and the KAMAQ Model A0315 Impact Penetrometer, in a typical Eutrophic Red Latosol in the soybean crop. The analysis showed that both penetrometers performed the same function, demonstrated efficiency in the evaluation of mechanical resistance to penetration and detection of compacted layers in the soil profile. However, the electronic penetrometer presented greater efficiency and sensitivity in the detection of compacted layers of the soil, besides having greater technology and a simplified methodology to generate the result, reducing the possibility of operational error, consequently of the result.

Keywords: Soil management. Physical Quality. Resistance to penetration.

1 INTRODUÇÃO

203

Segundo Reichart et. al. (2002) um solo ideal do ponto de vista físico está associado aquele solo que permite a infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas; que responde ao manejo e resiste à degradação; que permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas; e possibilita o crescimento das raízes.

De acordo com Tavares Filho et al. (2001) os diferentes sistemas de manejo de solos têm a finalidade de criar condições ideais ao desenvolvimento das culturas. Mas o desrespeito às condições favoráveis para o preparo do solo, e o uso de máquinas cada vez maiores e pesadas para essas operações alteram a estrutura do solo, causando-lhe maior compactação.

Afirma Debiasi et al. (2010) que a compactação do solo é uma importante causa de perdas na produtividade das culturas, em razões de modificações físicas no ambiente radicular. Segundo Camargo (1983) a compactação pode ser definida como a ação mecânica que impõe ao solo uma redução do seu índice de vazios, que é a relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos, a mudança da relação dessas fases é devida, principalmente à reorganização das partículas do solo, quando submetido a uma força de compressão.

Conforme Ghohmann e Queiroz Neto (1966), a compactação pode limitar a adsorção, absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, trocas gasosas e o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea. De acordo com Tormena (2009), as raízes das plantas provavelmente serão menores, mais espessas e concentradas próximo às plantas quanto maior a dificuldade de penetração das raízes no solo. Nas áreas agricultáveis, quando se observa crostas, sulcos de erosão, são sinais de compactação causada pelo uso de máquinas pesadas, pelo pisoteio excessivo de animais e pelo manejo errado, podendo até inutilizar o solo para a agricultura (PRIMAVESI, 1986).

Segundo Debiasi (2008) a baixa cobertura do solo, ou seja, a pouca quantidade de resíduos vegetais “palhada”, reduzem a quantidade de matéria orgânica do solo (MOS), afetando a agregação e os demais atributos físicos. Como consequência desse manejo ineficiente, há possibilidade de ocorrência de erosão hídrica e compactação do solo.

De acordo com Lima et al. (2013) a avaliação da compactação é necessária na determinação da qualidade física do solo. Conforme Vieira e Sierra (1993), Tavares Filho et al. (2001), Pedrotti et al. (2001), Roque et al. (2003), Cunha et al. (2007) e Silveira et al. (2010) a Resistência mecânica do solo à penetração “RMP” permite simular o impedimento mecânico ao crescimento radicular ou alguma ferramenta de cultivo, através da força que se exerce em romper as estruturas do solo para penetração. É uma avaliação que tem sido utilizada na pesquisa agrônômica, para detecção de camadas compactadas, estudo da ação de ferramentas de máquinas do solo, processos de umedecimento e ressecamento, dentre outras. Possui grande aceitação por ser uma técnica quantitativa muito aplicada, com facilidade e rapidez de determinação e obtenção de dados confiáveis, com baixo custo operacional.

Afirma Stolf (1991) que os penetrômetros mais utilizados classificam-se em função do seu princípio de penetração: os penetrômetros eletrônicos que registram a RP em um dinamômetro, pela pressão exercida do conjunto contra o solo, e os que penetram no solo em função do impacto, os chamados penetrômetros de impacto, cujo um peso cai em queda livre de uma altura constante, provocando a penetração da haste no solo.

Afirma Tormena (2009) que a resistência à penetração é fortemente vinculada à umidade, o que implica padronizar a umidade do solo para realizar a sua avaliação,

recomenda-se que seja medida com o solo na capacidade de campo, entre dois e três dias após uma chuva, com ideal em torno de 30% de umidade para o Latossolo. De acordo com Campbell e O'Sullivan (1991) é importante relacionar informações complementares como o tipo e densidade do solo e o teor de água no momento da avaliação, pois podem ser indicativos da confiabilidade dos resultados.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo utilizar a resistência mecânica à penetração como indicador da qualidade física do solo e avaliar a eficiência dos penetrômetros de impacto e eletrônico na detecção de camadas compactadas de um Latossolo vermelho sob sistema de plantio direto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho Eutroférico típico, com características climáticas Cfa- Subtropical úmido, em manejo de Sistema de Plantio Direto (SPD) com sucessão soja no verão e milho safrinha no inverno, possuindo 120 m² de área total, na Fazenda Escola do Centro Universitário Filadélfia (UNIFIL), com localização 23°23'20.29"S e 51°10'42.31"O, na Gleba Cafezal, no Município de Londrina, Estado do Paraná.

As avaliações da resistência mecânica à penetração (RMP) foram realizadas durante a cultura da soja, no dia 23 de março de 2017, em 10 pontos aleatórios do experimento com o Penetrômetro digital, e também em 10 pontos aleatórios com o Penetrômetro de Impacto.

De acordo com Molin et al. (2012) e o Penetrômetro Eletrônico Modelo FALKER penetroLOG PLG1020 permite a detecção de camadas de solo compactadas, através da medição eletrônica da força de resistência mecânica à penetração (Índice de Cone) juntamente com a medição de profundidade por intervalos configuráveis para 10, 25 ou 50 mm. Este equipamento apresenta haste e um cone com diâmetro de 0,0128 m e ângulo de penetração de 30°. A inserção da haste precisa ser inserida com velocidade constante (em torno de 0,035 m s⁻¹) para garantir uma medição precisa, por isso possui um sensor que indica a velocidade no visor do aparelho no momento da avaliação. A resolução máxima de RPM equivale a 7.700 Kpa. Em cada medição foi armazenado na memória interna do equipamento um valor de força medido para cada profundidade até 40 cm.

Os resultados da RMP ficaram gravados na memória interna e também foram obtidos de forma instantânea no visor do equipamento na medida kPa, porém foi realizada posteriormente a transformação para MPa (valor kPa dividido por 1000), para facilitar as análises de dados, conforme cita a maioria das literaturas.

Conforme a metodologia Stolf (1991) o Penetrômetro de Impacto Modelo KAMAQ série A0315 constituiu-se de uma haste com diâmetro aproximado de 0,01 m, e um cone na extremidade inferior de 0,0128 m de diâmetro e ângulo sólido de 30°, sendo que na parte superior possui um peso (massa de 4 Kg), com impacto constante em curso de queda livre de 0,40 m. A penetração da haste ao longo do perfil ocorre mediante uma força provida do impacto do peso (êmbolo), o qual foi derrubado de uma altura constante. A leitura da penetração foi realizada através da régua ao lado da haste (que é graduada em milímetros) a cada impacto até 60 cm. Segundo Stolf (1991) quando a haste do penetrômetro de impacto penetrar menos de 1 cm quando encontrar camadas de solo mais adensadas (compactadas), deve-se fazer mais de um impacto e depois realizar a leitura.

206

Os resultados do penetrômetro de impacto foram analisados pela equação desenvolvida por Stolf (1991), onde se realiza cálculos sequenciais, chegando ao valor final em MPa. Foi aplicada a seguinte equação:

$$RPM = (5,6 + 6,89 \times ((N / (D-A) \times 10) \times 0,0981))$$

Onde: RMP à resistência mecânica do solo à penetração (MPa); N o número de impactos efetuados para a obtenção da leitura; A correspondem as leituras anteriores e D as leituras posteriores da realização dos impactos (cm).

Com auxílio de trado holandês foram coletadas amostras de solo deformadas das camadas 0-20 e 20-40 cm, colocados em uma lata de alumínio, para determinação da umidade do solo no momento da determinação da RP, conforme a metodologia da Embrapa (1997). As amostras foram levadas para o laboratório e colocadas em estufa a 105° C por 24 horas, posteriormente pesados na balança digital.

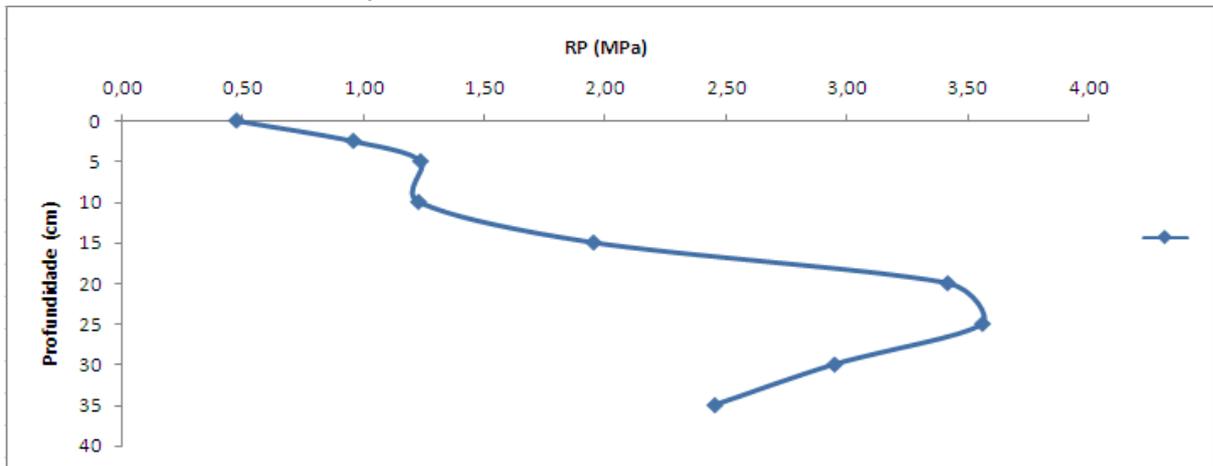
Os resultados das avaliações de RMP foram obtidos através de médias dos 10 pontos aleatórios do Penetrômetro Digital e do Penetrômetro de Impacto, e posteriormente foram gerados gráficos no programa Excel para melhor compreensão dos resultados obtidos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na média das avaliações de RMP realizada com Penetrômetro Eletrônico no Latossolo Vermelho Eutroférico típico (Figura 1), durante a cultura da soja, em SPD, houve uma variação significativa nas camadas de 15-35 cm, pois apresentaram valores acima de 2 MPa comparado as demais profundidades.

Nesta avaliação a umidade do solo estava na capacidade de campo, com valores na camada de 0-20 cm de 0,30 g g⁻¹ (30%) e na camada de 0-40 cm de 0,31 g g⁻¹ (30%).

Figura 1 - Avaliação da RMP com Penetrômetro Eletrônico no Latossolo Vermelho Eutroférico típico.

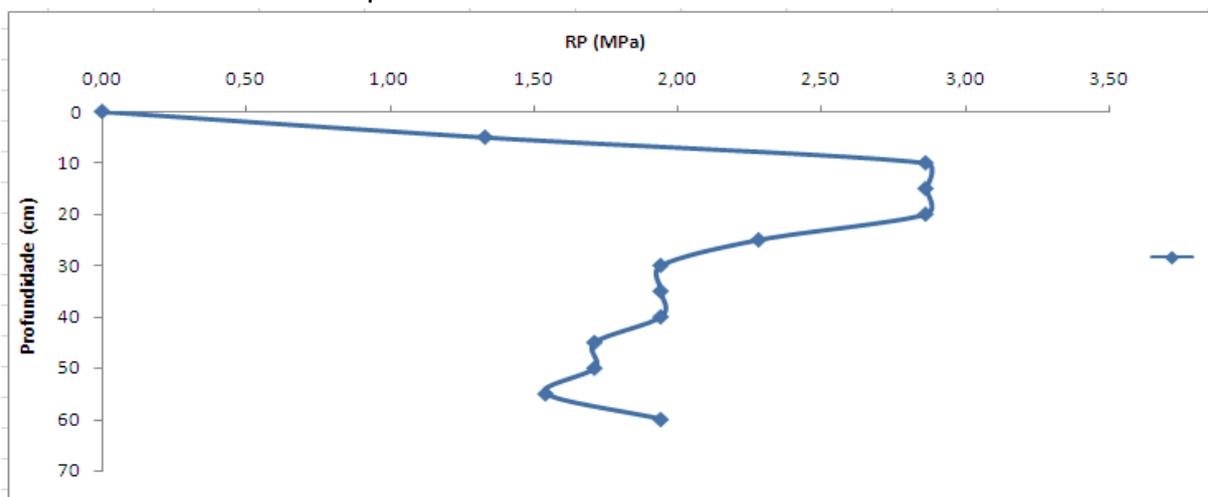


Fonte: Os autores (2017).

Na média das avaliações de RMP realizada com Penetrômetro de Impacto no Latossolo Vermelho Eutroférico típico (Figura 2), durante a cultura da soja, em SPD, houve uma variação significativa nas camadas de 5-30 cm, pois apresentaram valores acima de 2 MPa comparado as demais profundidades.

Nesta avaliação a umidade do solo estava na capacidade de campo, com valores na camada de 0-20 cm de 0,31g g⁻¹ (31%) e na camada de 0-40 cm de 0,32 g g⁻¹ (32%).

Figura 2 - Avaliação da RMP com Penetrômetro de Impacto no Latossolo Vermelho Eutroférico típico.



Fonte: Os autores (2017).

As análises de RMP demonstraram que as camadas de solos mais compactadas estão nas profundidades de 5 a 35 cm, com valores de RP > 2 Mpa (Figura 1 e 2), possivelmente causado pelo histórico de mecanização de plantio convencional (aração e gradagens) área, concordando com Tavares et. al. (2001), acerca do efeito do histórico de manejo nos resultados da RP do solo.

208

Afirma Reichert et al. (2009) que as operações agrícolas e tráfego de maquinários podem alterar a estrutura do solo, modificando as condições próximas ao ambiente radicular, promovendo alterações da RMP ao longo do perfil de solo.

Alguns autores relataram que índices de resistência de solo à penetração acima de 2,0 Mpa podem ser restritivos ao crescimento e ao funcionamento do sistema radicular e da parte aérea das plantas (TORMENA; ROLOFF, 1996; ROSELEM, 1999; SILVA et al., 2004).

Embora esses penetrômetros apresentem princípios diferentes de funcionamento, ambos exerceram a mesma função, sendo possível e eficaz a determinação de camadas compactadas de solos com teste de RMP, concordando com Cunha et al. (2007).

Segundo Roboredo et al. (2010) as diferenças nos valores de RMP correram devido as diferenças metodológicas e de operação dos equipamentos. Leite et al. (2010) observaram também que a resistência à penetração foi maior para o penetrômetro eletrônico, concordando com nosso resultado, que demonstra a maior

eficácia e sensibilidade do equipamento para detectar a RMP.

Observamos que o penetrômetro eletrônico é mais eficiente em comparação ao penetrômetro de impacto, pois os dados são gravados em um dispositivo de memória, e disponibilizados no seu visor logo após a avaliação, podendo ser interpretados de maneira instantânea à campo. Ao contrário, o penetrômetro de impacto necessita anotações de medidas para interpretações (cálculos) posteriores, para se chegar ao resultado final em MPa.

Outra característica observada, é a possibilidade de erros amostrais, no penetrômetro eletrônico ao realizar a avaliação ele sinaliza no painel a velocidade que está sendo penetrada a haste no solo e avisa por sinal sonoro caso esteja em desacordo, indicando para realizar nova amostragem, enquanto o penetrômetro de impacto é mais rústico e sem tecnologia, não possibilita um aviso de possível erro operacional.

4 CONCLUSÃO

209

Os penetrômetros eletrônico e de impacto exerceram a mesma função, demonstraram eficiência na avaliação da resistência mecânica à penetração. Porém o penetrômetro eletrônico apresentou maior eficácia e sensibilidade na detecção de camadas compactadas do solo, além de possuir maior tecnologia e uma metodologia mais simplificada para se gerar o resultado, diminuindo a possibilidade de erro operacional, conseqüentemente do resultado.

REFERÊNCIAS

CAMARGO, O. A. Compactação do solo e desenvolvimento de plantas. Campinas: **Fundação Cargill**, 1983. 44p.

CAMPBELL, D.J.; O'SULLIVAN, M. F. The cone penetrometer in relation to rafficability, compaction, and tillage. In: SMITH, K.A.; MULLINS, C.E. **Soil Analysis**. New York: Marcell Dekker, 1991. p.399-423.

CUNHA, E. Q.; BALBINO, L.; STONE, L.; LEANDRO, W.; OLIVEIRA, G. Influência de rotações de cultura nas propriedades físico- hídricas de um Latossolo Vermelho em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n.3, p. 675-682, 2007.

DEBIASI, H. **Recuperação física de um argissolo compactado e suas**

implicações sobre o sistema solo-máquina-planta, 2008. 263 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.6, p. 603-612, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos e análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

GHOHMANN, F.; QUEIROZ NETO, J. P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração de raízes de arroz. **Bragantia**, Campinas, v.25, n. 39, p. 421-31, 1966.

LEITE F.; SANTOS J.E.G. ; LANÇAS K.P. Comparação da resistência do solo à penetração entre penetrômetro elétrico-eletrônico e penetrógrafo manual. **Cultivando o Saber**, v.3, p. 32-39, 2010.

LIMA, R. P. de; DE LEÓN, M. J.; SILVA, A. R. da. Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.4, p. 577-581, 2013.

210

MOLIN, J. P.; MAGALHÃES, R. P. de; FAULIN, G. D. C. Análise espacial da ocorrência do índice de cone em área sob semeadura direta e sua relação com fatores do solo. **Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v.26, n. 2, p.442-452, 2006.

PEDROTTI A.; PAULETTO E. A.; CRESTANA S. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.521-529, 2001.

PRIMAVESI, A.M.; SANTIAGO, J.P. **Guia Rural: Manual da Terra o guia completo do solo, como ele se forma, vive e produz**. p. 15- 20. 1986.

REICHART, J. M; REINER, J. D; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, 2002.

REICHERT J.M.; Kaiser DR, Reinert DJ & Riquelme UFB. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.310-319, 2009.

ROBOREDO, D. et al., C. G. Uso de dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica de um Latossolo vermelho distrófico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.308-314, 2010.

ROQUE C.G. et al. Comparação de dois penetrômetros na avaliação da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.25, p.53-57, 2003.

ROSOLEM, C. A.; FERNANDEZ, E. M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 5, p. 821-828, 1999.

ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 34, n. 5, p. 821-828, 1999.

SILVA G. et al. Métodos probabilístico e determinístico para diagnóstico da necessidade de subsolagem de solos. **Engenharia Agrícola**, v.24, p.130-141, 2004.

SILVEIRA, D. C. et al. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p.659-667, 2010.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de formulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, n.2, p.229-235, 1991.

211

TAVARES FILHO, J. et al. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zeamays*, L.) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.275-30, 2001.

TORMENA C.A.; ROLOFF G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.333-39, 1996.

TORMENA, A.C.; **Compactação dos solos em SPD precisa ser atenuada**. In: CARDOSO, F.P. **Visão agrícola**, n.9, p. 8-28 jul./dez. 2009.

VIEIRA, L.B.; SIERRA, J.G. Uso do penetrômetro e programa de computador para traçado de perfil penetrométrico do solo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 22., 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: SBEA, 1993. p.1825-1837.