

DESENVOLVIMENTO DE UM PENETRÔMETRO ELETROMECAÂNICO DE BAIXO CUSTO PARA VERIFICAÇÃO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO

Aldir Carpes Marques Filho¹, Lucas Rauhen², Kléber Pereira Lanças³

¹ Eng. Agr. Me., Universidade Estadual Paulista – UNESP/Botucatu, (14) 3880-7165, aldir.marques@gmail.com

² Graduando em Agronomia, Faculdade Formação Integral de Garça – FAEF, (14) 3407 8000, lucasrauen18@gmail.com

³ Prof. Dr., Universidade Estadual Paulista – UNESP/Botucatu, (14) 3880-7119, kp.lancas@unesp.br

Apresentado no
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020
23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

RESUMO: Um dos grandes entraves na agricultura moderna é a compactação do solo. Com o aumento do tamanho, peso e fluxos das máquinas nas lavouras ao longo dos anos, sem o manejo correto o solo vem sofrendo danos em sua estrutura, comprometendo a produtividade e limitando o desenvolvimento das culturas. É importante conhecer a compactação do solo, e em qual camada ela se encontra. Uma das maneiras de se obter um indicativo de compactação é a resistência do solo à penetração (RSP). Assim, objetivou-se com este trabalho desenvolver um sistema de baixo custo para avaliação da compactação do solo, com o uso de plataforma de prototipagem e sensores específicos. O equipamento apresentou os resultados esperados quando comparado com um equipamento padrão calibrado e a estatística comparativa entre os dois equipamentos apresentou alta correlação, o custo de desenvolvimento do equipamento proposto, foi 800% inferior ao equipamento disponível no mercado, e as mensurações atenderam o propósito do projeto.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão, compactação do solo, tráfego controlado.

DEVELOPMENT A LOW-COST ELECTROMECHANICAL PENETROMETER TO VERIFY RESISTANCE TO SOIL PENETRATION

ABSTRACT: One of the major obstacles in modern agriculture is soil compaction. With the increase in the size, weight and flows of the machines in the crops over the years, without the correct management, the soil has suffered damage in its structure, compromising productivity and limiting the development of crops. It is important to know the soil compaction, and what layer it is in. One of the ways to obtain a compaction indicator is the soil's resistance to penetration (RSP). Thus, the objective of this work was to develop a low-cost system for evaluating soil compaction, using a prototyping platform and specific sensors. The equipment presented the expected results when compared with a standard calibrated equipment and the comparative statistics between the two equipment showed a high correlation, the cost of development of the proposed equipment, was 800% lower than the equipment available on the market, and the measurements met the purpose of the project.

KEYWORDS: precision agriculture, soil compaction, controlled traffic.

INTRODUÇÃO:

Com o passar dos anos as máquinas agrícolas ficaram maiores e mais pesadas, daí origina-se então o fenômeno conhecido como compactação do solo, um processo mecânico, oriundo da aplicação repetida de cargas nos solos, conduzindo ao aumento de massa em mesmo volume e reduzindo os espaços vazios ou porosos. O manejo inadequado do solo produz efeitos de curto prazo como compactação superficial e redução da produtividade, e de longo prazo propicia efeitos degradantes permanentes associados a problemas ambientais de assoreamento de córregos d'água e perdas de solo (MOLINA JR., 2017). Na agricultura em geral, os principais causadores da compactação do solo são as máquinas e os implementos responsáveis pelas operações nas lavouras (MARTINS et al. 2018).

Existem formas diversificadas de se avaliar a compactação do solo, algumas precisas e morosas em laboratório e outras indiretas e expeditas à campo. Uma das ferramentas que podemos utilizar para avaliar a compactação do solo de forma indireta no campo é com o uso de penetrômetros eletromecânicos ou penetrógrafos. Esses instrumentos descrevem a resistência física que o solo oferece à penetração de uma haste metálica com área de ponta conhecida, e que pode ser correlacionada com a resistência encontrada pelo sistema radicular das culturas em função da compactação do solo (PEDROTTI et al., 2001).

De acordo com Molin e Silva Júnior (2004), os penetrômetros de cone são definidos como instrumentos de medida que caracterizam a resistência do solo à penetração por um método uniforme padrão. Porém os equipamentos de avaliação de compactação de solo ainda estão predominantemente restritos à pesquisadores ou empresas especializadas, pois são de alto custo comercial.

Com base no exposto acima, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver e avaliar um penetrômetro eletromecânico para aquisição de dados relacionados à compactação de solo, de baixo custo e acessível aos pequenos e médios produtores rurais.

MATERIAL E MÉTODOS:

O experimento foi desenvolvido no município de Garça, sob as coordenadas 22° 13' 02. 40" Sul, 49° 40' 51.46" Oeste. Para desenvolvimento do sistema foi utilizada metodologia de desenvolvimento de produtos proposta por Rozenfeld et al. (2015). O projeto desenvolvido levou em consideração algumas soluções já oferecidas para a avaliação da compactação do solo, bem como incrementou as aplicações e utilidades do equipamento.

O projeto utilizado seguiu modelo incremental de tecnologia e de rebaixamento de custos, onde incluiu-se além da interface existente de um penetrômetro, dados agrônômicos de compactação limitante ao desenvolvimento radicular das culturas vegetais, como fator inovativo ao processo.

Foram utilizados os seguintes materiais para montagem do sistema: Célula de carga do tipo "S" com capacidade para 100kgf no modelo YZC- 516C; Plataforma Arduino UNO atmega 328P; Display LCD 20x4 com Backlight azul; Modulo conversor 24BIT HX711; Bateria de 9 V; Haste de 70cm (ferro redondo trefilado ½ aço 1020); Barra "Guidão" ¾ tipo ciclístico e Caixa plástica (170x145x90 Steck), além de botões e resistores específicos (Figura 1).

O sistema desenvolvido foi comparado com sistema calibrado através de análise estatística e elaborou-se equações de correlação entre os equipamentos. Os testes comparativos foram compostos por 2 tratamentos (Tipos de solo) e 4 repetições cada tratamento. Foram gerados gráficos de análise de regressão comparando os dois equipamentos, bem como aplicados testes de variâncias e desvios aos resultados obtidos pelo equipamento padrão e pela tecnologia desenvolvida. Os parâmetros estatísticos foram analisados com o auxílio do software Mintab v.16.

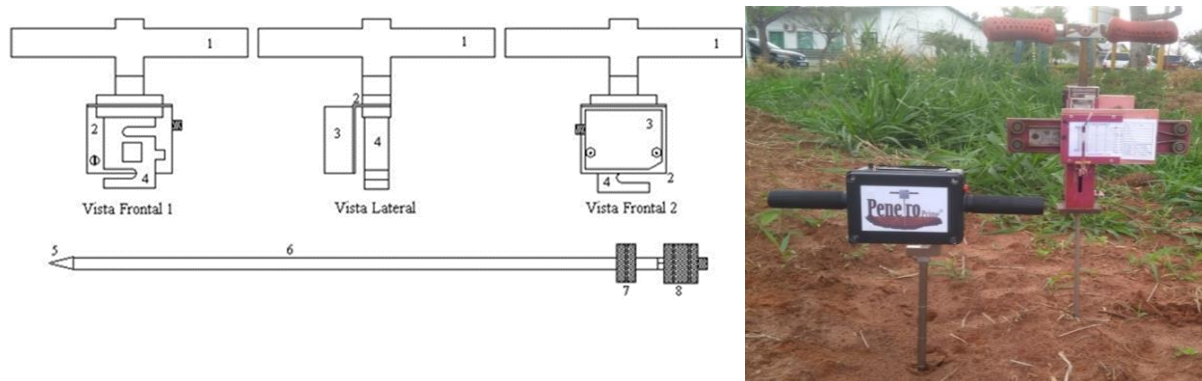


Figura 1: Penetrômetro eletromecânico desenvolvido em comparação com modelo calibrado padrão. Esquerda modelo conceitual baseado em ASAE, 313-3, e direita protótipo comparativo. (Fonte: Rauen, 2019)

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os resultados obtidos nos dois tratamentos em parcelas distintas de solo apresentaram equação de coeficiente de correlação alto ($r^2 > 0,71$) o que indica a qualidade de amostragem obtida com o equipamento desenvolvido (Figura 2 e 3).

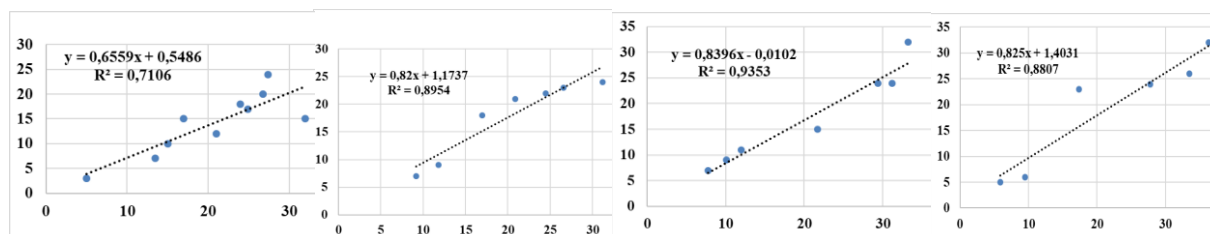


Figura 2: Penetrômetro eletromecânico (relação de pressão aplicada kgf.cm^{-2}) em coleta comparativa com sistema calibrado padrão em latossolo vermelho amarelo (Santos, 2018) a 15% de teor de água.

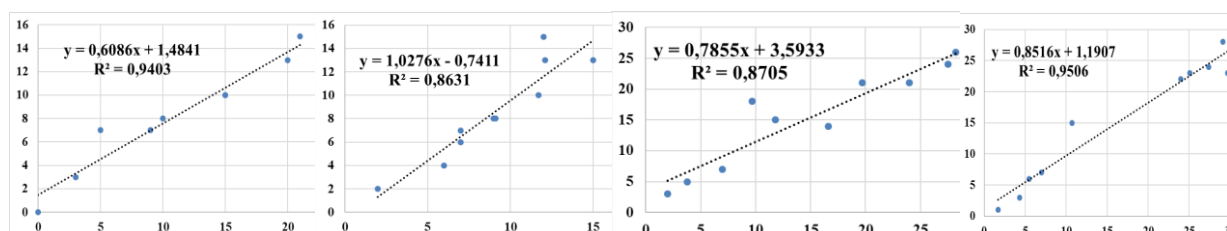


Figura 3: Penetrômetro eletromecânico (relação de pressão aplicada kgf.cm^{-2}) em coleta comparativa com sistema calibrado padrão em latossolo vermelho amarelo (Santos, 2018) a 18% de teor de água.

Para a primeira coleta em Latossolo com 15% de umidade as regressões das quatro amostras comparativas com o equipamento padrão, verificou-se correlações de $r^2 > 0,71$; 0,89; 0,93 e 0,88 respectivamente para as quatro primeiras repetições. Para a segunda coleta em parcela de Latossolo com 18% de umidade os coeficientes de correlação com o equipamento padrão ficaram em $r^2 > 0,94$; 0,86; 0,87 e 0,95 respectivamente para as quatro repetições. Os dados podem ser comparados aos de Stolf (1991), onde o teor de argila e água no solo, apresentam influência significativa nas características de resistência à penetração no solo para o penetrômetro de impacto, necessitando, portanto, de ajustes matemáticos para maior confiabilidade. O solo como um corpo trifásico e altamente dinâmico possui grande variabilidade em suas características tanto de modo temporal como espacial, assim a menor correlação encontrada entre os equipamentos $r^2 = 0,71$ pode ser considerada alta.

Embora os penetrômetros apresentem princípios diferentes de funcionamento, ambos apresentaram correlação linear entre as medidas obtidas e as características do solo, concordando com os dados apresentados por Beutler, Centurion e Silva (2007); Rosolem et al. (1999); Beutler et al. (2002);

O sistema de aquisição desenvolvido apresentou um custo total de materiais e componentes de R\$ 460,31 (quatrocentos e sessenta reais) e atendeu adequadamente o propósito inicial de avaliar a compactação do solo, de acordo com os resultados obtidos nas coletas teste em latossolo vermelho amarelo em duas umidades.

No mercado brasileiro, equipamentos semelhantes são oferecidos por valores médios entre cinco e seis mil reais, o que indica a viabilidade econômica da tecnologia desenvolvida. Se compararmos o valor bruto aplicado no desenvolvimento deste equipamento, com preços de equipamentos comerciais equivalentes, a tecnologia desenvolvida representa economia superior a 800%. Será necessário criar modelos de calibração para outras classificações de solo, porém a estratégia parece promissora no que diz respeito à redução de custos e confiabilidade nos dados obtidos.

CONCLUSÕES:

O penetrômetro eletromecânico desenvolvido atendeu-se a expectativa para avaliação da compactação do solo e propiciou economia de 800% na instrumentação de operação.

As plataformas de desenvolvimento Arduíno permitem criar soluções com excelente confiabilidade e baixo custo para aplicações agrícolas.

REFERÊNCIAS:

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P. Comparação de penetrometros na avaliação da compactação de latossolos. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 146–151, 2007.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; SILVA, L.M. Utilização dos penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico em Latossolos. **Engenharia Agrícola**, v.22, n.2, p.191-9, 2002.

MARTINS, P. C. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; AJAYI, A. E.; TAKAHASHI, E. N.; TASSINARI, D. Soil compaction during harvest operations in five tropical soils with different textures under eucalyptus forests. **Ciência e Agrotecnologia**, v.42, p.58-68, 2018.

MOLIN, J.P.; SILVA JUNIOR, R.L.D.A. Variabilidade espacial do índice de cone correlacionada com textura e produtividade. **Engenharia Rural**, v.14, n.1, p.49-57, 2004.

MOLINA JR, W. F. **Comportamento mecânico do solo em operações agrícolas**. Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ/USP, ed. autor, Piracicaba, 223p., 2017.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, EMBRAPA, 5 ed., Brasília-DF, 2018.

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**, Brasília, v.34, n.5, p.821-8, 1999.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de Produtos**. Uma referência para melhoria do processo. São Paulo. Ed. Saraiva, 2015. 542p.

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**, Campinas, v.15, n.2, p.229-35, 1991.