

## Otimização de protótipo de baixo custo para monitoramento da resistência do solo à penetração em solos arenosos

Anderson Prates do Carmo<sup>1</sup>, Wagner Henrique Moreira<sup>1</sup>, Wesley Tassaró Andrade<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal do Mato Grosso do Sul – Nova Andradina-MS

[anderson.carmo@estudante.ifms.edu.br](mailto:anderson.carmo@estudante.ifms.edu.br), [wagner.moreira@ifms.edu.br](mailto:wagner.moreira@ifms.edu.br), [wesley.andrade@ifms.edu.br](mailto:wesley.andrade@ifms.edu.br)

### Resumo

O uso intensivo do solo, pode levar a problemas como a compactação e, conseqüentemente, redução da produtividade. Assim, é importante haver metodologias para avaliar com precisão a compactação do solo. Este estudo teve como objetivo viabilizar a avaliação da resistência do solo à penetração (RP) com um protótipo de penetrômetro de baixo custo e comparar com o comercial. O protótipo foi construído com materiais simples e de fácil manuseio, composto por componentes como Arduino que captura e envia os dados para o celular onde são armazenados os resultados. Os testes foram realizados em duas parcelas com plantas de cobertura, sendo que cada parcela foi constituída por dez pontos de análises. Os resultados indicaram problemas no protótipo para leituras em profundidade, porém, apresentou relação com o equipamento comercial. Assim, mais estudos são necessários para validar o protótipo.

**Palavras-chaves:** Solo, compactação e protótipo.

### Introdução

A utilização de sucessão de culturas é comum na cadeia produtiva, tornando assim a utilização do solo intensa e proporcionando também o mal uso do mesmo (WAGNER et. al., 2017). Uma das consequências do mau uso, é a compactação do solo.

A compactação do solo ocorre pela pressão exercida no solo, que diminui o volume ocupado pelas partículas (CHAGAS et. al., 2017), esta pressão pode ocorrer através do tráfego de máquinas agrícolas e animais (NASCIMENTO, 2016).

Com a compactação do solo, há redução da porcentagem de macroporos, tendo menos espaço para as raízes crescerem, dificultando assim as trocas gasosas e também a dificuldade de drenagem de água no solo, ocasionando erosões (WAGNER et. al., 2017). A resistência do solo à penetração (RP) é um atributo que indica o grau de compactação do solo, ou seja, busca uma aproximação em relação à força que a raiz precisa exercer para se desenvolver no solo (EMBRAPA, 2012).

No cenário agrícola atual, a compactação do solo é um problema para os agricultores, resultando assim na diminuição da produtividade das espécies cultivadas (WAGNER et. al., 2017).

O objetivo deste estudo foi viabilizar a avaliação da RP com um protótipo de penetrômetro de baixo custo e comparar os resultados com o penetrômetro comercial.

### Metodologia

O trabalho foi realizado no Instituto Federal do Mato Grosso do Sul, no campus Nova Andradina, localizado às margens da rodovia MS-473 no km 23, Fazenda Santa Bárbara.

O protótipo foi constituído por uma placa microcontroladora Arduino, células de cargas e a utilização de um celular para obter as coordenadas e a visualização e armazenar os resultados de RP (Figura 1).



Figura 1. Protótipo

Para a visualização dos resultados foi utilizado celular com sistema Android conectado por via Wi-Fi com o Arduino do protótipo. O celular conectado tem que ter instalado o aplicativo que foi criado para ordenar os comandos de iniciar a análise e a visualização dos resultados, onde também são armazenados os valores de RP.

Foram confeccionadas hastes com as medidas de 6 mm de diâmetro, 42 cm de comprimento tendo sua ponta cônica com dimensões de 7,9 mm x 14,82 mm e ângulo de 30 °.

Os resultados obtidos são convertidos e as unidades de medidas de quilogramas (Kgf) são transformadas para mega pascal (MPa).

Os dados obtidos foram tabulados e submetidos a comparação pelo intervalo de confiança da média conforme Payton et al. (2000) a 5%. Além do intervalo de confiança, foi realizada análise estatística dos dados com a utilização do software SAS Institute (DER e EVERITT 2015), através de correlação de Pearson e análise de regressão.

### Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os resultados do protótipo desenvolvido e do penetrômetro comercial. Ambas as avaliações foram realizadas na mesma área, porém os resultados apresentaram inconsistências a partir de determinada profundidade. Ambos começam com uma média de MPa semelhante, porém ao passar de 20 cm o protótipo continua a aumentar enquanto o comercial estabiliza.

O desvio padrão foi superior no protótipo apresentando valores aproximadamente duas vezes maiores. Por outro lado, o coeficiente de variação foi semelhante.

Tabela 1. Comparação dos resultados do protótipo e do penetrômetro comercial.

| Prof (cm) | Média (MPa) | DP   | CV (%) | Máximo (MPa) | Mínimo (MPa) |
|-----------|-------------|------|--------|--------------|--------------|
| Protótipo |             |      |        |              |              |
| 5,0       | 0,12        | 0,12 | 99,38  | 0,28         | 0,03         |
| 10,0      | 1,60        | 1,44 | 90,17  | 3,41         | 0,30         |
| 15,0      | 3,38        | 1,65 | 48,71  | 5,76         | 1,14         |
| 20,0      | 3,41        | 1,28 | 37,69  | 4,59         | 1,53         |
| 25,0      | 5,00        | 1,81 | 36,27  | 6,76         | 2,55         |
| 30,0      | 5,67        | 1,50 | 26,52  | 7,18         | 3,63         |
| 35,0      | 6,44        | 1,68 | 26,13  | 7,70         | 3,51         |
| 40,0      | 7,35        | 0,39 | 5,26   | 7,88         | 6,96         |
| Comercial |             |      |        |              |              |
| 5,0       | 0,20        | 0,09 | 44,38  | 0,34         | 0,07         |
| 10,0      | 0,55        | 0,34 | 62,43  | 1,09         | 0,19         |
| 15,0      | 1,18        | 0,55 | 46,84  | 2,08         | 0,53         |
| 20,0      | 2,19        | 0,77 | 34,91  | 3,42         | 1,18         |
| 25,0      | 2,49        | 0,90 | 36,12  | 3,58         | 1,11         |
| 30,0      | 2,54        | 0,83 | 32,75  | 3,62         | 1,39         |
| 35,0      | 2,49        | 0,64 | 25,71  | 3,53         | 1,64         |
| 40,0      | 2,45        | 0,37 | 15,24  | 3,15         | 2,08         |

A Figura 2 demonstra os valores de RP obtidos com o equipamento comercial. As barras representam o intervalo de confiança da média.

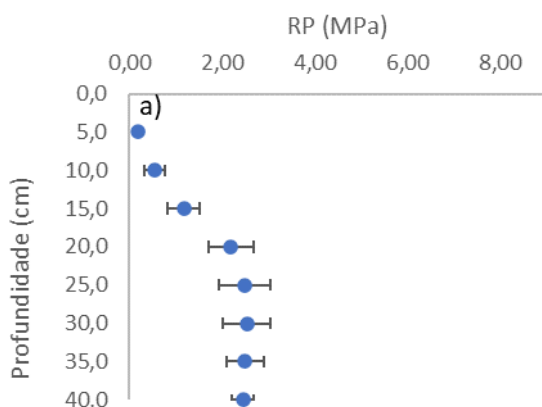


Figura 2. Resultados de compactação do comercial. A sobreposição do Intervalo de confiança da média indica ausência de diferença estatística conforme Payton et al. (2000).

A Figura 3 demonstra os valores de RP obtidos com o protótipo. As barras representam o intervalo de confiança da média.

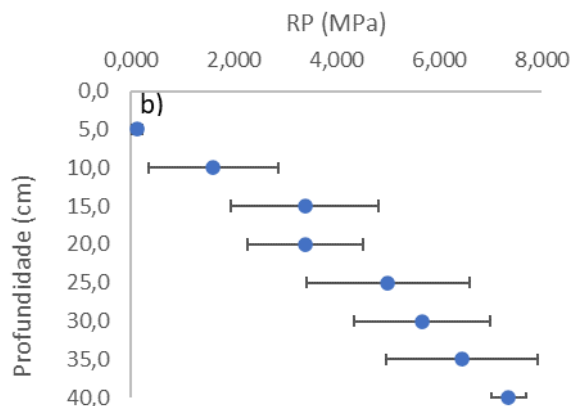


Figura 3. Resultados compactação do protótipo. A sobreposição do Intervalo de confiança da média indica ausência de diferença estatística conforme Payton et al. (2000).

A Figura 4 demonstra os valores de RP do protótipo em função dos valores do equipamento comercial. Houve tendência de superestimativa dos valores no protótipo, que pode ser observado pela distribuição dos valores acima da linha 1:1 (linha pontilhada).

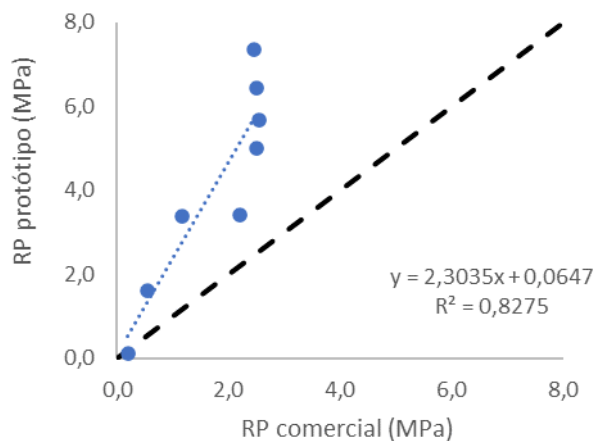


Figura 4. Correlação de compactação do protótipo com o comercial.

Na Figura 4, estatisticamente não houve significância na regressão ( $p > 0,05$ ). Contudo, também foi analisada a correlação, que foi significativa ( $p < 0,05$ ) e com valor de  $r = 0,91$ .

O protótipo teve um custo médio de R\$1.200,00 reais, custos esses que foram para custear serviços de terceiros como de torneiros, para a aquisição dos materiais, entre outros. Esse custo é considerado muito baixo em comparação aos penetrometro comercial, pois o valor do penetrometro pode ultrapassar R\$10.000,00. Assim, embora haja limitações nas avaliações em profundidade, pelos resultados obtidos em superfície, o protótipo apresenta potencial.

### Considerações Finais

Foi possível obter protótipo que apresentou resultados com correlação significativa com o equipamento comercial. Porém, mais estudos são necessários para ajustar o protótipo, pois os valores de RP do protótipo foram superiores ao comercial para camadas abaixo de 0,2 m.

### Agradecimentos

Agradeço a Deus pela minha vida e pela minha saúde. Agradeço ao IFMS pelo apoio para a execução do projeto e bolsa concedida.

Agradeço aos orientadores por compartilharem seus conhecimentos e contribuir imensamente, guiando e incentivando na construção deste trabalho.

### Referências

CHAGAS, Gleiber da Silva; MOURA, Alfran Sampaio; DE ARAUJO CARNEIRO, Andressa. UTILIZAÇÃO DA COMPACTAÇÃO PARA REDUÇÃO DO POTENCIAL DE COLAPSO/EXPANSÃO DE UM SOLO SILTO ARGILOSO DE MASSAPÊ DA CIDADE DE ICÓ-CE. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 1, 2017.

EMBRAPA. Compactação do solo: resistência do solo à penetração. Londrina, PR, 2012.

MARANGON. M. MECÂNICA DOS SOLOS II. Capacidade de carga dos solos. Cap.7 p.200. 2018.

PAYTON, M. E., A. E. MILLER, ET AL. (2000). "Testing Statistical Hypotesis using standard error bars and confidence intervals." **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 31: 547-551.

PORTUGAL, Nabila Rhaiane Nascimento. Compactação do solo por atividades agropecuárias. 2016.

WAGNER et al. Efeito da compactação do solo na produtividade da cultura da soja (*Glycine max* L.). 2017.