



ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DOS SOLOS: ELABORAÇÃO E OPERAÇÃO DE PENETRÔMETRO DE IMPACTO DINÂMICO

Eric Oliveira Raposo¹, Glaucio Luciano Araujo²

¹Graduando em Engenharia Civil, Centro Universitário UNIFACIG, eric95olirap@gmail.com

²Engenheiro Agrônomo (UFES), Doutor em Engenharia Agrícola (UFV), Professor no Centro Universitário UNIFACIG, glaucio.araujo@sempre.unifacig.edu.br

Resumo: O presente estudo tem por objetivo descrever a elaboração de um penetrômetro de impacto baseado no modelo IAA/PLANALSUCAR-Stolf, testando sua utilização em campo para análise de resistência à penetração das camadas do solo. O equipamento em questão tem a função de penetrar no solo de forma mecânica, obtendo dados para aplicação em equações para a transformação dos dados em valores de unidade/força de área, representando a resistência de penetração no solo. Em execução o equipamento apresentou praticidade de operação e dados confiáveis. Portanto para análises de pequeno porte e/ou acadêmicas o modelo construído satisfaz as exigências, tanto com o fornecimento de dados para as equações, como para sua prática operação em campo, além da viabilidade econômica. Conclui-se que o equipamento pode ser considerado viável e eficiente para a determinação da resistência a penetração dos solos, bem como o mesmo pode ser utilizado para a diferenciação de solos com diferentes resistências a penetração.

Palavras-chave: Penetrômetro; Resistência; Solos.

Área do Conhecimento: Engenharias

1 INTRODUÇÃO

No campo da construção civil o estudo dos solos para elaboração de projetos é julgado com uma menor importância, e como consequência é deixado de lado muitas das vezes, principalmente em empreendimentos de pequeno porte. As obras aumentaram o tamanho e o padrão exigido também se elevou, o resultado da falta desses estudos se tornou mais frequente, visível, e em muitos casos, extremamente perigoso. De forma mais branda fissuras e trincas menores são patologias apenas de grau estético, mas, em casos mais graves, o emprego de carga elevada em solos não devidamente preparados pode ocasionar recalques e rupturas, inclusive desmoronamentos nas fases iniciais do processo de construção como a fundação.

Sendo assim a adoção de um equipamento capaz de medir a resistência das camadas de solo onde será implantada alguma carga, com operação de forma mais simplificada, se faz necessário. O penetrômetro de impacto dinâmico satisfaz essas necessidades, visando a redução de recorrentes patologias, até acidentes, podendo assim atingir os padrões exigidos, tanto estruturais como estéticos que se elevam cada vez mais.

Um dos intuitos da elaboração desse equipamento foi replicar de forma aproximada o penetrômetro modelo IAA/PLANALSUCAR-Stolf, com matéria prima de fácil acesso e com baixo custo. O equipamento também possui a presença de materiais reaproveitados, uma vez que equipamentos desse seguimento possuem valores que podem não ser acessíveis a todos. Há também a utilização do mesmo em campo, a fim de explicar seu manejo e funcionamento para aquisição de dados que posteriormente serão empregados em fórmulas que visam calcular a resistência do solo.

Dado o exposto, o objetivo desta pesquisa foi elaborar um penetrômetro de impacto de baixo custo, baseado no modelo IAA/PLANALSUCAR-Stolf, testando sua utilização em campo com os valores obtidos de resistência a penetração em dois diferentes tipos de solo.

2 METODOLOGIA

Comumente conhecido por penetrômetro de impacto de Stolf, o equipamento leva o nome do professor da UFSCar (Universidade de São Carlos), Prof. Dr. Rubismar Stolf, e tem por objetivo mensurar a resistência dos solos. Desenvolvido para fins agrícolas no início dos anos 1980, o equipamento era uma alternativa aos penetrógrafos convencionais encontrados. O aparelho desenvolvido por Stolf tem como forma para obtenção de dados a penetração da haste de ponta cônica,

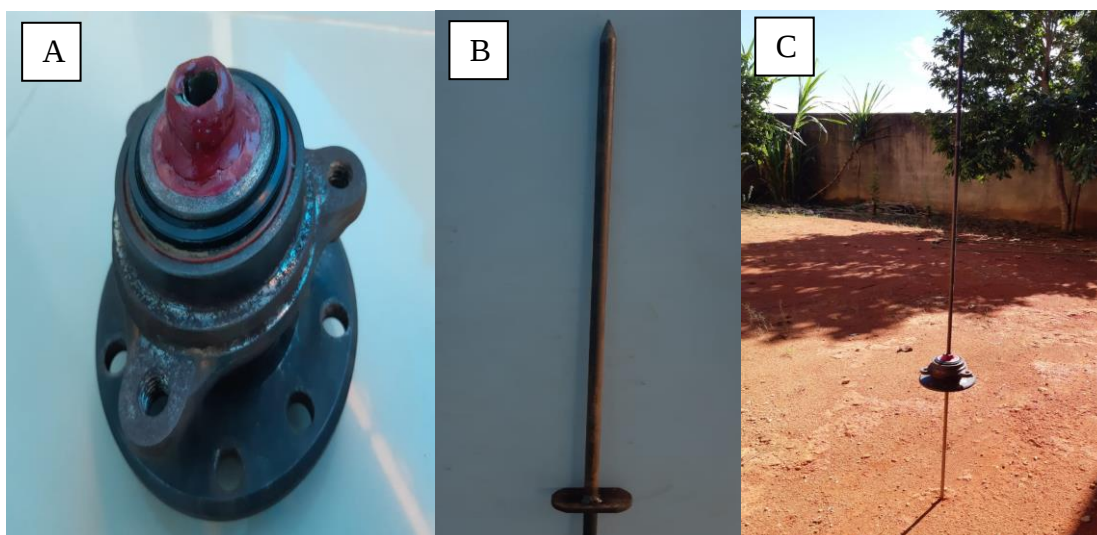
padrão ASAE (*American Society of Agricultural Engineers*), no solo por meio de uma massa de impacto de altura conhecida e constante.

Hoje referência em âmbito nacional e internacional, o penetrômetro de impacto se destaca por cumprir o papel de ser prático para uso, eficaz na obtenção de dados e de ser viável economicamente em comparação a outras ferramentas de mesma finalidade. Tal comparação é feita por Stolf (1983), que usa um penetrógrafo de exemplo e cita alguns problemas desse aparelho. A variação dos resultados, pois dependem do operador e em solos com grande resistência é necessário o uso de penetrógrafos de velocidade constante que além do custo elevado são muito pesados. Em contrapartida, o modelo de Stolf traz um baixo custo já que não conta com dinamômetro nem registrador, e não existe a necessidade de calibração uma vez que massa de peso, a queda e gravidade são conhecidas e não variam além de um conjunto leve e com resultados que não dependem de quem opera o equipamento.

Apesar de se mostrar eficiente o estudo com penetrômetro pode ser acrescido de mais análises a fim de torná-lo mais completo. Uma vez que a densidade do solo está diretamente relacionada ao uso do equipamento, há a possibilidade de determinação da densidade média do solo e densidade média de suas partículas, segundo o Manual de Métodos de Análise do Solo (EMBRAPA, 1997).

Para estudo dos solos foi desenvolvido um equipamento baseado no penetrômetro de impacto dinâmico modelo IAA/PLANALSUCAR-Stolf. Tratando-se de um modelo não fiel ao original, mas atendendo alguns parâmetros mínimos para obtenção de resultados satisfatórios. O intuito é desenvolver um equipamento viável economicamente, utilizando materiais de baixo custo, e/ou reaproveitar matéria prima de descarte, e de fácil acesso. Para o equipamento foram utilizados os seguintes materiais: 1 – Barra de ferro cilíndrica de superfície lisa com espessura de 9,52 mm (3/8") e comprimento de 150 cm; 2 – Chapa de ferro retangular 4x6 cm e espessura de 0,5 cm; e 3 – Componente de freio de automóvel com 3,42 kg.

Figura 1 - Componentes utilizados no penetrômetro e penetrômetro a campo. A – Componente de freio automotivo. B – Detalhe cônico da ponta do penetrômetro e barra retangular utilizada como batente para o componente de freio automotivo. C – Penetrômetro sendo utilizado a campo.



A barra cilíndrica serviu como haste para o aparelho, nela foi feita uma ponta com ângulo de aproximadamente 30° para penetração no solo. A chapa retangular foi usada como batente, nesse caso a barra foi soldada próxima 50 cm do início da ponta. O restante da barra foi metrificado, pois deve ser conhecido para altura de queda da massa. Para confecção da massa que fará o golpe por meio da gravidade para a penetração no solo foi utilizada uma peça de automóvel que seria descartada. É necessário o emprego de fórmulas que possibilitam transformar os dados coletados em valores de força/unidade de área. Stolf apresenta algumas dessas fórmulas e faz uma análise sobre cada uma (STOLF, 1990).

O modelo de equipamento baseado no penetrômetro de Stolf foi utilizado na coleta de valores do solo a fim de utilizá-los em fórmulas existentes para obtenção de sua força/unidade de área. Para análise foram utilizados dados de dois solos distintos, e para cada local foi feito duas coletas no intuito de se obter informações mais precisas. A fim de comparação dos valores de resistência dos solos avaliados se fez uso então de três equações, Fórmula dos Holandeses, de Sanders e de Brix em suas formas completas (STOLF, 1990).

Na Fórmula dos Holandeses (Completa) é levado em consideração o choque entre as massas, acarretando em uma perda de energia. A perda de energia na forma de calor aumenta de acordo com o aumento de m. Considerada a mais indicada.

$$F = (M + m).g + \frac{M^2 . g . h}{(M + m) . x}$$

Em que:

F = força de resistência do solo (kgf)
M = massa que provoca o impacto (kg)
m = massa dos demais componentes do penetrômetro (kg)
x = penetração unitária ocasionada por um impacto (cm/impacto)
g = aceleração da gravidade
h = altura de queda da massa que provoca o impacto (cm)

Já na Fórmula de Sanders (Completa) é condicionado que a queda da massa de impacto resulta em uma variação de energia potencial que é transformada de forma total em trabalho de penetração. Acaba por superestimar os resultados com exagero.

$$F = (M + m).g + \frac{M . g . h}{x}$$

Em que:

F = força de resistência do solo (kgf)
M = massa que provoca o impacto (kg)
m = massa dos demais componentes do penetrômetro (kg)
x = penetração unitária ocasionada por um impacto (cm/impacto)
g = aceleração da gravidade
h = altura de queda da massa que provoca o impacto (cm)

Fórmula de Brix (Completa) se dispõe a obter resultados do equipamento contando apenas com a fração de energia cinética de seu próprio corpo m. É utilizada na Europa.

$$F = m . g + \frac{M^2}{(M + m)^2} . \frac{m . g . h}{x}$$

Em que:

F = força de resistência do solo (kgf)
M = massa que provoca o impacto (kg)
m = massa dos demais componentes do penetrômetro (kg)
x = penetração unitária ocasionada por um impacto (cm/impacto)
g = aceleração da gravidade
h = altura de queda da massa que provoca o impacto (cm)

Stolf salienta que as fórmulas buscam estimar a capacidade de resistência dos solos sem o peso estático. A fim de torná-las completas, assim dizendo, julgou-se necessário a adição de (M+m).g na Fórmula dos Holandeses e Sanders, e de m.g na Fórmula de Brix. O incremento nas equações originais se dá pela explicação que o penetrômetro não é capaz de estimar a resistência de um meio que seja mais leve que seu peso próprio, o que pode ocorrer em determinadas ocasiões (STOLF, 1990).

A operação de coleta de dados por meio do equipamento desenvolvido foi feita em duas áreas diferentes, com intuito de discutir os valores de resistência referentes às camadas dos solos que apresentam diferentes características. As localidades situadas em no município de Manhuaçu-MG foram denominadas de A e B, dadas as seguintes coordenadas geográficas em A: 20°15'51,3"S; 42°1'28,2"W, e B: 20°15'36,3"S; 42°1'35,2"W. Em cada área foi feita análise em dois pontos distintos para altura de queda da massa de 90 cm, sendo que no local A, houve um terceiro ponto com altura de 50 cm.

Figura 2 - Local A: Rua Profª. Mari Pinto Coelho Campos, Alfa Sul.



Figura 3 - Local B: Rua Emilton do Vale Lacerda, Alfa Sul.



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

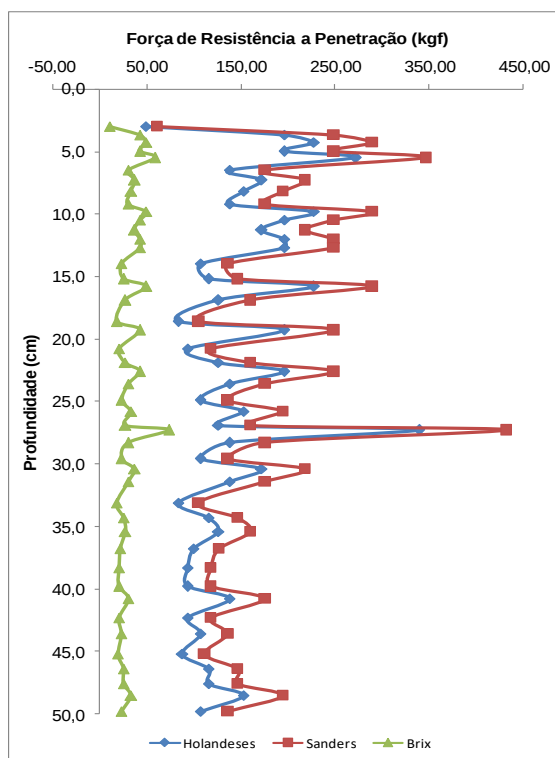
O solo pode ser dividido em três partes, partículas sólidas, água e ar. Estes três elementos compõem fundamentalmente a estrutura física do solo, essas quantidades podem variar por diversos fatores, naturais ou não (PINTO, 2006). Dentro da parte sólida do solo, se encontram todos os materiais minerais e orgânicos, sendo que esta composição traz influências diretas na densidade dos solos, que por sua vez tem influências diretas sobre a resistência a penetração no solo. Nas Figuras 2 e 3 pode-se observar claramente que o local A apresenta menor índice de matéria orgânica comparada ao local B, dessa forma existia previamente a suspeita de diferenças na força de resistência a penetração dos locais A e B, suspeita essa que acabou por ser confirmada por meio das análises de penetração.

A capacidade de resistência de um determinado solo pode ser observada sob alguns aspectos. Um deles é sua estrutura física, ou seja, o arranjo de suas partículas. Com a redução dos espaços internos de água e ar ocorre a compactação do solo, que aumenta sua resistência a penetração, diminui a infiltração de água, podendo ocasionar maior dificuldade para o manejo do solo. A consistência de um solo pode ser relacionada com sua umidade, sendo assim é possível afirmar que o nível de resistência aumenta quando há baixos níveis de umidade, nesse caso aumenta a tensão das partículas de água nos vazios do solo e interação com as partículas sólidas já presentes nele. De forma inversa, o aumento da umidade resulta na diminuição da resistência do solo, tendo como um dos fatores a diminuição do atrito das partículas (CAMARGO e ALLEONI, 1997; ASHBURNER e SINS, 1984; CUNHA *et. al.*, 2002).

O uso da penetração para medir a resistência dos solos já é consolidado no meio de estudos agrônômicos, e para tal é utilizado o penetrômetro de impacto, o mesmo instrumento pode trazer informações relevantes para estudos da área da engenharia civil. Essa ferramenta consiste em uma haste com ponta cônica de 30°, a qual é utilizada para a penetração do solo por meio de impactos regulares de uma massa padronizada (ASAE, 1999), sendo possível assim a coleta de dados relativos à compactação de suas camadas e sua resistência. O penetrômetro de impacto dinâmico apresenta os valores de resistência à penetração da haste por meio da queda livre de uma massa de peso conhecido (STOLF, 1983).

Os valores apresentados pelo gráfico da Figura 04 foram coletados no local A, referente a uma altura de queda de 0,50 metros da massa M.

Figura 4 - Força de Resistência a Penetração do solo no local A utilizando 0,5 metros de altura de queda da massa.



. Como pode-se observar na Figura 4, o gráfico apresenta um padrão bem inconstante das forças de resistência do solo em relação à profundidade penetrada, no entanto é possível constatar que há uma redução dos valores de resistência do solo com o aumento da profundidade. O local A se trata de uma área seca, sem matéria orgânica aparente, como citado anteriormente, e que mostra traços de alguma compactação mecânica, o que explica uma maior resistência nas primeiras camadas em relação às inferiores.

Os gráficos da Figura 5, também são referentes ao local A, porém com a altura $h = 0,90$ metros de queda da massa M. Apesar de se tratar da coleta de dados de um mesmo local, é possível analisar algumas questões nos gráficos apresentados. O número de golpes é menor devido ao aumento de h , sendo a profundidade alcançada por cada golpe maior, no entanto permanece o padrão notado no gráfico da Figura 4, com índices muito irregulares de resistência e uma pequena redução dessa resistência nas camadas mais profundas, assim como uma resistência maior nas camadas superiores.

Um ponto chama atenção nos gráficos das Figuras 4 e 5, é que em todos os gráficos é possível observar que a camada com maior resistência a penetração se encontra entre a profundidade de 25 e 30 centímetros, mesmo a coleta sendo feita com diferentes alturas de queda da massa M, comprovando a eficácia da utilização do equipamento para medir a força de resistência a penetração do solo. Pequenas diferenças são aceitáveis visto que foram realizadas medições em pontos diferentes.

Os gráficos presentes na Figura 6 apresenta os valores das coletas do local B, com altura de queda de 0,90 centímetros. Comparando os gráficos das Figuras 5 e 6 é possível notar que existem diferenças na força de resistência a penetração dos locais A e B, possivelmente ocasionada pelas

diferentes composições do solo. Mais uma vez comprovando a eficiência do aparelho em medir variações na resistência a penetração dos solos.

Figura 5 - Força de Resistência a Penetração do solo no local A utilizando 0,9 metros de altura de queda da massa em dois pontos diferentes.

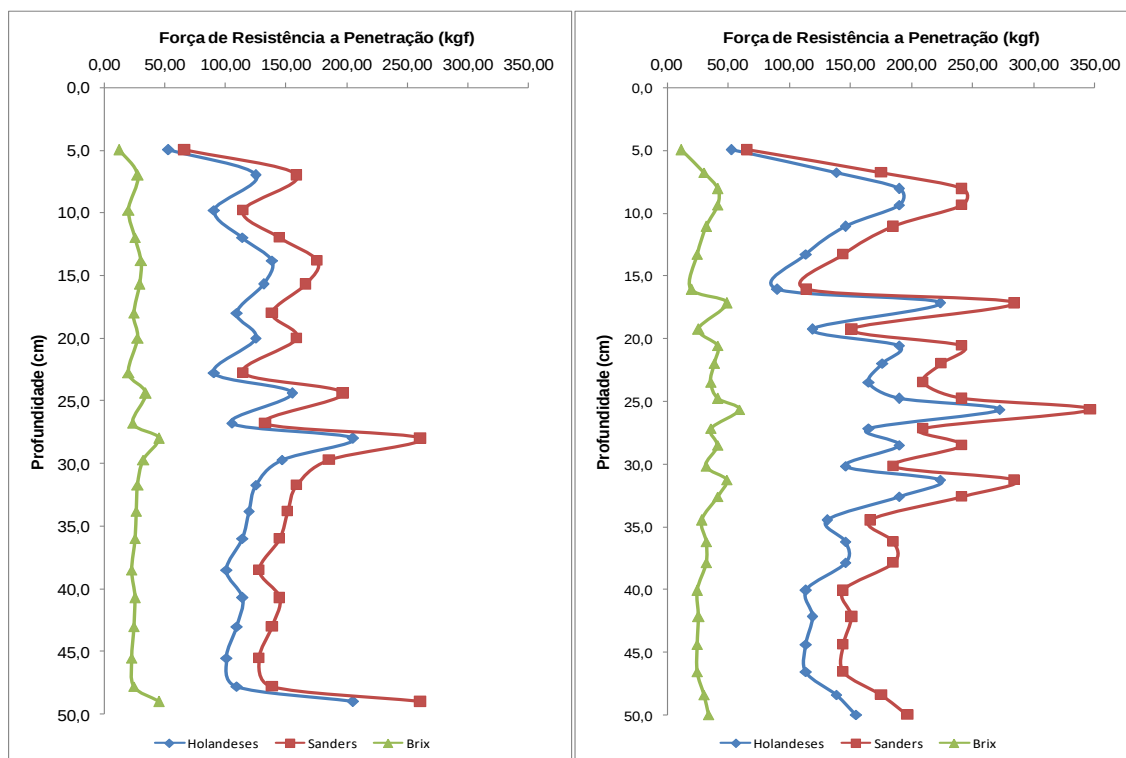
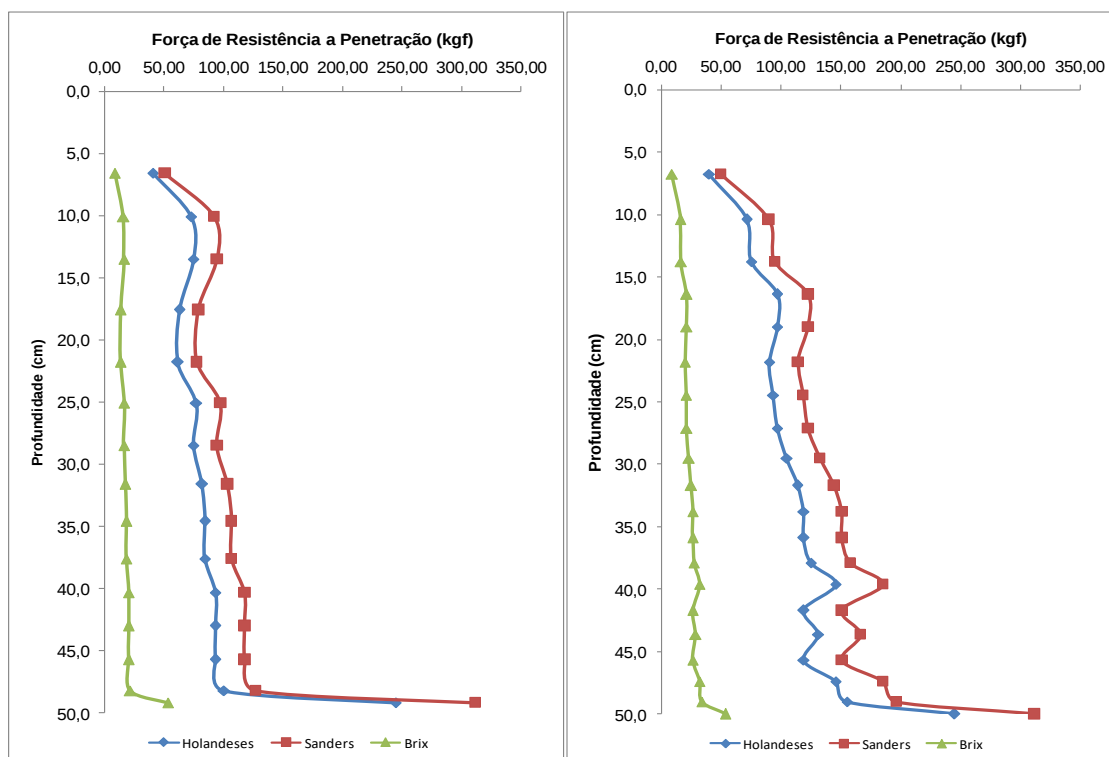


Figura 6 - Força de Resistência a Penetração do solo no local B utilizando 0,9 metros de altura de queda da massa em dois pontos diferentes.



No gráfico da Figura 6 pode-se observar que as primeiras camadas apresentam menor resistência a penetração, e que essa vai aumentando sem grandes oscilações conforme a

V Seminário Científico do UNIFACIG– 07 e 08 de novembro de 2019
 IV Jornada de Iniciação Científica do UNIFACIG – 07 e 08 de novembro de 2019

profundidade aumenta, diferentemente do local A. Essa camada superficial mais fraca se dá pela característica do local B, que apresenta bastante matéria orgânica na sua composição, e por análise visual sem muita compactação e umidade aparente.

Após o emprego das três fórmulas é possível dizer que os resultados encontrados na Fórmula dos Holandeses e na Fórmula de Sanders são relativamente próximos, mas a equação de Sanders apresenta valores maiores, essa superestimação faz a equação dos Holandeses ser a mais utilizada no meio da engenharia civil (STOLF, 1990). A fórmula de Sanders ignora a perda de energia devido ao impacto, o que equivale admitir um choque perfeitamente elástico. A fórmula holandesa ao contrário, considera uma colisão totalmente inelástica, ou seja, o valor máximo de perda de energia na forma de calor para um choque sem deformações permanentes. Considerando o material normalmente utilizado na zona de choque (corpo de impacto e o anteparo de choque) admitir uma colisão inelástica é uma boa aproximação (STOLF, 1990).

Na fórmula de Brix foram obtidos valores discrepantes em relação às outras duas equações de comparação. É uma equação utilizada na Europa, que considera a detenção da massa M após o choque, por meio de uma corda, o que resulta na penetração considerando apenas os valores da energia cinética do próprio corpo. Devido à particularidade dessa equação, é necessário um procedimento especial na operação do equipamento para se obter valores aceitáveis (STOLF, 1990).

4 CONCLUSÃO

Ao fim do presente estudo conclui-se que é possível se obter dados satisfatórios com a elaboração de um equipamento de baixo custo. Além de ser capaz de estudar a resistência das camadas de solo, a viabilidade econômica do aparelho se dá pela possibilidade da reutilização de materiais que seriam descartados, contribuindo ainda com o meio ambiente.

No entanto o equipamento não é voltado para análises de grande porte, visto que o mesmo é usado em profundidades de aproximadamente 50 cm de solo. Trata-se de um modelo baseado no penetrômetro de Stolf, portanto não é fiel ao original, mesmo assim seu uso meio acadêmico se faz interessante, podendo relacionar a prática com a teoria, desde a confecção do aparelho e coleta de dados, até a determinação e análise das resistências das camadas de solo.

Conclui-se que o equipamento pode ser considerado viável e eficiente para a determinação da resistência a penetração dos solos, bem como o mesmo pode ser utilizado para a diferenciação de solos com diferentes resistências a penetração.

5 REFERÊNCIAS

ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Soil cone penetrometer. In: **ASAE Standards 1999: standards engineering practices data**. 46 th ed. St. Joseph, 1999. p.834-835 (ASAE S313.1).

ASHBURNER, J.E.; SIMS, B.G. **Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza**. San José: IICA, 1984. 474 p.

CAMARGO, O.A. de.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1997. 132 p.

CUNHA, J.P.A.R. da; VIEIRA, L.B.; MAGALHÃES, A.C. **Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água**. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.10, n.1-4, p.1-7, 2002.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. EMBRAPA, Rio de Janeiro, 1997.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3. Ed.. Carlos de Sousa Pinto. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

STOLF, R., FERNADES, J. FURLANI NETO, V.L. **Penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf: recomendação para seu uso**. STAB, Piracicaba, v.1, n.3, p.18-23, jan./fev. 1983.

STOLF, R. **Fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em força/unidade de área**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19, 1990, Piracicaba. Anais... v.2, p.823-836.