



Contribuição Para Interpretação do Processo de Sondagens a Percussão Mecanizada Para Projetos de Fundações

Sandro Moreira Braga

Analista em Infraestrutura de transportes/Engenheiro civil, Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT), Fortaleza, Brasil, sandrombraga@yahoo.com.br

Lucas de Aguiar Vieira

Estudante. Faculdade Mauricio de Nassau, Fortaleza, Brasil, lucasav1995@gmail.com

Marcos Fabio Porto de Aguiar

Professor associado, Instituto Federal do Ceara, Fortaleza, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br

Fernando Feitosa Monteiro

Professor assistente, Universidade Estadual do Maranhão/UNICHRISTUS, Fortaleza, Brasil, fernando.monteiro@unichristus.edu.br

Evandro Studart da Fonseca

Engenheiro Civil, Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT), Fortaleza, Brasil, evandro.filho@dnit.gov.br

RESUMO

O presente artigo apresenta os resultados de ensaios Standart Penetration Test (SPT) realizados pelo processo manual e mecanizado, necessários para construção de passarelas de pedestres sobre as Rodovias Federais do DNIT/CE, com o intuito de comparar os dados entre os valores de N_{SPT} obtidos, assim como suas correções de energia, variações das tensões admissíveis do solo, parâmetros relacionados com a deformabilidade e a resistência em função da profundidade da sondagem. Foram realizadas sondagens para a execução de 15 passarelas de pedestres sobre as Rodovias Federais do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, no estado do Ceará, totalizando 127 ensaios SPT realizados em sondagens a percussão, sendo 82 ensaios de SPT manual (NBR 6484) e 45 ensaios de SPT com martelo automático hidráulico, de queda livre, nas perfurações mecanizadas. O presente estudo concentra-se nos dados obtidos na passarela n°18. Os dados analisados de SPT manuais (SP.01, SP.02, SP.03, SP.04, SP.05 e SP.06) foram correlacionados com dados analisados de SPT mecanizados (SM-25D, SM-25M e SM-25E).

PALAVRAS-CHAVE: Sondagem, SPT, SPT mecanizado

ABSTRACT

This article presents the results of SPT tests carried out by the manual and mechanized process, necessary for the construction of pedestrian overpasses on the Federal Highways of DNIT/CE, in order to compare the data between the obtained N_{SPT} values, as well as their corrections of energy, variations in allowable soil stresses, parameters related to deformability and strength as a function of drilling depth. Surveys were carried out for the execution of 15 pedestrian bridges over the Federal Highways of the National Department of Transport Infrastructure - DNIT, in the state of Ceará, totaling 127 SPT tests performed in percussion surveys, 82 of which were manual SPT tests (NBR 6484) and 45 SPT tests with hydraulic automatic hammer, free fall, in mechanized drilling. The present study focuses on the data obtained on catwalk n°18. The analyzed data from manual SPT (SP.01, SP.02, SP.03, SP.04, SP.05 and SP.06) were correlated with data analyzed from mechanized SPT (SM-25D, SM-25M and SM-25E).

KEYWORDS: Probing, SPT, mechanized SPT

1 Introdução



Não há como desenvolver projetos de fundações e de geotecnia em geral sem fazer investigações de campo. Nesse contexto, o SPT, com sua simplicidade e robustez, tem-se mostrado suficientemente eficiente, tornando-se não só no seu país de origem, mas também no Brasil, um ensaio de uso corrente nas obtenções de parâmetros necessários a tais projetos. (BELICANTA, 1998)

Em contrapartida ao método de execução manual do ensaio SPT, em 1997 foi introduzido no Brasil o uso de equipamentos mecanizados, buscando maior rapidez, praticidade e confiabilidade do ensaio, uma vez que diminuiria a influência de fatores humanos em sua realização. Esta nova situação gerou a necessidade de avaliação da correspondência entre os resultados dos ensaios tradicionais, realizados manualmente, e os resultados dos ensaios mecanizados, principalmente no que se refere à sua principal aplicação, ou seja, no estudo da capacidade de carga de fundações. (HACHICH, et al., 2006)

O conhecimento acerca das características do solo afeta diretamente na escolha da fundação adequada para aquele terreno devido a investigação geotécnica uma etapa essencial nesta tomada de decisão. Dentre as vantagens do SPT, destacam-se: o seu baixo custo, facilidade na execução e a obtenção de parâmetros cuja eficiência já fora avaliada, apesar das limitações, a falta de conformidade as normas por parte de alguns executores do ensaio, ele continua sendo o mais utilizado no Brasil e no mundo. O advento da nova norma para sondagens de simples reconhecimento SPT que agora abrange e regula também o SPT mecanizado amplia a importância do estudo do SPT mecanizado para que seu uso seja enquadrado nos preceitos da norma e utilizado de forma ainda mais eficaz no estudo geotécnico.

2 METODOLOGIA

2.1 Sondagem SPT Manual

As sondagens do tipo SPT manual foram executadas nos pontos de locação dos pilares utilizados para o cálculo das fundações da passarela número 18. Para passarela número 18 foram executados 6 furos de sondagem SPT manual.

O ensaio SPT manual foi realizado da seguinte forma: Primeiro foi usado o trado concha de 4” ao se constatar o nível da água ou material impenetrável ao trado concha, o furo foi revestido com tubo de aço de 2 1/2” e prosseguisse com avanço por circulação de água. A amostragem foi feita cravando um amostrador padrão com tubo de diâmetro interno de 1 3/8” e diâmetro externo de 2”. O ensaio foi executado a cada metro perfurado seguindo os parâmetros de equipamento e execução ditados pela norma da ABNT (2001).

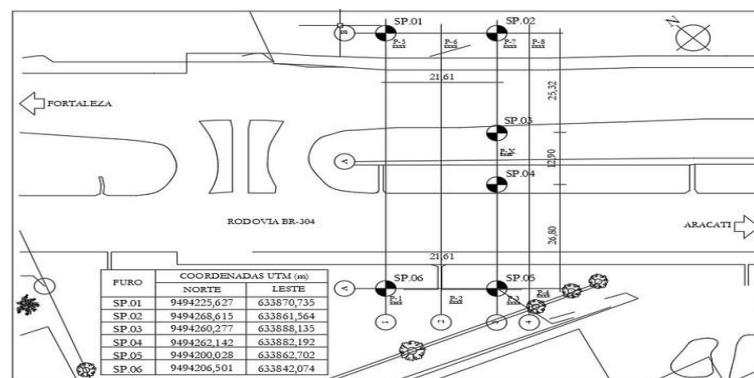


Figura 1 – Planta de locação dos furos para o SPT Manual, Fonte: Volume 3A – Estudos geotécnicos passarela 18 – Aracati/CE

2.2 Sondagem SPT Mecanizado

As sondagens do tipo SPT mecanizado foram realizadas com os furos de sondagem localizando-se ao um ao centro e os outros dois um de cada lado da rodovia. Para a passarela número 18 foram realizados três ensaios de sondagem do tipo SPT mecanizado.

Para as sondagens SPT mecanizado na passarela número 18 foi utilizado a sonda rotativa modelo RL48L de avanço hidráulico, utilizando: coroa de widia de diâmetros 101/86 mm para os solos e coroa diamantada de

diâmetro 86/76 mm para rocha, barrilete simples para perfuração em solos e barrilete duplo para rocha. As amostras do ensaio SPT mecanizado foram coletadas a cada metro de profundidade da amostragem. Os índices de penetração foram obtidos pela cravação do amostrador padrão através de quedas do martelo padronizado com massa de ferro de 65 kg caindo da altura de 75cm, até atingir a penetração de 45 cm, anotando-se o número de golpes necessários para cravação de cada 15cm do amostrador padrão. O barrilete simples tem um comprimento livre de 1,5 m e o barrilete duplo possui comprimento livre de 3 m. O furo foi revestido com tubos de aço de diâmetro interno de 101/86 mm.

2.3 Correlação Energética

Foram realizados três ensaios SPT com três equipamentos mecanizados diferentes em Maracanaú-CE, assim fazendo-se necessária a devida correlação de energia preconizada pela ABNT (2001). A medição de energia foi realizada através do equipamento “Analisador de SPT” fabricado pela Pile Dynamics, Inc. O analisador de SPT utilizado atende aos preceitos preconizados pela norma ASTM D4633 (2016) e conta com conversor analógico-digital de 24 bits, com frequência de amostragem de 5,12 MHz. O equipamento possui dois canais de aquisição de dados para aceleração e dois canais de aquisição de dados para força, com frequência efetiva de amostragem de 100 KHz e tamanho de amostras de 15 k. No topo da haste metalizada é acoplado um segmento de 70cm de haste instrumentada, padrão AW, número de série 388 AW e com área de calculada em 7,9cm². Esta haste também é fabricada pela Pile Dynamics, Inc e possui 2 transdutores de força incorporados (388 AW-1 calibração de 207,27 µE/volt e 388 AW-2 calibração 206,49 µE/volt) diametralmente opostos com intuito de compensar os efeitos de flexão da haste quando da aplicação dos golpes do martelo. As medidas de aceleração de partículas foram feitas através de dois acelerômetros piezo-resistivos instalados diametralmente opostos por meio de parafusos na haste instrumentada 388 AW. Os acelerômetros também são fabricados pela Pile Dynamics, Inc com número de série K3727 com calibração 385 mV/5000g e K3728 calibração 380 MV/5000 g.

A instrumentação dinâmica foi realizada ao longo da aplicação das series de 3 golpes para provocar a penetração do amostrador-padrão do SPT. No caso do equipamento Rolatec RL 48L foi adotado o padrão recomendado pela ASTM D4633 (2016) que especifica que a medida de energia do sistema é mais confiável quando a profundidade inicial da sondagem é de 9 m. A ASMT D4633 (2016) especifica que se faça no mínimo medidas em 3 profundidades sendo preferível executar as medidas em 5 profundidades.

Desse modo as sondagens mecanizadas as medições de energia dos golpes para a penetração dos três segmentos de 15 cm a partir de uma profundidade de 9 m até 13,45 m de profundidade. Segundo a ASTM D4633 (2016) as medidas dos golpes para a penetração dos primeiros 15 cm devem ser desprezados. Portanto, as medidas de energia aconteceram nos golpes para obterem o valor de N_{spt} , ou seja, os dois últimos 15 cm. A figura dois apresenta a propagação de ondas do ensaio mecanizado.

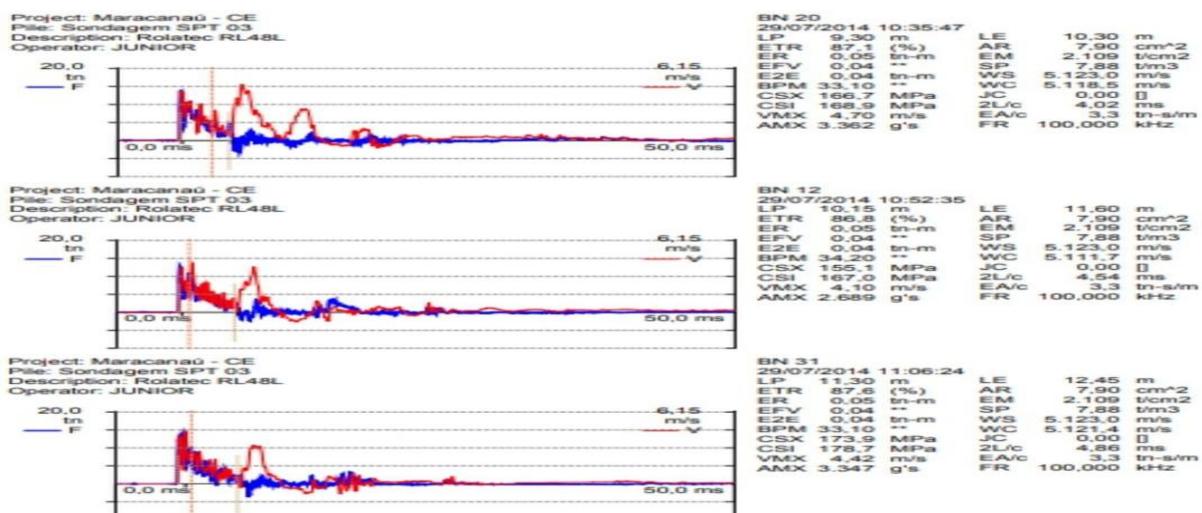


Figura 2 – Propagação de ondas – Prof. De 9,0 m a 13,45 m – Rolatec RL 48L, Fonte: Consórcio Hollus/Astep

3 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

3.1 Perfis de Sondagem Manual e Mecanizado

Os dados obtidos através dos ensaios SPT manual e SPT mecanizado da passarela número 18 foram alocados nos gráficos abaixo, estes ensaios realizados de acordo com a norma ABNT (2001)

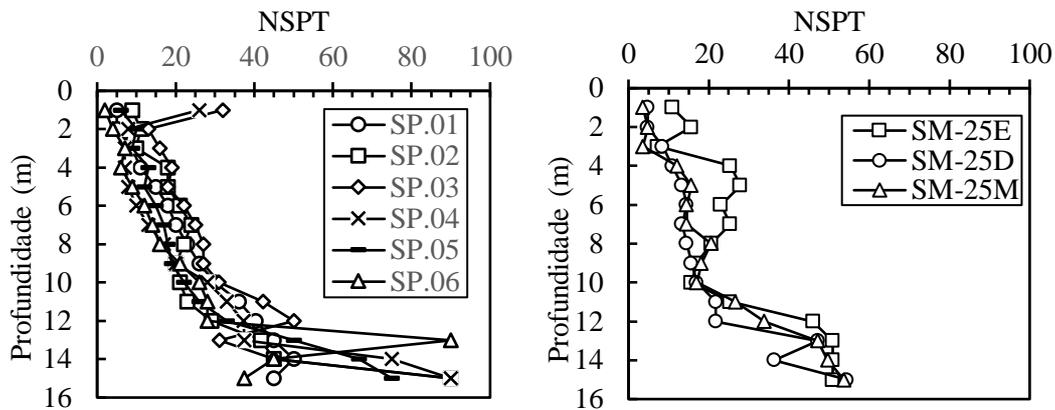


Figura 3 - Variação dos valores de N_{spt} para o SPT manual e SPT mecanizado em função da profundidade

3.2 Correlação dos valores N_{spt} do SPT manual e SPT mecanizado

Os dados obtidos através dos SPT manuais (SP.01, SP.02, SP.03, SP.04, SP.05 e SP.06) foram correlacionados aos dados analisados dos SPT mecanizados (SM-25D, SM-25M e SM-25E), para a passarela número 18. Desse total, 145,26 m são comparações diretas do valor de N_{spt} entre as sondagens mecanizadas e manuais. As figuras 4, 5 e 6 apresentam algumas das correlações obtidas entre os ensaios. Os gráficos expressam como foi o processo matemático utilizado para se chegar as correlações exibidas na tabela 1

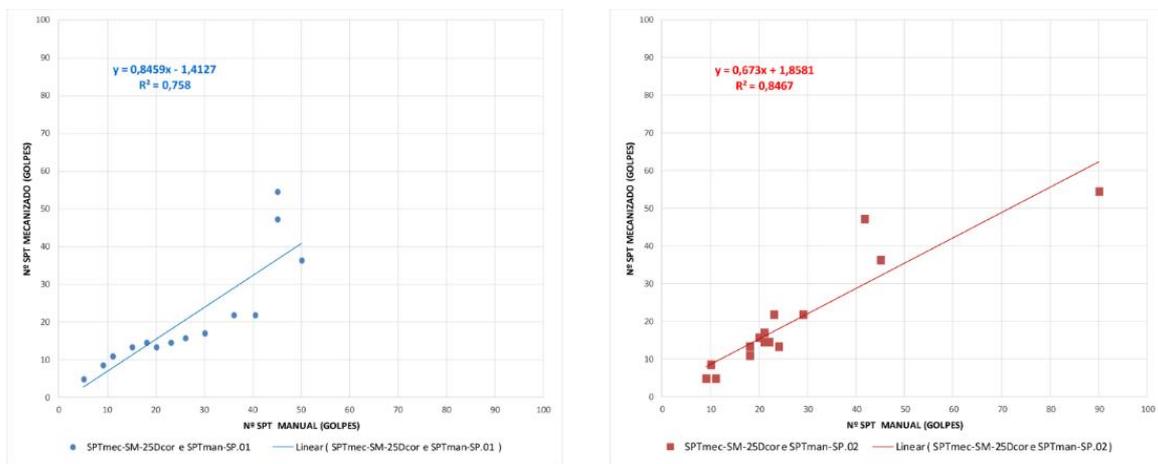


Figura 4 - Correlações entre o NSPT mec. SM-25D com os NSPT man. SP.01 e SP.02

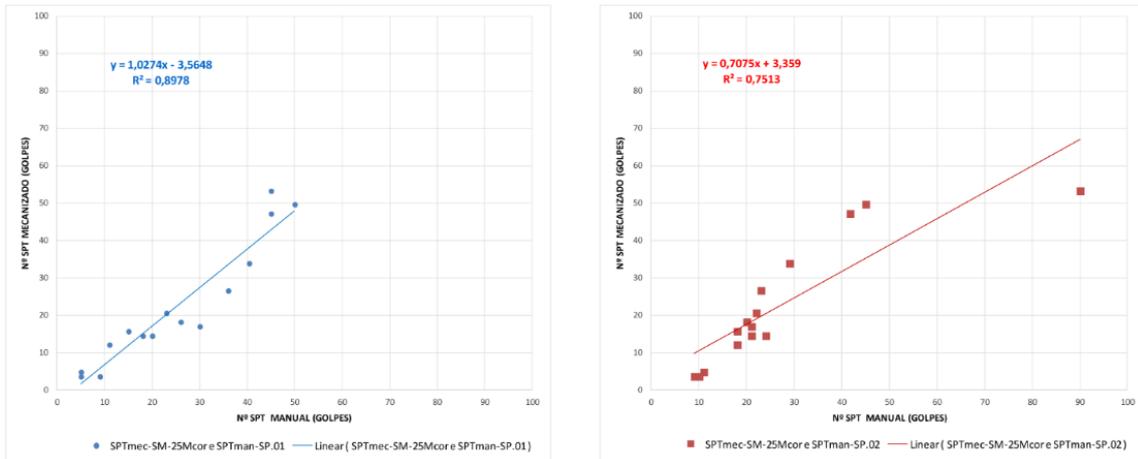


Figura 5 - Correlações entre o NSPT mec. SM-25M com os NSPT man. SP.01 e SP.02

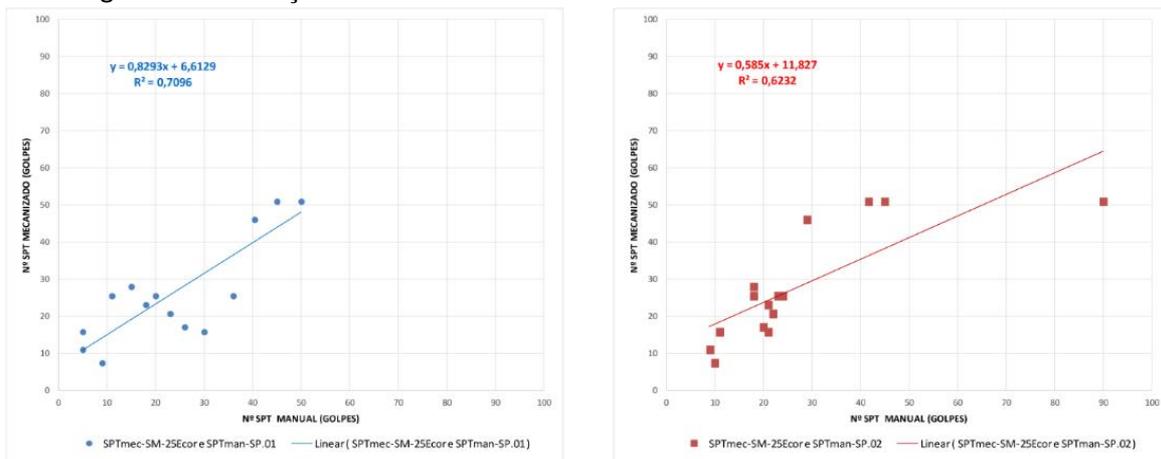


Figura 6 - Correlações entre o NSPT mec. SM-25E com os NSPT man. SP.01 e SP.02

Segundo os valores do coeficiente de correlação (R^2) de Pearson, obtidos com as correlações acima, entre os ensaios de SPT manual e os mecanizados, foram obtidos os valores de determinação (R) e classificados, conforme a tabela abaixo

Tabela 1 - Correlação entre os ensaios SPT manual e mecanizado através dos índices de correlação (R^2) e determinação (R) e sua classificação

| Quant. | OAE | Correlações | R^2 | R | Classificação |
|--------|------------------------|----------------|--------|--------|---------------|
| 1 | PASSARELA 18 - ARACATI | SM-25D e SP.01 | 0,7580 | 0,8706 | Forte |
| 2 | | SM-25D e SP.02 | 0,8467 | 0,9202 | Fortíssima |
| 3 | | SM-25D e SP.03 | 0,6042 | 0,7773 | Forte |
| 4 | | SM-25D e SP.04 | 0,7250 | 0,8515 | Forte |
| 5 | | SM-25D e SP.05 | 0,9044 | 0,9510 | Fortíssima |
| 6 | | SM-25D e SP.06 | 0,7062 | 0,8404 | Forte |
| 7 | | SM-25M e SP.01 | 0,8978 | 0,9475 | Fortíssima |
| 8 | | SM-25M e SP.02 | 0,7513 | 0,8668 | Forte |
| 9 | | SM-25M e SP.03 | 0,5942 | 0,7708 | Forte |
| 10 | | SM-25M e SP.04 | 0,7602 | 0,8719 | Forte |
| 11 | | SM-25M e SP.05 | 0,9232 | 0,9608 | Fortíssima |
| 12 | | SM-25M e SP.06 | 0,6740 | 0,8210 | Forte |
| 13 | | SM-25E e SP.01 | 0,7096 | 0,8424 | Forte |
| 14 | | SM-25E e SP.02 | 0,6232 | 0,7894 | Forte |
| 15 | | SM-25E e SP.03 | 0,4456 | 0,6675 | Média |
| 16 | | SM-25E e SP.04 | 0,5688 | 0,7542 | Forte |
| 17 | | SM-25E e SP.05 | 0,7744 | 0,8800 | Forte |
| 18 | | SM-25E e SP.06 | 0,5647 | 0,7515 | Forte |

3.3 Correção de energia dos valores de N_{spt}

Os perfis de sondagem mecanizada e manual apresentados nesse artigo foram corrigidos com base no padrão internacional do N_{spt}, 60. Foi adotado o valor de 72% de eficiência para o N_{spt} manual segundo (Décourt, 1989) e para o N_{spt} mecanizado foi utilizado a média dos valores de ETR (Energy Transfer Ratio) apresentados na figura 2 que são os coeficientes de calibração correspondendo a 87,3% de eficiência para o N_{spt} mecanizado.

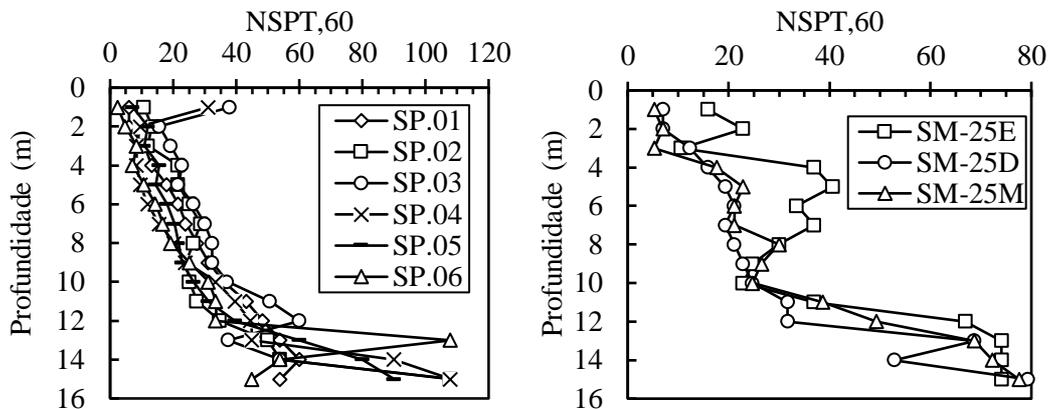


Figura 7 - Correção energética dos valores de N_{spt} para os SPT manual e SPT mecanizado em função da profundidade

3.4 Tensão Admissível

Através da utilização de expressões empíricas aplicadas aos resultados de N_{spt} obtidos dos relatórios de sondagens é possível obter a tensão admissível do solo, para toda profundidade ensaiada

$$\text{Areias} \rightarrow \sigma_{adm} = \frac{N}{4 + \gamma \cdot h} \quad (1)$$

$$\text{Argilas} \rightarrow \sigma_{adm} = \frac{N}{6 + \gamma \cdot h} \quad (2)$$

Para a utilização das equações citadas, o valor do peso específico dos solos (γ), em tf/m^3 , foi tomado como função do índice de penetração do N_{spt},60, e o valor “h” corresponde a profundidade dos pontos estudados, em metros. O valor resultante dessa equação para a σ_{adm} é dado em tf/m^2 . Contudo os valores obtidos através da equação foram submetidos a conversões matemáticas e plotados nos gráficos da figura 8 em kPa.

Tabela 2 - Valores de pesos específicos em função do N_{spt}, Fonte: Câmara e Pereira, 2005

| Solos Arenosos | | | | | | |
|-----------------------------|------|--------|---------|---------|---------|-----|
| N _{spt} | <4 | 4 – 10 | 10 – 30 | 30 – 50 | >50 | --- |
| γ (t/m^3) | <1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | --- |
| Solos Argilosos | | | | | | |
| N _{spt} | <2 | 2 – 4 | 4 – 8 | 8 – 15 | 15 – 30 | >30 |
| γ (t/m^3) | --- | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,8 |

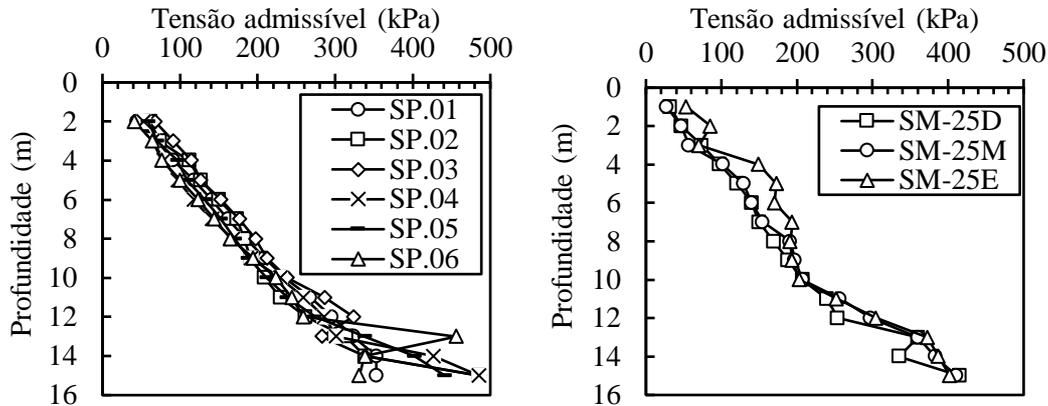


Figura 8 - Valores da tensão admissível em função da profundidade para o SPT manual e SPT mecanizado

3.5 Densidade Relativa

Quanto a determinação dos parâmetros relacionados com a deformabilidade dos solos estudados temos a equação de Skempton (1986) para a densidade relativa (D_r).

$$D_r = \left(\frac{N_{spt,60}}{0,28 \times \sigma'_{vo} + 27} \right)^{1/2} \quad (3)$$

Onde: σ'_{vo} = Tensão vertical efetiva (kn/m^2)

N_{spt} = Valor obtido pelo ensaio

D_r = Densidade relativa

Os valores obtidos foram alocados nos gráficos abaixo.

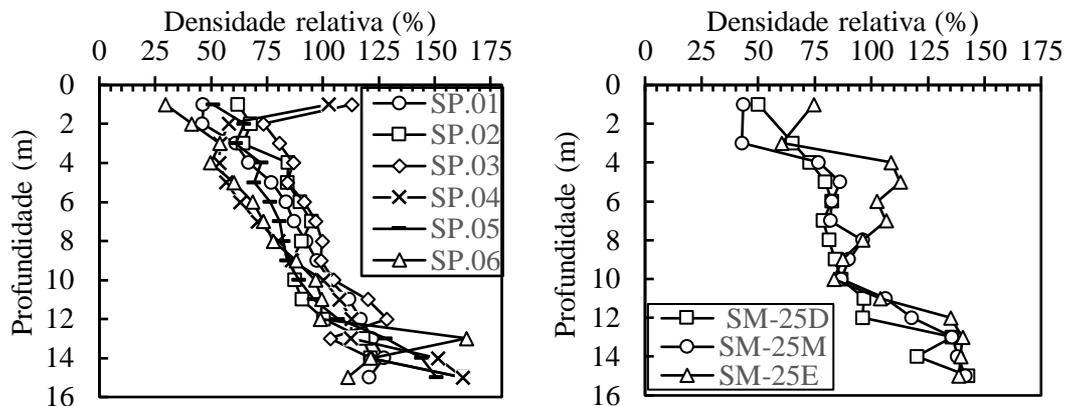


Figura 9 - Valores da Densidade Relativa(D_r) em função da profundidade do SPT manual e SPT mecanizado

3.6 Ângulo de Atrito

Quanto a resistência dos solos estudados tendo em vista que todos os solos estudados eram granulares foi calculado o ângulo de atrito por este ser uma forma confiável de se medir a resistência desse tipo de solo. Esta pesquisa utilizou a equação de Hatana e Uchida (1996) para obtenção do ângulo de atrito.

$$\hat{\text{Ângulo de atrito}} \sim 20^\circ + \sqrt{15,4 \times N_{spt}} \quad (4)$$

Os resultados obtidos foram alocados no gráfico abaixo.

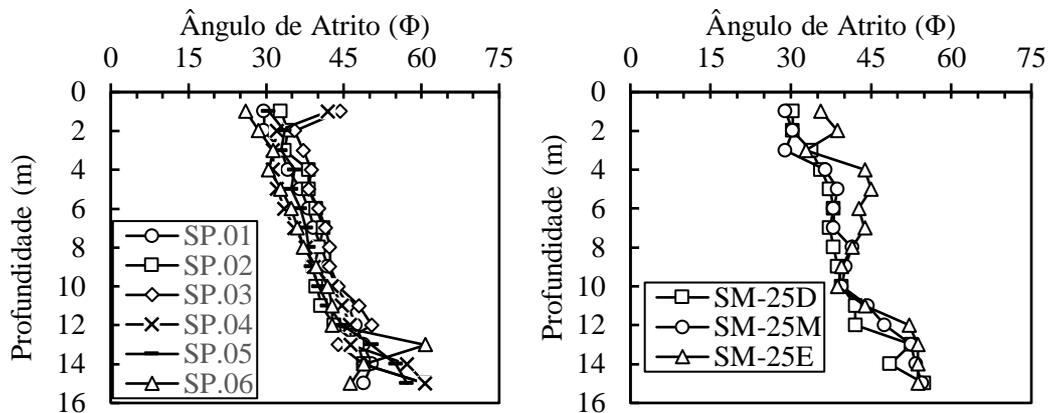


Figura 10 - Valores do Ângulo de atrito em função da profundidade para o SPT manual e SPT mecanizado.

4 Conclusão

A presente apresentou os resultados de três ensaios SPT mecanizados em relação a seis ensaios SPT manuais de modo a comparar e analisar os dados obtidos com ambos para entender as correlações existentes e o comportamento de cada sondagem.

Através dos testes feitos por esta pesquisa se constatou que com base na correlação feita entre o índice de correlação (R^2) e determinação (R) obteve-se um resultado de 94% entre forte e fortíssima evidenciando a similaridade dos valores de ambas as sondagens para além disso também foi possível concluir que os valores de tensão admissível, densidade relativa (D_r) e ângulo de atrito (ϕ) em função da profundidade apresentaram comportamento semelhante nos resultados.

Os dados obtidos pela pesquisa mostram que as duas metodologias de investigação geotécnicas apresentam uma correlação elevada com evidências acerca da eficiência desta nova metodologia de investigação, bem como da convergência em relação as respectivas correlações entre índices de resistência a penetração (N_{spt}) permitindo a utilização de qualquer uma delas do ponto de vista técnico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001). NBR 6484. Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 6484. Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- Câmara, K.R.R.; Pereira, A.C. (2005) *Análise de perfis de sondagem spt e caracterização geotécnica de solos do município de natal*. Artigo. Curso Superior de Tecnologia em Produção na Construção Civil (CEFET-RN).
- Hachich, W., et al. (2006) Comparação de N_{spt} entre os processos manual e mecanizado. *Publicado nos anais do XIII COBRAMSEG*. Curitiba.
- Belicanta, A. (1998) *Avaliação dos fatores intervenientes no índice de resistência à penetração do SPT*. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo.