

Influência da Velocidade de Rotação no Ensaio SPT-T em Diferentes Tipos de Solos

Rômulo Rondelo Nuñez

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, Brasil, romulornunez@hotmail.com

Thiago Teixeira de Castro Piovan

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, Brasil, thiagopiovan@gmail.com

Anna Sílvia Palcheco Peixoto

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, Brasil, anna@feb.unesp.br

RESUMO: Um dos principais objetivos do ensaio SPT está relacionado à previsão da capacidade de carga das fundações. Stelvio Ranzini propôs a utilização de um torquímetro, no lugar da tradicional chave de grifo, para romper a adesão entre o solo e o amostrador, logo após a aplicação dos golpes do N. O torque assim obtido pode ser utilizado para complementar o cálculo da parcela de atrito lateral em um projeto de fundações. A nova proposta de revisão da norma brasileira sugere a medida do torque no ensaio SPT de maneira opcional. Para tanto é necessário um estudo específico sobre a velocidade de rotação para definir o intervalo de variação da mesma e sua influência na medida do torque. Dessa maneira, foram utilizados os dados de 426 dados de sete campos experimentais com diferentes características geotécnicas. Foram avaliadas as variações das velocidades de rotação visualizando-se uma possível existência de padrões dos valores em um determinado fator de influência, seja ele o N do SPT, a relação $T_{\text{máx}}/N$ e o tipo de solo. Também foram calculados os impulsos angulares que levaram ao torque máximo e residual em cada uma das curvas torque versus ângulo de rotação. Como conclusão geral, as velocidades de rotação obtidas para os ensaios chegaram a um valor médio 6,5 rotações por minuto, com uma variação em torno de 5 e 8rpm, sendo que esses valores extremos não afetaram a medida do torque em função da precisão do equipamento analógico, que é de 20N.m.

PALAVRAS-CHAVE: SPT-T, Medida do torque, Velocidade de rotação, Impulso angular.

1 INTRODUÇÃO

Em toda obra de engenharia acontece uma interação entre sua estrutura com o maciço de solo ou rocha. Devido a isso, existe a necessidade de se fazer ensaios para a investigação do subsolo. As Sondagens de Simples Reconhecimento têm por objetivo identificar as características das camadas de solo existentes no subsolo e o índice de resistência N, que é um parâmetro de resistência do solo.

Os estudos relacionados com as Sondagens de Simples Reconhecimento existem desde

1902, quando Charles R. Gow introduziu o processo de cravação de uma haste de 2,54 cm, com um martelo de 50 kg, substituindo o sistema de obtenção de amostra de solo através da perfuração com água.

Na década de 30, Fletcher & Morh introduziram um martelo de 63,6 kg, com altura de queda de 76,2 cm e o resultado seria o número de golpes necessários à cravação do amostrador por 30,48 cm dentro do solo. (Belincanta, 1998).

A falta de padronização provocou o surgimento de diversos equipamentos, bem como diferentes procedimentos, causando uma

grande diversidade dos resultados. Desta maneira, a sondagem passou por um período de descrédito.

Atualmente, o ensaio SPT (Standart Penetration Test) deve ser executado segundo a ABNT NBR 6484 (2001), a qual está passando por um processo de revisão.

O ensaio SPT-T (*Standard Penetration Test with Torque Measurements*) foi proposto por Ranzini (1988) com a finalidade de medir o atrito-adesão desenvolvido na interface solo-amostrador. Depois de cada ensaio SPT uma chave de grifo é usada para romper a adesão entre o solo e o amostrador. Para tanto, Peixoto & Carvalho (2014) recomendam o seguinte procedimento: imediatamente após a cravação do amostrador, se coloca um torquímetro com a ajuda de um adaptador acoplado na cabeça de bater. Também, se utiliza um disco centralizador com o propósito de evitar o deslocamento da haste, sendo que o mesmo pode ser inserido na boca do furo ou no revestimento. A rotação deve ser realizada sem interrupção e depois que o torque máximo é obtido continua-se até que seu valor fique constante, quando se tem a leitura do torque residual.

De acordo com Belincanta *et al* (2010), aplica-se o momento de torção e observa-se atentamente o amostrador analógico para obter-se o valor do torque máximo ($T_{m\acute{a}x}$). Depois de atingido o torque, máximo, ininterruptamente deve-se continuar a rotação do conjunto haste-amostrador por no mínimo mais duas voltas completas, quando então é obtido o valor do torque residual (T_{res}). Terminadas as leituras, devem-se escrever os valores dos torques máximo e residual no boletim de campo. O torquímetro é retirado e o ensaio SPT continua, sendo a medição do torque efetuada a cada metro.

A nova proposta de revisão da norma brasileira NBR 6484 (2001) inclui a medida do torque no ensaio SPT. Assim é necessário um estudo específico sobre a velocidade de rotação para definir o intervalo de variação da mesma e sua influência na medida do torque.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Peixoto (2001) desenvolveu um sistema que possibilitou a obtenção simultânea da medida do torque e sua velocidade de rotação correspondente, resultando em 426 curvas em sete localidades: 20 na Baixada Santista; 61 no Campus da UNESP em Bauru; 85 na Escola de Engenharia de São Carlos - USP; 57 no Campus da UNESP em Ilha Solteira; 34 na Universidade Federal de Lavras (MG); 58 na Escola Politécnica em São Paulo; e 108 na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP. Essas sete localidades foram escolhidas devido as suas diferentes características pedológicas e geomorfológicas (Figura 1).



Figura 1. Mapa com a localização das cidades dos campos experimentais. (sem escala)

Os equipamentos necessários para o ensaio SPT-T são: torquímetro devidamente aferido, adaptadores do torquímetro e disco centralizador das hastes (mantém o topo da composição de hastes centralizado em relação ao tubo de revestimento) (Figura 2).

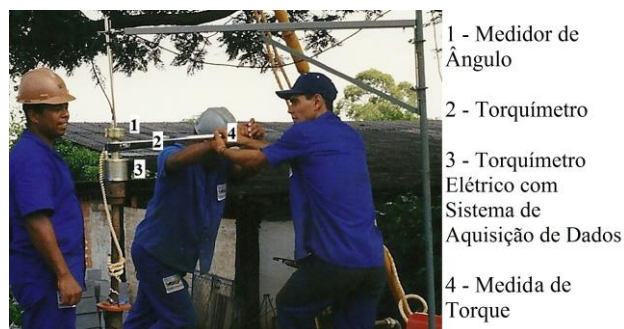


Figura 2. Equipamentos para a medição do Torque.

Em cada ensaio SPT-T de Peixoto (2001) era utilizado um sistema de aquisição de dados. O torquímetro era ligado a um Conversor A/D para transformar o sinal analógico em digital. Este sinal digital é então analisado no computador através do programa *AqDados* que permitia a visualização gráfica dos dados, resultando nas curvas torque (kgf.m) *versus* ângulo de rotação (graus) logo após o término de cada ensaio.

2.2 Métodos

Os ensaios SPT de Peixoto (2001) foram realizados segundo a ABNT NBR 6484 (1980), com pequenas adaptações para o acoplamento dos equipamentos necessários para a medição do torque. Foram utilizados o mesmo equipamento e a mesma equipe de sondagem em todos os ensaios.

Uma composição de hastes foi escolhida para que o torquímetro, ao final do ensaio SPT, ficasse posicionado na altura do cotovelo do operador para que o mesmo pudesse posicioná-lo na horizontal com facilidade, evitando-se uma possível torção. O furo central da cabeça-de-bater passou a ser quadrado, permitindo o encaixe do torquímetro sem que houvesse necessidade de retirada da mesma, evitando-se dessa forma, uma possível torção durante a ação, o que poderia modificar o resultado do ensaio.

Foram utilizados três torquímetros com capacidades máximas e mínimas de 6-27 kgf.m, 10-48 kgf.m e 17-83 kgf.m, respectivamente, que devem ser utilizados abaixo de sua capacidade máxima evitando danos ao equipamento, e acima da capacidade mínima para não afetar sua precisão.

Dessa maneira, ao fim do ensaio SPT, colocava-se um adaptador, o torquímetro elétrico e o torquímetro analógico. Prosseguia-se o ensaio aplicando-se um momento de torção ao conjunto haste-amostrador e media-se o torque máximo necessário para romper a adesão solo-amostrador ($T_{m\acute{a}x}$). Então, sem interrupção, continuava-se a rotação até completar cinco voltas, obtendo-se assim, uma visão do

comportamento da curva. Através do sistema de aquisição de dados, obtém-se diretamente a curva do torque (kgf.m) *versus* ângulo de rotação (graus).

Para cada metro de sondagem executada foram medidos também o teor de umidade (w) da amostra, a temperatura ambiente e a contagem do tempo, podendo-se assim calcular a velocidade de rotação.

3 ANÁLISES E RESULTADOS

Em cada gráfico torque *versus* ângulo de rotação, exemplificado na Figura 3, a velocidade correspondente ao torque máximo ($V_{Tm\acute{a}x}$) foi calculada considerando-se a média de um intervalo de 1 segundo (0,5" antes e 0,5" depois) a partir do torque máximo obtido ($T_{m\acute{a}x}$) (A), observando a frequência de aquisição de dados. A velocidade média do torque residual ($V_{Tres\ med}$) foi obtida pela valor médio entre o primeiro valor referente ao torque residual (B) e o último valor da curva (C).

Campo Experimental da UNICAMP - Profundidade: 8m - 25/03/1999

$T = 32^{\circ}C$ - Velocidade de Rotação = 5,54 rotações/minuto

Umidade = 29,7% - Equipamento 20kgf.m

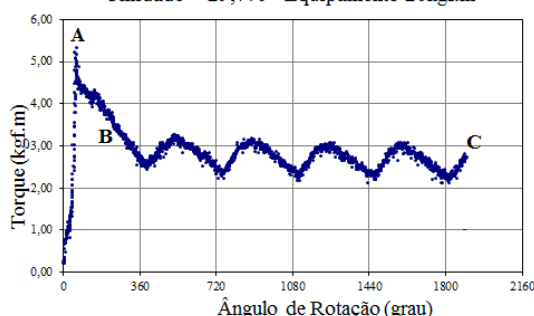


Figura 3. Exemplo de curvas torque *versus* velocidade de rotação. Modificado por Peixoto *et al* (2004).

Com os resultados da compilação dos dados de Peixoto (2001), Figuras 4 a 10, e da metodologia exposta a cima, foram feitas várias relações entre os termos compilados a fim de se avaliar a influência da velocidade de rotação em função do tipo de solo. As relações podem ser observadas na Tabela 1.

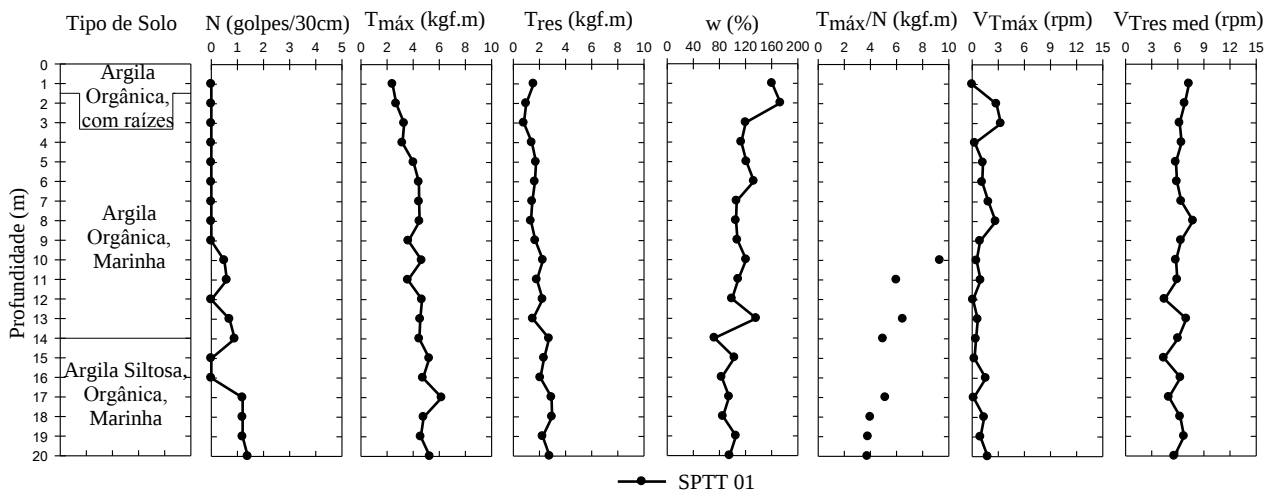


Figura 4. Resultados dos Ensaio SPT-T no Campo Experimental da Baixada Santista (Guarujá).

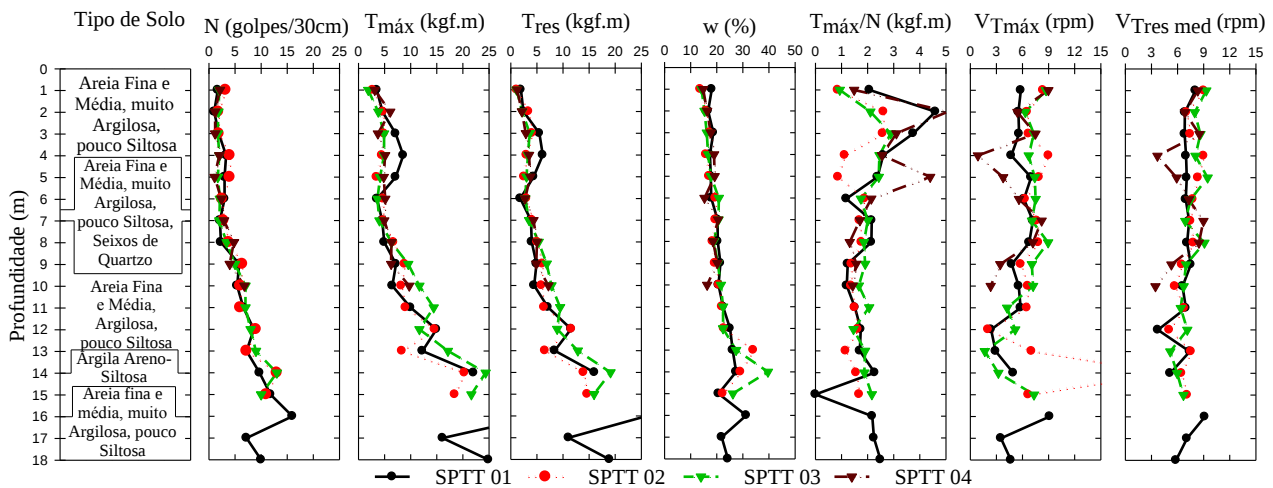


Figura 5. Resultados dos Ensaio SPT-T no Campo Experimental da EESC (São Carlos).

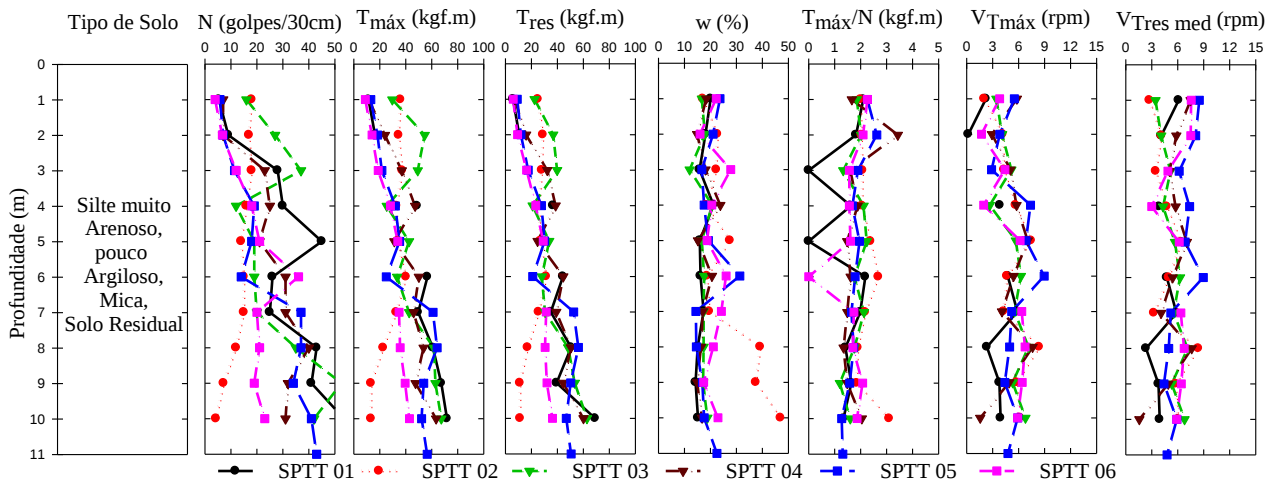


Figura 6. Resultados dos Ensaio SPT-T no Campo Experimental da POLI (São Paulo).

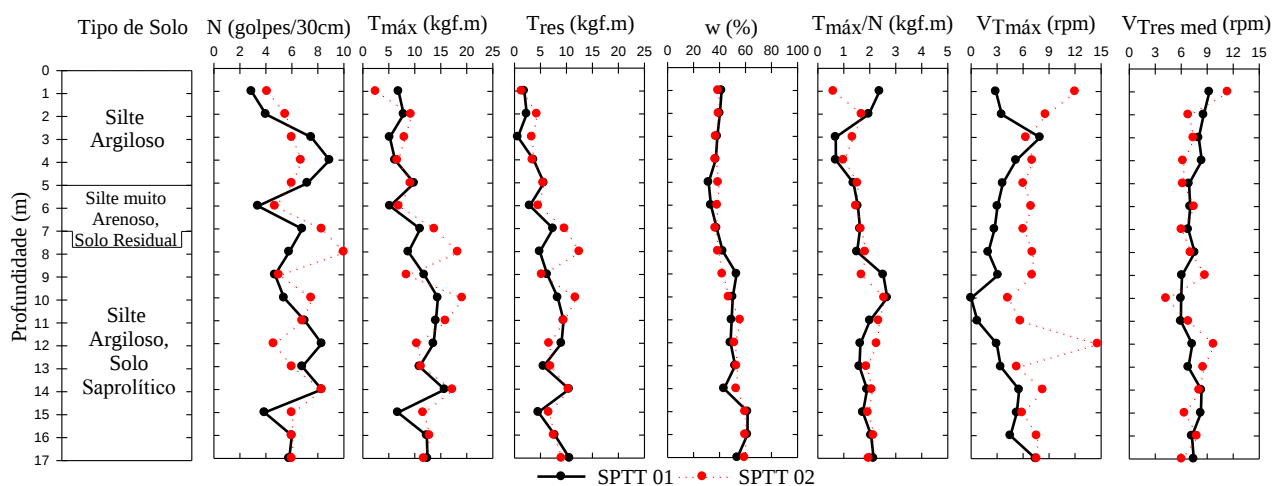


Figura 7. Resultados dos Ensaio SPT-T no Campo Experimental da UFLA (Lavras).

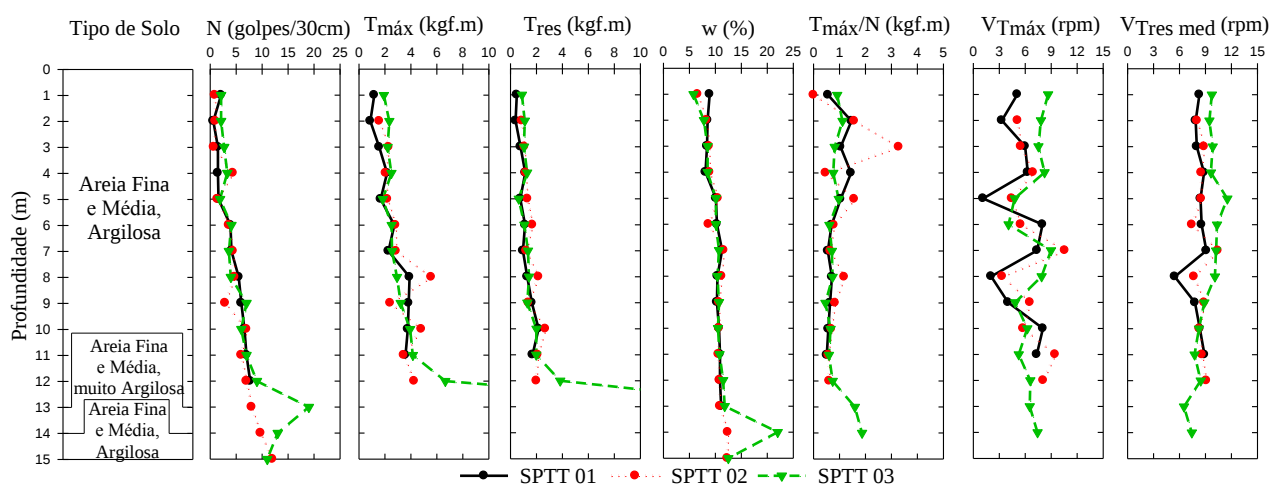


Figura 8. Resultados dos Ensaio SPT-T no Campo Experimental da UNESP (Bauru).

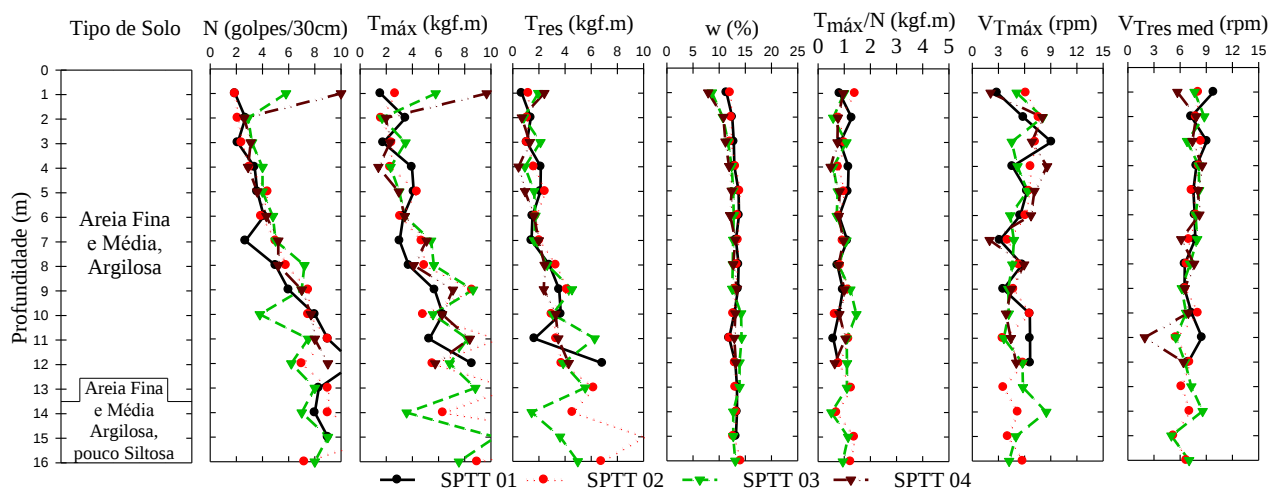


Figura 9. Resultados dos Ensaio SPT-T no Campo Experimental da UNESP (Ilha Solteira).

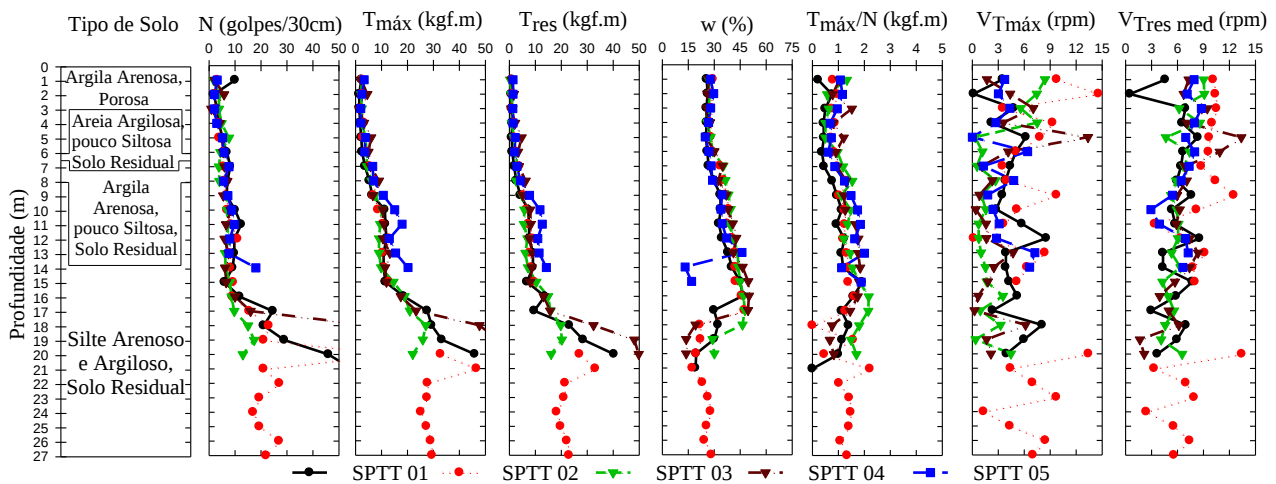


Figura 10. Resultados dos Ensaios SPT-T no Campo Experimental da UNICAMP (Campinas).

Tabela 1. Tendências das relações em função da profundidade.

Relação	Campo Experimental						
	Guarujá	São Carlos	São Paulo	Lavras	Bauru	Ilha Solteira	Campinas
$V_{Tmáx} / V_{Tres\ med}$	-	-	-	-	-	-	-
$T_{máx}/w$	↑	↑	↑	-	-	-	↑
$V_{Tmáx}/w$	-	-	-	-	-	-	-
$T_{res\ med}/w$	↑	↑	↑	-	↑	-	↑
V_{Tmed}/w	-	-	-	↓	-	↓	-
$(T_{máx}/N)/V_{Tmáx}$	-	-	-	-	-	-	-
$(T_{máx}/N)/w$	-	-	-	-	-	-	↑
$V_{Tmáx}/(T_{máx}/N)$	-	-	-	-	-	-	-
$w/(T_{máx}/N)$	-	-	-	-	-	-	-
$(T_{res\ med}/N)/V_{Tres\ med}$	-	-	-	-	-	-	-
$(T_{res\ med}/N)/w$	-	-	-	-	-	-	-
$V_{Tres\ med}/(T_{res\ med}/N)$	-	-	-	-	-	-	-
$w/(T_{res\ med}/N)$	-	-	-	-	-	-	-
$N/V_{Tmáx}$	-	-	-	-	-	-	-
$N/V_{Tres\ med}$	-	-	-	-	-	-	-
$T_{máx}/V_{Tmáx}$	-	-	-	-	-	-	-
$T_{res\ med}/V_{Tres\ med}$	-	-	-	-	-	-	↑
$w/V_{Tmáx}$	-	-	-	-	-	-	-
$w/V_{Tres\ med}$	-	-	-	-	-	-	-
$(T_{máx}/N)/V_{Tmáx}$	-	-	-	-	-	-	-
$(T_{máx}/N)/V_{Tres\ med}$	-	-	-	-	-	-	-
$(T_{res\ med}/N)/V_{Tres\ med}$	-	-	-	-	-	-	-

Nota: ↑ relação aumenta com a profundidade; ↓ relação aumenta com a profundidade; - não há uma tendência.

As velocidades referentes ao $T_{máx}$ sempre foram menores que aquelas correspondentes ao T_{res} . Também se verifica que não houve tendência nas relações envolvendo $V_{Tmáx}$ e $V_{Tres\ med}$. Essa observação indica uma não interferência da velocidade de rotação nos valores de torque uma vez que, nas Figuras 4 a 10, independente da velocidade, o torque manteve uma mesma tendência correspondente à camada.

Piovan e Peixoto (2015) estudaram a influência do impulso angular na medição de

torque no ensaio SPT-T. Destacaram que o impulso angular máximo não acontece no mesmo instante do torque máximo, mas antes deste. Isto acontece porque a força inicial aplicada no torquímetro é absorvida pelo conjunto de hastes antes que ela atinja o amostrador e, em seguida, rompe a adesão solo-amostrador. Na verdade, o intervalo até o torque máximo resulta em baixos valores de impulso angular, justificado por uma velocidade de rotação lenta. Além disso, a velocidade de rotação aumenta após o torque máximo,

resultando em um impulso angular residual. Isso explica a diferença entre $V_{Tmáx}$ e $V_{Tres med}$.

Desta forma, o N com valores maiores que 20, como no Campo Experimental da POLI da Figura 6, mostraram grandes dificuldades de procedimento de teste devido a alta resistência para quebrar completamente a adesão solo-amostrador, levando a uma variabilidade da $V_{Tmáx}$.

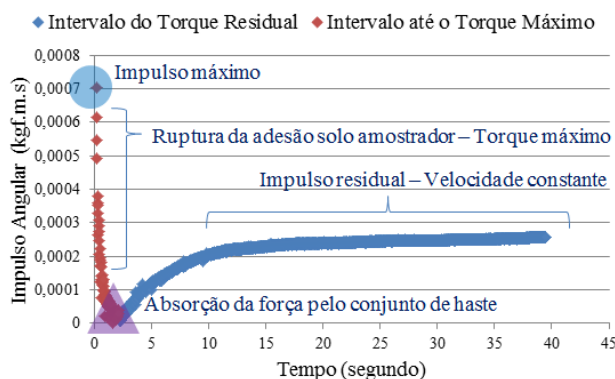


Figura 11. Curva Impulso Angular versus Tempo. Modificado por Piovan e Peixoto (2015).

CONCLUSÃO

Nos sete Campos Experimentais estudados, após a avaliação da influência da relação de $V_{Tmáx}$ e de $V_{Tres med}$ com N, $T_{máx}$, $T_{máx}/N$ e w , se observou que não foi encontrada tendência padrão para as duas velocidades, $V_{Tmáx}$ e $V_{Tres med}$, em função dos parâmetros analisados.

Considerando as velocidades de rotação entre 3 e 9 rpm, o que resulta numa operação confortável a ser realizada pelo técnico colaborador, conclui-se que não há nenhuma influência nas medidas dos torques máximos e residuais.

Conclui-se também que a variação de velocidade de rotação foi devido ao tipo de solo e ao N, o que não interferiu nos valores do torque.

Finalmente, a Associação Brasileira de Normas Técnicas vêm realizando a revisão da NBR 6484 (2001) desde 2013 e a comissão encarregada deve incluir a medição do torque como complementação não obrigatória para o ensaio SPT. Não é apropriado sugerir um valor fixo para a velocidade de rotação, uma vez que

esta está intimamente ligada ao tipo de solo e impulso angular que vai levar ao rompimento da adesão solo-amostrador. Desta forma, embora a variação obtida nos ensaios dessa pesquisa tenham variado entre 3 e 9 rpm, recomenda-se um intervalo menor, entre 5 e 8 rpm.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro processo nº 2013/26750-6, e nº 2005/01953-5 Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Também agradecem ao CNPq pela bolsa de iniciação científica, PIBIC, para o primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001) *Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos*, NBR 6484, Brasil, 17 p.
- Belincanta, A. (1998) *Avaliação de Fatores Intervenientes no Índice de Resistência à Penetração do SPT*, Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Vol 1 e 2, 361p.
- Belincanta, A.; Peixoto, A.S.P. e Miguel, M.G. (2010) *Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT e Torque*, 1 ed., Editora da Universidade Estadual de Maringá (Coleção Fundamentum), Maringá, PR, Brasil, 64p.
- Decourt, L. (1998) A More Rational Utilization of Some Old In Situ Tests, *Geotechnical Site Characterization Proceedings*, Balkema, Atlanta, USA, p. 913-918.
- Peixoto, A.S.P. (2001) *Estudo do Ensaio SPT-T e sua Aplicação na Prática de Engenharia de Fundações*, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas, 468p.
- Peixoto, A.S.P.; Antenor, V.B.; Montanha, R.K.; Oliveira Neto, L. e Nogueira, J.D.F. (2008) Influence Factors In Torque Measurement of SPT-T Test, *International Conference on Site Characterization*, ISC'3, Taipei, Taiwan.
- Peixoto, A.S.P. e Carvalho, D. (2014) Determination of Soil Properties from Standard Penetration Test Complemented by Torque Measurement (SPT-T), *Acta Scientiarum Technology*, v. 36, p. 617-621.
- Peixoto, A.S.P.; Carvalho, D. e Giacheti, H.L. (2004) SPT-T: Test Procedure and Applications, *International Site Characterization*, ISC'2, Porto, Portugal. *Proceedings ISC'2: Geotechnical and Geophysical Site Characterization*, Rotterdam, Millpress, v. 1, p. 359-366.

- Piovan, T.T.C. e Peixoto, A.S.P. (2015) Influence of Angular Thrust in the Measurement of Torque in the SPT-T, *15th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (XV PCSMGE)*, Buenos Aires, Argentina, from *Fundamentals to Applications in Geotechnics*. Amsterdam: IOS Press BV, v. 1, p. 430-437.
- Ranzini, S.M.T. (1988) *SPTF. Solos e Rochas*, 1 ed., v. 11, Brasil, p. 29-30.
- Ranzini, S.M.T. (1994) *SPTF: 2ª parte. Solos e Rochas*, 1 ed., v. 17, Brasil, p. 189-190.
- Soares, J. M. (1999) *Emprego do SPT-T e Pressiômetro Ménard em um Depósito Arenoso da Região Litorânea de João Pessoa*, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 98p.
- Teixeira, A.H. (1993) *Um Aperfeiçoamento das Sondagens de Simples Reconhecimento à Percussão*, Cintra, J.C.A. e Albiero, J.H. (eds.), Solos do Interior de São Paulo, ABMS, São Carlos, p.77-93.