

Interpretação de Resultados de Sondagens SPT-T no Litoral do Nordeste Brasileiro

Tiago Melo Monteiro
Unifor, Fortaleza, Brasil, tiagomelomont@gmail.com

Marcos Fábio Porto de Aguiar
Unifor / IFCE, Fortaleza, Brasil, marcosfpa@hotmail.com

Márcio Bertrand Diniz Nazareth Filho
Unifor, Fortaleza, Brasil, marciobertrand@hotmail.com

Leila Maria Coelho de Carvalho
Unifor, Fortaleza, Brasil, leila.mariacarvalho@hotmail.com

Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Unifor, Fortaleza, Brasil, heberoliveiracivil@hotmail.com

RESUMO: Tendo em vista o aumento do número de construções no litoral do nordeste do Brasil, devido ao crescimento industrial, turístico e também ao crescente potencial das usinas eólicas, surge a necessidade de estudos e investigação do subsolo nessas áreas. Este artigo tem como objetivo estudar o método de sondagem de simples reconhecimento com SPT e torque (SPT-T), bem como analisar os dados de Índice de Torque (T/N), a partir de ensaios SPT-T. O ensaio SPT-T foi idealizado quando sugeriu-se adicionar ao ensaio SPT convencional a medida do torque necessária para rotacionar o amostrador logo após sua cravação. Para este trabalho foi feita a análise de 61 (SPT-T), realizadas no município de Guamaré-RN. Estes resultados foram expostos em planilhas e analisados quanto a variação dos parâmetros: N_{spt} , torque máximo e índice de torque. Para a análise verificou-se a influência da variação dos parâmetros em relação à profundidade e estratigrafia, isto é, tipo e estado do material das camadas prospectadas. Ao final do artigo foi concluído que a compacidade ou consistência do solo são fatores que têm influência direta no índice de torque.

PALAVRAS-CHAVE: Investigação do Subsolo, Sondagem com Medição de Torque, Solos Arenosos, Solos Argilosos, Índice de Torque.

1 INTRODUÇÃO

As regiões litorâneas estão sendo cada vez mais utilizadas para a construção de obras civis. Existe então a necessidade em aprimorar os métodos existentes de caracterização de solos, a fim de obter resultados mais próximos da realidade. Nas obras, sejam elas edificações ou rodoviárias, é necessário ter um conhecimento adequado do solo e, para isso, realizam-se estudos geotécnicos. Assim, identificam-se e classificam-se as diversas camadas do subsolo.

Esses estudos são de fundamental importância para o projeto de fundações, pois é a partir deles que se determinam parâmetros, como a tensão admissível do solo, para o dimensionamento de fundações, sejam superficiais ou profundas.

Dos ensaios de investigação geotécnica, o mais utilizado no Brasil é o ensaio SPT (“Standard Penetration Test”), também conhecido como sondagem de simples reconhecimento com SPT. Este procedimento de penetração dinâmica é capaz de fornecer um perfil do subsolo, além da posição do nível

d'água e o índice de resistência à penetração (N_{spt}) a cada metro. O N_{spt} é determinado através do número de golpes necessários para fazer penetrar os 30 cm finais do amostrador padrão no solo. A metodologia do ensaio é padronizada pela ABNT 2001.

O ensaio de simples reconhecimento com SPT e torque (SPT-T) é um complemento ao ensaio de penetração tradicional, com o auxílio do torquímetro. Assim, ao final de cada metro perfurado pelo ensaio tradicional SPT, é realizada a medição do torque, fornecendo além do número N_{spt} , uma medida de torque em Kgf.m. A sugestão de se medir o torque após a execução do ensaio SPT foi feita por Ranzini (1988) e a introdução desse ensaio na rotina dos serviços de sondagem, assim como o abastecimento das regras básicas para sua interpretação foi feita por Quaresma (1998).

O ensaio SPT-T tem utilidade como elemento de aferição ao SPT convencional, visto que solos contendo camadas com pedregulhos ou rocha podem apresentar valores de N mais elevados que o real, por influência de alguma pedra interferindo no ensaio. Com a medição do torque pode-se aferir se o resultado é coerente ou não. Outra aplicação é a obtenção do atrito lateral através dos dados referentes à adesão-atrito solo-amostrador, dados estes que podem ser utilizados no dimensionamento de estacas.

2 PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO DO SPT-T

Para a realização do ensaio SPT-T, logo após o procedimento de ensaio SPT convencional, ainda com o amostrador dentro do solo, retira-se a cabeça de bater, como ilustrado na figura 01, e a luva com auxílio de uma chave soquete. Em seguida coloca-se o disco centralizador e a luva (figura 2). O disco centralizador tem a utilidade de impedir que a haste se movimente, fato que pode alterar o valor da resistência medida pelo torquímetro.



Figura 1. Cabeça de bater.



Figura 2. Disco Centralizador com luva.

Com a luva na haste encaixa-se de novo a cabeça de bater e nela coloca-se o pino adaptador (Figura 3). O torquímetro é então conectado no pino adaptador. A sequência na haste é disco centralizador, luva, cabeça de bater, pino adaptador e torquímetro, ilustrado na Figura 4.



Figura 3. Cabeça de bater com pino adaptador.



Figura 4. Torquímetro pronto para medição.

A relação entre o valor medido pelo torquímetro em Kgf.m e o valor do N_{spt} é definido como Índice de Torque (T/N). O estabelecimento de correlações estatísticas entre o valor de torque (T) medido em Kgf.m e o valor da resistência à penetração N permite enquadrar os solos em um novo tipo de classificação, onde sua estrutura desempenha papel fundamental (HACHICHI, 1996).

3 ESTUDO DE CASO

Para este trabalho foi feita a análise de 61 sondagens de simples reconhecimento com SPT e torque (SPT-T), realizadas no município de Guamaré-RN. Estes resultados foram expostos em planilhas e analisados quanto a variação dos parâmetros: N_{spt}, torque máximo e índice de torque. Para a análise verificou-se a influência da variação dos parâmetros em relação à profundidade e estratigrafia, isto é, tipo e estado do material das camadas prospectadas.

3.1 Análise de Torque e Índice de Torque com a Profundidade

As figuras 5 e 6 apresentam valores de N_{spt} ao longo da profundidade obtidos para os ensaios 07 e 61. Já as figuras 7 e 8 apresentam a variação do torque máximo com a profundidade para estes mesmo ensaios. Onde no ensaio 07 tem-se areia fofa à compacta até sete metros de profundidade e argila rijas a dura de 7 a 19 metros. Enquanto no ensaio 61 tem-se areia fofa à compacta até nove metros de profundidade e argila rijas a dura de 9 a 16 metros.

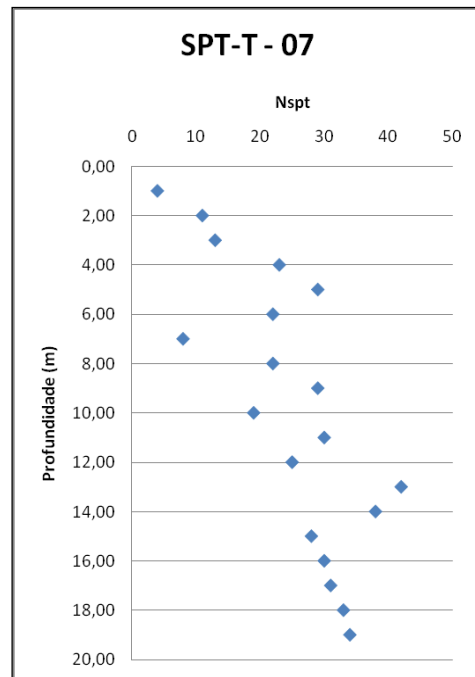


Figura 5. N_{spt} x Profundidade (m), ensaio 07.

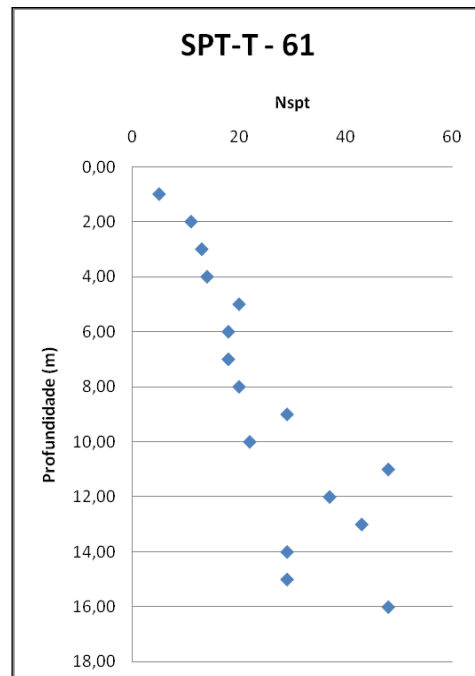


Figura 6. N_{spt} x Profundidade (m), ensaio 61.

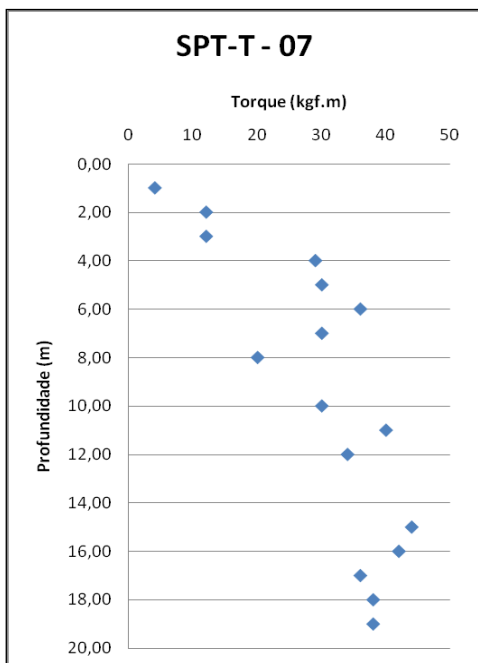


Figura 7. Torque x Profundidade (m), ensaio 07.

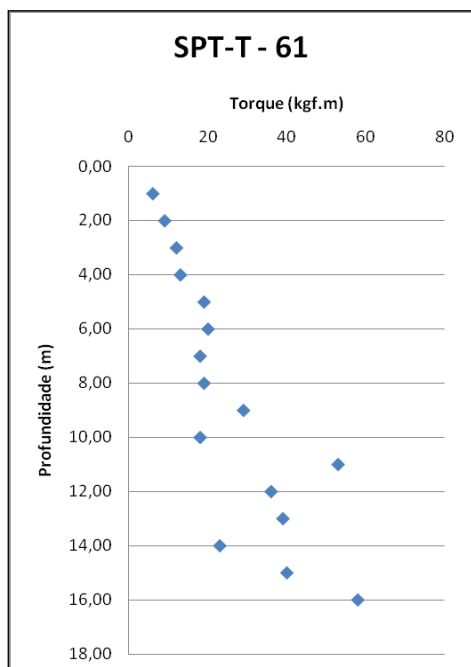


Figura 8. Torque x Profundidade (m), ensaio 61.

Nas figuras 7 e 8 o torque varia de 3 kgf.m a 60 kgf.m e pode-se notar que o torque não varia com a profundidade, e sim com a estratificação do solo.

As figuras 9 e 10 a seguir apresentam os valores do índice de torque (T/N) ao longo da profundidade, obtidos dos ensaios 07 e 61. Observa-se que o menor valor encontrado nos ensaios em questão foi de 0,80 e o maior valor

foi 3,75.

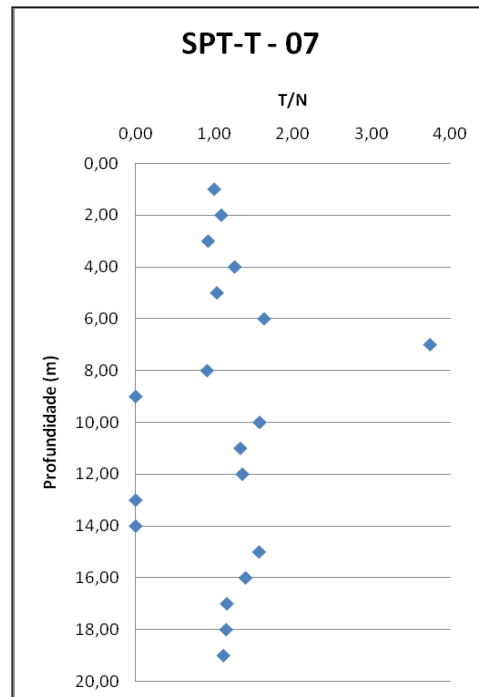


Figura 9. Índice de Torque x Profundidade (m), ensaio 07.

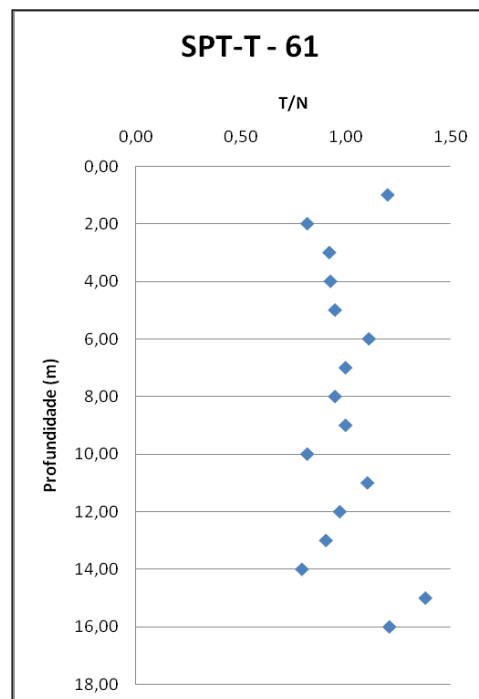


Figura 10. Índice de Torque x Profundidade (m), ensaio 61.

O valor médio de T/N encontrado para todas as sondagens foi separado pelo estado do solo e encontra-se na tabela 1.

Tabela 1. Índices de Torque médio em solos arenosos e argilosos.

Areia e Silte Arenoso					
	Fofa	Pouco Compacta	Medianamente Compacta	Compacta	Muito Compacta
Média	1.48	1.70	1.52	1.29	1.22
Amostras	25	61	157	78	1
Argila e Silte Argiloso					
	Muito Mole	Mole	Média	Rija	Dura
Média	0.00	4.00	2.29	2.00	1.36
Amostras	0	1	23	38	53

O resultado teve uma grande dispersão de valores, devido a esta dispersão, uma análise desvinculada à média obtida, poderia afirmar que para cada estado do solo de um mesmo material, observa-se uma tendência ao crescimento do valor, com pouca dispersão. No caso de Guamaré, à medida que a profundidade aumenta, o estado do solo tende a mudar de forma crescente.

A tendência de crescimento de T/N com a profundidade foi inicialmente apresentada por Décourt e Quaresma Filho (1994) para solos residuais de São Paulo. Esta tendência é confirmada. Para um mesmo tipo de solo ocorre um crescimento no índice de torque, no entanto, caso exista uma troca de material, o índice de torque tende a mudar, para posteriormente crescer novamente.

Para Décourt (1991) os valores de T/N nas areias fofas a compactas deveriam estar entre 0,5 e 1 dependendo da posição em relação ao nível de água. Abaixo do NA haveria uma redução de 50% nos valores de T/N. Comparando os valores com os índices estudados esta situação não é confirmada.

3.2 Correlação entre Toque Máximo e Torque Residual

Para esta análise as sondagens SPT-T foram divididas por tipo de solo e sua consistência, e então foram elaborados gráficos com o torque máximo no eixo das abscissas e o torque residual no eixo das ordenadas, com intuito de observar alguma correlação entre os mesmos. A tabela 2 a seguir mostra o resumo por tipo de solo e compactidade extraído das sondagens.

Tabela 2. Resumo por tipo de solo e compactidade extraído das sondagens.

Solo e Compactidade	NSPT	Tmáx (kgf.m)	Tres (kgf.m)	Tres/Tmáx	T/N
Areia e Argila (Geral)	15.59	22.77	11.34	0.50	1.56
Areia					
Fofa	3.64	5.36	2.18	0.41	1.48
Pouco Compacta	6.28	10.63	4.18	0.39	1.70
Medianamente Compacta	12.58	18.76	8.30	0.44	1.52
Compacta	26.24	33.33	18.95	0.57	1.29
Muito Compacta	41.00	50.00	35.00	0.70	1.22
Argila					
Muito Mole	-	-	-	-	-
Mole	4.00	16.00	6.00	0.38	4.00
Média	8.17	18.48	6.00	0.32	2.29
Rija	15.00	29.55	10.74	0.36	2.00
Dura	28.49	37.72	22.76	0.60	1.36

Os valores encontrados para a relação Tres/Tmáx são, no entanto, questionáveis, pois não se observou uma tendência linear bem definida, o que foi notado pelos valores de R-quadrado. As equações a seguir representam: (1) areia e argila (geral), (2) areia fofa, (3) areia pouco compacta, (4) areia medianamente compacta, (5) areia compacta, (6) argila média, (7) argila rija, (8) argila dura. Onde y representa o torque residual e x o torque máximo, em kgf.m. Não foram obtidas amostras suficientes de areia muito compacta, argila muito mole e mole para determinação de equações.

$$y = 0,588x - 2,052 \quad R^2 = 0,704 \quad (1)$$

$$y = 0,409x - 0,0107 \quad R^2 = 0,538 \quad (2)$$

$$y = 0,328x + 0,693 \quad R^2 = 0,709 \quad (3)$$

$$y = 0,360x + 1,534 \quad R^2 = 0,509 \quad (4)$$

$$y = 0,579x - 0,346 \quad R^2 = 0,508 \quad (5)$$

$$y = 0,333x - 0,161 \quad R^2 = 0,507 \quad (6)$$

$$y = 0,388x - 0,726 \quad R^2 = 0,284 \quad (7)$$

$$y = 0,618x - 0,549 \quad R^2 = 0,498 \quad (8)$$

4 CONCLUSÃO

De acordo com os ensaios estudados, o Nspt não depende da profundidade. A variação é observada devido ao estado do solo. Quanto mais resistente for o solo, maior será o Nspt. Em relação ao Torque, assim como no Nspt, observa-se uma tendência ao crescimento de acordo com a resistência do solo.

Para um mesmo tipo de solo, e estado, o valor do T/N tende ao crescimento. Os solos argilosos obtiveram valores de T/N superiores

aos encontrados para solos arenosos. Supõe-se que devido à coesão das argilas.

Os valores de T/N encontrados para areias de dunas variam entre 0,5 e 3,8. Em geral, os valores mais altos são encontrados para areias fofas à medianamente compactas e os valores mais baixos são encontrados em areias compactas à muito compactas. Estes valores são substancialmente diferentes daqueles encontrados para solos residuais e sedimentares da região sudeste do Brasil.

O valor do T/N não obedece a uma tendência clara de crescimento, já que está relacionado com o N_{spt} e o Torque que dependem da estratificação do solo. Não há valores de T/N convergentes para os diversos tipos de solos analisados até o momento e já que a dispersão de valores é muito grande, pode-se dizer que este índice seja afetado principalmente pelo estado de tensões do solo. Os outros fatores tais como granulometria, textura, posição em relação ao lençol freático teriam participação pouco relevante no valor do T/N.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pela bolsa concedida para o desenvolvimento dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2001). NBR 6484, *Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Decourt, L.; Quaresma Filho, A. R. (1994). Practical Applications of the Standard Penetration Test Complemented by Torque Measurements, SPT-T; Present Stage and Future Trends. *Proc. of XIII ICSMFE*. Vol. I. New Delhi, Índia.
- Decourt, L.; Quaresma Filho, A. R. (1991). The SPT-CF, improved SPT. *SEFE II*. Vol. I. São Paulo.
- Hachich W.; Falconi F. F.; Saes J. L.; Frota R. G. Q.; Carvalho C. S.; Niyama S. (1998). *Fundações: Teoria e Prática*, 2. ed., Pini, São Paulo.
- Quaresma, A. R.; Décourt, L.; Quaresma Filho, A. R.; Almeida, M. S. S.; Danziger, F. (1998). *Fundações: Teoria e Prática*, 2. ed., Pini, São Paulo.
- Ranzine, S.M.T. (1988). Standard Penetration Test with Friction - SPTF. *Revista Solos e Rochas*. Vol. 11, p. 29-30.