

# Estudo da Viabilidade da Prospecção do Subsolo com Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL) para Projetos de Fundações de Edificações de Pequeno Porte

Waldemar Sacramento Neto

Instituto Brasileiro de Educação Continuada, São Paulo, Brasil, waldemar@deltamais.com.br

Marcos Fábio Porto de Aguiar

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br

Lucas Menezes Marques

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, lucasmarques034@gmail.com

Sávio Feitosa Veríssimo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, savio.fv@hotmail.com

**RESUMO:** Este trabalho visa realizar uma comparação de cálculos de capacidade de carga de estacas realizados a partir dos resultados de sondagens DPL e sondagens SPT, executadas em pares no mesmo terreno situado na cidade de Taubaté-SP, através de métodos de cálculo semi-empíricos. Para tanto, estudou-se uma estaca hélice contínua de 250 mm de diâmetro, e comprimento útil de 5 m a 8 m, realizando-se os cálculos de capacidade de carga à compressão de 4 tf, 6 tf, 8 tf e 10 tf, pelo método de Nilsson (2003) a partir dos resultados das sondagens DPL, e por métodos semi-empíricos consagrados nacionalmente a partir dos resultados das sondagens SPT. Realizou-se também, o cálculo por métodos tradicionais para SPT através da correlação obtida entre os ensaios DPL e SPT, relacionando o N<sub>10</sub> do DPL com o N<sub>30</sub> do SPT. Os resultados mostraram que o método de Nilsson (2003) resultou nas maiores capacidades de carga por atrito lateral, sendo que a capacidade de carga de ponta pelo mesmo método aproxima-se de zero. Adotou-se como fator de segurança global 2,0, tendo o método de Nilsson (2003) se aproximado dos demais métodos, que tem uma capacidade de carga por atrito lateral menor e por ponta maior. Assim, concluiu-se que os comprimentos necessários para uma mesma capacidade de carga prevista pelo método de Nilsson (2003), a partir dos resultados das sondagens DPL, foram equivalentes aos comprimentos previstos pelos demais métodos tradicionais para SPT.

**PALAVRAS-CHAVE:** Penetrômetro Dinâmico Leve, Sondagem à Percussão, Prospecção do Subsolo.

## 1 INTRODUÇÃO

A engenharia geotécnica no Brasil tem grande prática na obtenção dos parâmetros de projeto a partir do ensaio de SPT, o qual gera resultados que são correlacionados com diversos parâmetros do solo, como capacidade de carga,

ângulo de atrito e coesão. Porém, outros equipamentos de investigação vem sendo introduzidos nas últimas décadas, visando, dentre outros fatores, ampliar o uso de diferentes tecnologias em diferentes condições de subsolo.

Dessa forma, o Penetrômetro Dinâmico Leve

(DPL – Dynamic Probe Light) se mostra como alternativa de fácil execução devido ser um equipamento simples e de baixo custo, podendo se somar à sondagem de simples reconhecimento (SPT) ou ainda substituí-la.

As sondagens DPL têm sido testadas e estudadas pelo meio acadêmico e profissional desde 2001, e têm mostrado resultados satisfatórios quando comparadas a métodos tradicionais de prospecção, gerando parâmetros tecnicamente adequados para dimensionamento de fundações. Como as sondagens DPL têm um alcance de até 12 m de profundidade, entende-se que tem boa aplicação para as fundações de edificações de pequeno porte. Por se tratar de um método de sondagem mais econômico do que o SPT, sondagem mais utilizadas no Brasil, vislumbra-se que as sondagens DPL surjam como uma alternativa mais viável técnica e economicamente para o estudo e projeto das fundações dos empreendimentos de pequeno porte.

## 2 SONDAGEM DPL

### 2.1 Utilização do DPL

O DPL modificado é um equipamento de fácil operação e utilização. É montado em partes menores de 1m, sendo que nenhuma das partes pesa mais do que 10 kg. Para ser transportado, o equipamento é embalado em duas caixas, sendo uma de 40 litros e outra de 130 litros, pesando 82 kg no total. Para operação são necessários no máximo 3 operadores.

As características geométricas e o peso do material são especificados pela norma alemã DIN 4094 (NILSSON, 2004). Os parâmetros diretos obtidos através do ensaio DPL são o N10 (golpes necessários para cravação da ponteira em 10 cm de solo, definido pela norma ISSMGE, o  $M_{\max}$  (momento máximo de torque, obtido imediatamente antes que a ligação ponteira-solo rompa-se pelo giro) e o  $M_{res}$  (momento medido após o rompimento da ligação ponteira-solo). A partir destes parâmetros, calcula-se a resistência de ponta  $q_d$  e o atrito lateral  $f_s$ .

### 2.2 Resistência de Ponta $q_d$

Nilsson (2008) propôs a seguinte equação a partir da fórmula dinâmica clássica de Hiley para obtenção da força gerada na ponta do cone quando da cravação do martelo de 10 kg:

$$P_f = k \times a \times \frac{(m_1 \times g \times h)}{(s_{pl} + s_{el} / 2)} \times \frac{(m_1 + e^2 \times m_2)}{(m_1 + m_2)} \quad (1)$$

Em que  $P_f$  é a força na ponta;  $k$  é o fator de correção para corrigir o desvio de energia;  $a$  é o fator de correção hidráulica;  $m_1$  é o peso do martelo;  $m_2$  é o peso das hastas, coxim e cone;  $g$  é a aceleração da gravidade;  $h$  é a altura de queda do martelo;  $s_{pl}$  é o deslocamento plástico do solo;  $s_{el}$  é o deslocamento elástico do equipamento e do solo;  $e$  é o coeficiente de impacto.

Dividindo-se a força na ponta do cone pela área da seção transversal do cone  $A_c$ , e subtraindo-se de tal fração o atrito lateral  $f_s$ , tem-se a resistência na ponta do cone  $q_d$ , conforme equação abaixo:

$$q_d = \frac{P_f}{A_c} - f_s \quad (2)$$

### 2.3 Atrito Lateral $f_s$

No DPL modificado, a área de contato do cone com o solo é de aproximadamente 60cm<sup>2</sup>. O atrito lateral  $f_s$  é obtido pela equação:

$$f_s = \frac{M_{res}}{A \times L} \quad (3)$$

Em que  $M_{res}$  é o momento residual medido no ensaio de torque;  $A$  é a área de contato do cone com o solo e  $L$  é o braço de alavanca do momento.

## 3 CORRELAÇÕES DPL COM SPT

Também chamado de cone dinâmico leve, o DPL é utilizado em larga escala na Europa para

correlações com a capacidade de carga das fundações (SCHULZE, 2013).

É válido destacar que em alguns casos pode-se ter restrições práticas ao uso do SPT. Em obras extensas, como linhas de transmissão, existe uma dificuldade de deslocamento de equipes e equipamentos (ÁVILA E CONCIANI, 2006).

Em solos de baixa resistência, o SPT não tem boa sensibilidade para avaliar o solo; já o DPL, pelo fato de ser medido em trechos de 10cm e continuamente, se torna bastante sensível à pequenas variações de rigidez do solo. Os ensaios SPT e DPL diferem-se bastante em energia aplicada. A caída do martelo do DPL emite 50J, enquanto SPT descarrega 480J por golpe. O barrilete-amostrador do SPT tem diâmetro externo de 50,8mm. A ponteira do DPL, padronizado pela norma internacional ISSMFE tem diâmetro 35,7mm.

#### 4 MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS DE DETERMINAÇÃO DE CAPACIDADE DE CARGA AXIAL EM ESTACAS

##### 4.1 Método de Nilsson (2003b), para ensaios DPL

O método baseia-se na seguinte equação:

$$P = \frac{(q_{pf} \times A_p) + \left( \int_0^z f \times dA_s \right)}{FS} \quad (4)$$

Em que P é a carga de ruptura (kN); FS é o Fator de segurança; fs é a resistência lateral do ensaio DPL (kPa); qpf é a resistência de ponta da estaca (kPa); f é a resistência lateral da estaca (kPa); Ap é a área da seção transversal da estaca (m<sup>2</sup>); dAs é a área lateral da estaca por comprimento dz (m<sup>2</sup>).

##### 4.2 Método de Aoki-Velloso (1975)

O método de Aoki e Velloso foi desenvolvido inicialmente para ser correlacionado com ensaios de penetração estática (CPT). Podendo ser reescrita, para SPT, da seguinte forma:

$$R = \frac{kN_p}{F_1} \cdot A_p + \frac{U}{F_2} \cdot \sum_1^n (\alpha \cdot k \cdot N_L \cdot \Delta L) \quad (5)$$

Em que R é a carga de ruptura;  $\alpha$  é a razão de atrito; K é o coeficiente que depende do tipo de solo; Np é o índice de resistência à penetração na cota de apoio da ponta da estaca; NL é o índice médio de resistência à penetração na camada de solo de espessura  $\Delta L$ ;

F1 e F2 são os fatores de correção, ajustados a partir de 63 provas de carga realizadas em várias regiões do Brasil; P é o perímetro da seção transversal da estaca;  $\Delta L$  é o comprimento de um segmento de estaca.

##### 4.3 Método Pedro P. C. Velloso (1981)

A avaliação da capacidade de carga de uma estaca (Pu), com comprimento L, pode ser feita com base na seguinte equação:

$$P_u = P_{su} + P_{bu} \quad (7)$$

$$P_{su} = u \times \alpha \times \lambda \times \sum (li \times fui) \quad (8)$$

$$P_{bu} = A_b \times \alpha \times \beta \times q_u \quad (9)$$

Em que Psu é a capacidade de suporte do solo por atrito lateral ao longo do fuste da estaca; Pbu é a capacidade de surpote do solo sob a base (ponta) da estaca; u é o perímetro da seção transversal do fuste da estaca; Ab é a área da seção transversal da estaca;  $\alpha$  é o fator que depende da forma de execução da estaca;  $\lambda$  é o fator de carregamento;  $\beta$  é o fator de dimensão da base da estaca; fui é o atrito ou aderência, lateral média em cada camada de solo; qu é a pressão de ruptura do solo sob a ponta da estaca.

##### 4.4 Método de Antunes e Cabral (1996)

Esse método sugere que a capacidade de carga de estacas hélice-contínua seja estimada com a seguinte equação:

$$Q_u = U \sum (N \cdot \beta_1) \Delta L + \beta_2 N_b A_p \quad (10)$$

Em que  $Q_u$  é a carga de ruptura;  $U$  é o perímetro da seção transversal do fuste da estaca;  $A_p$  é a área da seção transversal da estaca;  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são os fatores que dependem do tipo de solo;  $N_b$  é o índice de resistência à penetração na cota de apoio da ponta da estaca.  $N$  é o índice médio de resistência à penetração na camada de solo de espessura  $\Delta L$ .

#### 4.5 Método Gotlieb-Penna (2000)

O método de Gotlieb et al. (2000), foi desenvolvido estimando a tensão admissível a ser aplicada na estaca do tipo hélice contínua. Esta tensão admissível é dada pela seguinte expressão:

$$\sigma_t = (SPT_{\text{Média da Ponta}} \cdot 60) + \left( \frac{\Sigma SPT}{0,125 \cdot D} \right) \quad (11)$$

Onde:  $\sigma_t$ : tensão admissível a ser aplicada no topo da estaca (em kN/m<sup>2</sup>);  $SPT_{\text{médio da ponta}}$ : média dos valores de NSPT obtidos no trecho compreendido por 8 diâmetros da ponta da estaca para cima, e 3 diâmetros da ponta da estaca para baixo;  $\Sigma SPT$ : somatório dos NSPT compreendidos ao longo do comprimento da estaca (para NSPT superiores a 50, deverá ser adotado 50 golpes);  $D$ : diâmetro da seção transversal do fuste.

Dessa forma, o resultado da capacidade de carga será dado por:

$$R = A_p \cdot (SPT_{\text{Média da Ponta}} \cdot 60) + \left( \frac{\Sigma SPT}{0,125 \cdot D} \right) \quad (12)$$

Onde:  $A_p$ : área da seção transversal do fuste da estaca.

## 5 METODOLOGIA

Para a realização da pesquisa inicialmente proposta, estudou-se uma estaca do tipo hélice contínua de 250 mm de diâmetro, e comprimento útil de 5 m a 8 m, realizando-se os cálculos de capacidade de carga à compressão

de 4tf, 6 tf, 8 tf e 10tf, pelo método de Nilsson (2003) a partir dos resultados das sondagens DPL, e por métodos semi-empíricos consagrados nacionalmente a partir dos resultados das sondagens SPT.

Realizou-se também, o cálculo por métodos tradicionais para SPT como Aoki-Velloso (1975), Velloso (1981), Antunes e Cabral (1996) e Gotlieb e Penna (2000) através da correlação obtida entre os ensaios DPL e SPT, relacionando o  $N_{10}$  do DPL com o  $N_{30}$  do SPT, obtendo assim uma comparação da média dos comprimentos previstos pelo método de Nilsson (2003) para os três furos do DPL com a média dos comprimentos para cada método que considera o NSPT como parâmetro de entrada.

#### 5.1 Localização das sondagens

As sondagens foram realizadas em um terreno do município de Taubaté, interior de São Paulo, na região conhecida como Vale do Paraíba, onde foi construído um prédio residencial de 4 andares. Foram realizados 3 pares de ensaios SPT-DPL, conforme representado na figura 1.

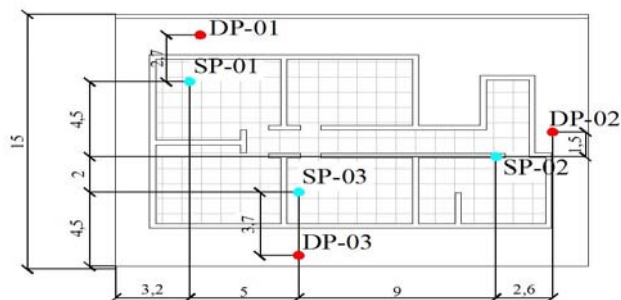


Figura 1. Planta de localização dos furos (medidas em metros).

## 6 RESULTADOS

Após a realização dos três pares de ensaios SPT-DPL, foi possível obter as tabelas 1,2 e 3 com o resumo dos SPT( $N_{30}$ ) e DPL( $N_{10}$ ) para cada par de ensaio. Os valores em negrito foram extrapolados, sempre limitando-se o número de golpes do último metro ensaiado, de modo a permitir a comparação dos cálculos das estacas até 8m de profundidade.

Tabela 1. Ensaios SP-01 e DP-01, referentes ao 1º par de ensaios.

PROFUN. (m)	TIPO DE SOLO	SPT (N30)	DPL (N10)
1	ARGILA ARENOSA	1	2
2	ARGILA	1	3
3	ARGILA	8	9
4	ARGILA SILTOSA	10	14
5	ARGILA SILTOSA	11	32
6	ARGILA SILTOSA	17	50
7	ARGILA SILTOSA	50	50
8	ARGILA SILTOSA	50	50

Tabela 2. Ensaios SP-02 E DP-02, referentes ao 2º par de ensaios.

PROFUN. (m)	TIPO DE SOLO	SPT (N30)	DPL (N10)
1	ARGILA ARENOSA	1	19
2	ARGILA	1	7
3	ARGILA	5	2
4	ARGILA SILTOSA	9	8
5	ARGILA SILTOSA	12	25
6	ARGILA SILTOSA	27	35
7	ARGILA SILTOSA	43	50
8	ARGILA SILTOSA	50	50

Tabela 3. Ensaios SP-03 e DP-03, referentes ao 3º par de ensaios.

PROFUN. (m)	TIPO DE SOLO	SPT (N30)	DPL (N10)
1	ARGILA ARENOSA	1	6
2	ARGILA	1	3
3	ARGILA	5	5
4	ARGILA SILTOSA	11	12
5	ARGILA SILTOSA	13	20
6	ARGILA SILTOSA	32	35
7	ARGILA SILTOSA	50	59
8	ARGILA SILTOSA	50	59

Dessa forma, é possível obter uma correlação geral, conforme figura 2.

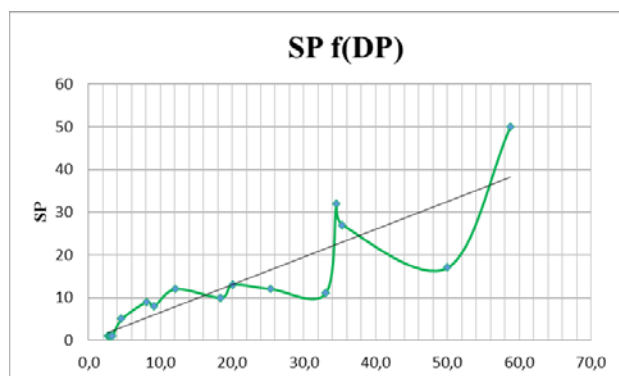


Figura 2. Correlação Geral SPT e DPL.

A correlação obtida foi :

$$N_{30} = 0,65xN_{10} \quad (11)$$

$$N_{10} = 1,50xN_{30} \quad (12)$$

### 6.1 Avaliação da capacidade de carga a partir dos métodos semiempíricos

Com os resultados obtidos nas sondagens, utilizaram-se o método de Nilsson (2003), Aoki-Velloso (1975), Décourt & Quaresma (1978), Velloso (1981), Antunes e Cabral (1996) e Gotlieb e Penna (2000) para obtenção de resultados de avaliação da capacidade de carga. Destaca-se que o método de Nilsson é válido apenas para o DPL.

Dessa forma, foi possível originar as Tabelas 4 a 27 que mostram os comprimentos úteis (Comp. Útil) necessários para as capacidades de carga à compressão de 4tf, 6tf, 8tf e 10tf para cada método de cálculo, DPL e SPT realizados, além da resistência lateral acumulada ( $\sum RL$ ) resistência de ponta ( $R_p$ ) e carga admissível total (Fadm), com fator de segurança (FS) igual a dois.

Tabela 4. Carga de 4tf – SP1

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL - tf$	$R_p - tf$	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	-	-	-	-
Aoki-Velloso - f(N10)	5	3,4	5,9	4,7
Pedro P. C.	4	4,2	4,0	4,1
Velloso - f(N10)	3	2,8	5,9	4,3
Antunes e Cabral - f(N10)	5	4,9	3,4	4,1
Gotlieb e Penna - f(N10)				

Tabela 5. Carga de 6tf – SP1

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL - tf$	$R_p - tf$	Fadm (FS = 2) - tf
Nilsson	-	-	-	-
Aoki-Velloso - f (N10)	6	5,3	9,2	7,3
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	5	8,4	5,6	7,0
Antunes e Cabral - f (N10)	4	5,5	7,4	6,4
Gotlieb e Penna - f (N10)	6	7,5	6,6	7

Tabela 6. Carga de 8tf – SP1

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL - tf$	$R_p - tf$	Fadm (FS = 2) - tf
Nilsson	-	-	-	-
Aoki-Velloso - f (N10)	7	8,3	21,6	14,9
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	6	13,0	7,6	10,4
Antunes e Cabral - f (N10)	5	8,9	8,1	8,3
Gotlieb e Penna - f (N10)	7	15,4	9,6	12,5

Tabela 7. Carga de 10tf – SP1

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL - tf$	$R_p - tf$	Fadm (FS = 2) - tf
Nilsson	-	-	-	-
Aoki-Velloso - f (N10)	7	8,3	21,6	14,9
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	6	13,0	7,6	10,4
Antunes e Cabral - f (N10)	6	13,2	12,6	12,9
Gotlieb e Penna - f (N10)	7	15,4	9,6	12,5

Tabela 8. Carga de 4tf – DP1

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL - tf$	$R_p - tf$	Fadm (FS = 2) - tf
Nilsson	4	12,3	0,3	6,3
Aoki-Velloso - f (N10)	5	2,9	6,5	4,7
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	5	7,1	4,9	6,0
Antunes e Cabral - f (N10)	4	4,7	4,4	4,6
Gotlieb e Penna - f (N10)	6	7,2	3,8	5,5

Tabela 9. Carga de 6tf – DP1

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL - tf$	$R_p - tf$	Fadm (FS = 2) - tf
Nilsson	4	12,3	0,3	6,3
Aoki-Velloso - f (N10)	6	5	9,2	7,1
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	5	7,1	4,9	6,0
Antunes e Cabral - f (N10)	5	8,0	8,8	8,4
Gotlieb e Penna - f (N10)	7	9,9	4,6	7,3

Tabela 10. Carga de 8tf – DP1

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL - tf$	$R_p - tf$	Fadm (FS = 2) - tf
Nilsson	5	24,1	0,7	12,4
Aoki-Velloso - f (N10)	7	7,9	9,2	8,6
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	6	12,2	7,2	9,7
Antunes e Cabral - f (N10)	5	8,0	8,8	8,4
Gotlieb e Penna - f (N10)	8	12,6	5,0	8,8

Tabela 11. Carga de 10tf – DP1

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL$ - tf	$R_p$ - tf	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	5	24,1	0,7	12,4
Aoki-Velloso - f (N10)	8	10,9	9,2	10,0
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	7	19,3	8,7	14,1
Antunes e Cabral - f (N10)	6	12,6	12,5	12,6
Gotlieb e Penna - f (N10)	9	15,2	5,0	10,1

Tabela 12. Carga de 4tf – SP2

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL$ - tf	$R_p$ - tf	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	-	-	-	-
Aoki-Velloso - f (N10)	5	2,8	6,5	4,6
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	5	5,5	4,0	4,8
Antunes e Cabral - f (N10)	4	4,4	6,6	5,5
Gotlieb e Penna - f (N10)	5	4,4	3,9	4,2

Tabela 13. Carga de 6tf – SP2

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL$ - tf	$R_p$ - tf	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	-	-	-	-
Aoki-Velloso - f (N10)	6	4,8	14,6	9,7
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	6	9,3	5,4	7,4
Antunes e Cabral - f (N10)	5	7,7	8,8	8,3
Gotlieb e Penna - f (N10)	6	8,6	6,7	7,7

Tabela 14. Carga de 8tf – SP2

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL$ - tf	$R_p$ - tf	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	-	-	-	-
Aoki-Velloso - f (N10)	6	4,8	14,6	9,7
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	7	14,3	10,4	12,4
Antunes e Cabral - f (N10)	5	7,7	8,8	8,3
Gotlieb e Penna - f (N10)	7	15,4	9,7	12,6

Tabela 15. Carga de 10tf – SP2

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL$ - tf	$R_p$ - tf	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	-	-	-	-
Aoki-Velloso - f (N10)	7	9,5	21,6	15,5
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	7	14,3	10,4	12,4
Antunes e Cabral - f (N10)	6	15,1	19,6	17,4
Gotlieb e Penna - f (N10)	7	15,4	9,7	12,6

Tabela 16. Carga de 4tf – DP2

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL$ - tf	$R_p$ - tf	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	2	11,3	0,2	5,8
Aoki-Velloso - f (N10)	4	4,3	4,3	4,3
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	2	5,9	3,9	4,9
Antunes e Cabral - f (N10)	3	6,9	2,95	4,9
Gotlieb e Penna - f (N10)	5	3,8	7,9	5,9

Tabela 17. Carga de 6tf – DP2

Método	Comp. Útil - m	$\sum R$ L - tf	$R_p$ - tf	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	3	12,9	0,1	6,5
Aoki-Velloso - f (N10)	5	5,7	9,2	7,4
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	3	8,8	4,0	6,4
Antunes e Cabral - f (N10)	4	9,0	5,9	7,5
Gotlieb e Penna - f (N10)	6	5,9	11,5	8,7

Tabela 18. Carga de 8tf – DP2

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL$ -tf	$R_p$ - tf	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	4	16,4	0,2	8,3
Aoki-Velloso - f (N10)	6	8,6	12,4	10,5
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	5	13,9	6,4	10
Antunes e Cabral - f (N10)	5	13,8	12,5	13,15
Gotlieb e Penna - f (N10)	6	5,9	11,5	8,7

Tabela 19. Carga de 10tf – DP2

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL$ -tf	$R_p$ - tf	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	5	23,9	0,6	12,3
Aoki-Velloso - f (N10)	6	8,6	12,4	10,5
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	5	13,9	6,4	10
Antunes e Cabral - f (N10)	5	13,8	12,5	13,15
Gotlieb e Penna - f (N10)	7	7,7	16,5	12,1

Tabela 20. Carga de 4tf – SP3

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL$ -tf	$R_p$ - tf	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	-	-	-	-
Aoki-Velloso - f (N10)	5	3,1	7,0	5,1
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	5	7,6	5,8	6,7
Antunes e Cabral - f (N10)	4	5,0	8,1	6,6
Gotlieb e Penna - f (N10)	5	4,5	4,9	4,7

Tabela 21. Carga de 6tf – SP3

Método	Comp. Útil - m	$\sum R$ L -tf	$R_p$ - tf	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	-	-	-	-
Aoki-Velloso - f (N10)	6	5,4	17,3	11,4
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	5	7,6	5,8	6,7
Antunes e Cabral - f (N10)	4	5,0	8,1	6,6
Gotlieb e Penna - f (N10)	6	7,8	9,9	8,9

Tabela 22. Carga de 8tf – SP3

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL$ -tf	$R_p$ - tf	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	-	-	-	-
Aoki-Velloso - f (N10)	6	5,4	17,3	11,4
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	6	13,0	12,2	12,7
Antunes e Cabral - f (N10)	5	8,5	9,6	9,1
Gotlieb e Penna - f (N10)	6	7,8	9,9	8,9



Tabela 23. Carga de 10tf – SP3

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL$ - tf	$R_p$ - tf	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	-	-	-	-
Aoki-Velloso - f (N10)	6	5,4	17,3	11,4
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	6	13,0	12,2	12,7
Antunes e Cabral - f (N10)	6	17,3	19,6	18,5
Gotlieb e Penna - f (N10)	7	10,7	17,7	14,2

Tabela 24. Carga de 4tf – DP3

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL$ - tf	$R_p$ - tf	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	4	10,4	0,3	5,4
Aoki-Velloso - f (N10)	5	3,5	9,2	6,3
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	5	8,4	6,7	7,6
Antunes e Cabral - f (N10)	4	5,5	7,4	6,5
Gotlieb e Penna - f (N10)	5	4,5	5,8	5,2

Tabela 25. Carga de 6tf – DP3

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL$ - tf	$R_p$ - tf	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	5	14,3	0,5	7,4
Aoki-Velloso - f (N10)	5	3,5	9,2	6,3
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	5	8,4	6,7	7,6
Antunes e Cabral - f (N10)	4	5,5	7,4	6,5
Gotlieb e Penna - f (N10)	6	8,0	10,5	9,3

Tabela 26. Carga de 8tf – DP3

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL$ - tf	$R_p$ - tf	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	6	23,7	0,7	12,2
Aoki-Velloso - f (N10)	6	6,4	16,2	11,3
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	6	15,6	12,1	13,9
Antunes e Cabral - f (N10)	5	10,2	12,5	11,4
Gotlieb e Penna - f (N10)	6	8,0	10,5	9,3

Tabela 27. Carga de 10tf – DP3

Método	Comp. Útil - m	$\sum RL$ - tf	$R_p$ - tf	Fadm (FS = 2) -tf
Nilsson	6	23,7	0,7	12,2
Aoki-Velloso - f (N10)	6	6,4	16,2	11,3
Pedro P. C. Velloso - f (N10)	6	15,6	12,1	13,9
Antunes e Cabral - f (N10)	5	10,2	12,5	11,4
Gotlieb e Penna - f (N10)	7	11,0	18,5	14,8

## 7 CONCLUSÃO

Por conseguinte, observa-se que os resultados mostraram que o método de Nilsson (2003) resultou nas maiores capacidades de carga por atrito lateral, sendo que a capacidade de carga de ponta pelo mesmo método aproxima-se de zero. Considerando-se o fator de segurança global de 2,0, o método de Nilsson (2003) se aproxima dos demais métodos, que tem uma capacidade de carga por atrito lateral menor e por ponta maior, verificou-se através de provas de carga instrumentadas, que estacas escavadas de pequeno diâmetro funcionam como estacas de atrito, entretanto a resistência de ponta só é mobilizada depois de grandes recalques.

Nesse sentido, o método de Nilsson é o que

mais se aproxima desta realidade. Os demais métodos, mesmo considerando um fator de redução para a resistência de ponta da estaca, ainda contam com uma parcela significativa de ponta. Assim, concluiu-se que os comprimentos necessários para uma mesma capacidade de carga prevista pelo método de Nilsson (2003), a partir dos resultados das sondagens DPL, foram equivalentes aos comprimentos previstos pelos demais métodos tradicionais para SPT.

Dessa forma, as sondagens DPL podem ser uma alternativa técnica e economicamente viável para projetos de fundações. Tendo em vista a limitação de profundidade de 12m das sondagens DPL por conta da energia de cravação, entende-se que as obras de pequeno porte, as quais geralmente contam com menos recursos financeiros, poderiam adotar o uso de campanhas de sondagens DPL para o projeto geotécnico das fundações.

## AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, campus Fortaleza, pela bolsa do autor<sup>3</sup>.

## REFERÊNCIAS

- Antunes, W.R e Cabral, D.A. (1996). *Capacidade de carga em estacas hélice contínua*. 3º Seminário de Engenharia de Fundações e Geotecnia. São Paulo, 2: 105 - 109.
- Aoki, N. e Velloso, D. A. (1975) *An approximate method to estimate the bearing capacity of piles*. Proceedings of Panamerican CSMFE. Buenos Aires, ARG. v. 1, p. 367 – 376.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (2010). *NBR 6122 - Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro: [s.n.].
- Ávila, S.P; Conciani, W. (2006). *Previsão de capacidade de carga de solos através de correlação de dados obtidos com o cone dinâmico (DPL)*. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Anais, Curitiba/PR, 2006.
- Décourt, L., Quaresma, R. (1978) Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: Anais do CBMSEF. Rio de Janeiro, RJ. v. 1, p. 45 – 53.
- Gotlieb, M.; Penna, A. S.; Rodrigues, L. H. B.; Romano, R. (2000). *Um método simples para avaliação da tensão admissível no topo de estacas tipo hélice-contínua*. IV Seminário de Engenharia de Fundações Especiais.
- Matos, Y.M.C. (2015). *Verificação da Aplicação de Sondagens com o Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL) em Projetos de Fundações para Pequenas Edificações*. 76 f. Monografia (Graduação em Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade de Fortaleza, Fortaleza.
- Nilsson, T. (2003b) *Dimensionamento de estacas através ensaios de DPL*. Texto técnico, Indaiatuba/SP.
- Nilsson, T. (2004). *Comparações entre DPL NILSSON e SPT*. IV Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Março, Curitiba/PR.
- Schulze, T. (2013). *Análise da capacidade de carga de estaca escavada instrumentada de pequeno diâmetro por meio de métodos semi-empíricos*. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas/SP.
- Torres-Ribeiro, M.; Borghi, L. (2007). *O uso de microfácies sedimentares na caracterização de potenciais rochas selantes e geradoras de um sistema lacustre paleogênico na Bacia de Taubaté*. 4o PDPETRO. Campinas/SP.
- Velloso, P. P. C. (1981). *Fundações: aspectos geotécnicos*. 3. ed. Rio de Janeiro: PUC-RJ v. 3. p. 467-469.