

# **Análise de Transferência de Carga de Estaca Pré-Moldada em Solo Residual de Diabásio**

*Análisis de Transferencia de Carga de Pilote Pre-Moldado en Suelo Residual de Diabásio*  
*Load Transfer Analysis of Driven Pile in Diabasic Residual Soil*

**Paulo José Rocha de Albuquerque, M.Sc.**

Doutorando, Escola Politécnica da USP

**David de Carvalho, Dr. Eng.**

Prof. Assistente, Feagri-Unicamp-Campinas

**Resumo.** Apresenta-se neste trabalho a análise de comportamento de estaca pré-moldada de concreto com 14 m de comprimento e 0,18 m de diâmetro, instrumentada, submetida a provas de carga dinâmica e estática. Através da realização de prova de carga estática obtiveram-se os valores de carga última, atrito lateral e resistência de ponta. Comparam-se estes resultados aos obtidos nas provas de carga dinâmica e também aos calculados através dos métodos teóricos, empíricos e semi-empíricos de previsão de carga última. Além destes, verificaram-se, também, o valor da carga residual e os parâmetros de Cambefort.

**Resumem.** Se presenta el análisis de comportamiento de pilote pre-moldado de hormigon con 14 m de largo y 0,18 m de diámetro, instrumentada, sometida a pruebas de carga dinámica y estática. Através de la realización de prueba de carga estática se obtuvieron los valores de carga ultima, fricción lateral y resistencia de punta. Se comparan estos resultados a los obtenidos en las pruebas de carga dinámica y también a los calculados a través de los métodos teóricos, empíricos y semi-empíricos de previsión de carga última. Aparte de esto, se verificara, también, el valor da carga residual y los parámetros de Cambefort.

**Abstract.** This paper presents the analysis of an instrumented pile, with 14 m of length and 0,18 m of diameter, submitted to both dynamic and static load tests. The results obtained from static load tests were ultimate load, shaft friction and tip resistance. These results were compared with those obtained in the dynamic load test and obtained with theoretical and semi-empirical methods of bearing capacity estimation. The value of the residual load and parameters for Cambefort's model were also determined.

## 1. Introdução

Os estudos pertinentes à capacidade de carga de carga de uma estaca datam do final do século passado, quando a escassez das estacas de madeira, muito utilizadas na época, levaram os engenheiros a restringirem o número de estacas a serem cravadas, não perdendo de vista a estabilidade da estrutura. Muitas fórmulas de previsão de capacidade de carga surgiram, mas o tempo encarregou-se de expor suas deficiências, obrigando o meio técnico a fazer uso das provas de carga para a obtenção da capacidade de suporte.

Para a engenharia de fundações, além do estudo de parâmetros como curva carga-recalque, transferência de carga ao longo da profundidade e carga de ruptura, importa também conhecer os resultados de provas de carga dinâmica e estática, a relação entre resultados de carga de ruptura obtidos através de fórmulas de previsão e provas de carga etc.

Para a verificação da capacidade de carga em estacas pré-moldadas de concreto dispõe-se de duas ferramentas: controle durante a cravação e prova de carga estática.

Com o intuito de analisar estes métodos de previsão baseados no controle da cravação e também as fórmulas de previsão de capacidade de carga, foi realizado este trabalho, que aborda o comportamento de uma estaca pré-moldada protendida de concreto com diâmetro de 0,18 m e 14 m de comprimento, cravado no Campo Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da UNICAMP, instrumentada em quatro níveis com extensômetros elétricos de resistência (strain-gages). O subsolo do local, formado por solo residual de diabásio, apresenta uma camada superficial de 6 m de espessura, constituída por argila silto-arenosa, seguida por uma camada de silte argilo-arenoso. O nível d'água foi encontrado aos 18 m de profundidade.

Neste trabalho determinam-se os valores de carga de ruptura, através de provas de carga dinâmica e estática, recalques da estaca ao longo do carregamento, valores de carga de ruptura obtidos através da aplicação de fórmulas teóricas e empíricas, a transferência de carga ao longo da profundidade, através dos resultados fornecidos por extensômetros elétricos, situados em quatro níveis, e a carga residual.

## 2. Subsolo Local

Os ensaios foram realizados em Campo Experimental (Fig. 1) localizado dentro do Campus da Unicamp, em Campinas/SP. Na região ocorrem as rochas intrusivas básicas da formação Serra Geral (diabásio). É grande a ocorrência dos magmatitos básicos na parte norte da região, os quais afloram em três áreas, perfazendo 98 km<sup>2</sup> e ocupando 14% da área total da folha de Campinas.

O subsolo do local é caracterizado por dois tipos de solos: a camada superficial, com espessura de 6 m, constituída por argila silto-arenosa porosa laterítica, sobreposta a uma camada de 12 m de silte argilo-arenoso. O nível d'água não é encontrado até 18 m de profundidade. Na Fig. 2 apresentam-se os valores de parâmetros geotécnicos médios do local e na Tabela 1 os resultados de uma sondagem de simples reconhecimento com medida de torque (SPT-T) e um ensaio de penetração estática (CPT), ambas realizadas próximas à estaca ensaiada. O solo da primeira camada tem comportamento colapsível (Monacci, 1995).

## 3. Estacas Teste e Sistema de Reação

Para a realização das provas de carga foram fabricados seis segmentos de estacas pré-moldadas protendidas de 0,18 m de diâmetro, três com comprimento de 8 m e três com 6 m, perfazendo três estacas de 14 m (duas utilizadas como reação e outra para ser ensaiada à compressão), emendadas por cordão de solda no anel metálico. A armadura longitudinal constituiu-se de seis fios de aço RN150 de 5 mm de diâmetro, envolvida em toda a sua extensão por uma espiral de fios de aço cujo passo variou de 5 a 10 cm.

Cada segmento das estacas foi confeccionado com uma bainha de aço corrugado de 4,5 cm de diâmetro. O objetivo desta bainha foi permitir, após a cravação das estacas, a instalação de instrumentos. Em cada segmento, destinado ao topo das estacas de reação, foi colocado um tirante Dywidag com 32 mm de diâmetro e 1,20 m de comprimento. Após a cravação, as estacas seguiram um alinhamento reto e o espaçamento entre elas foi de 1,5 m. Foi confeccionado um bloco de coroamento para cada estaca, de dimensões 60 x 60 x 60 cm<sup>3</sup>.

Para a cravação das estacas foi utilizado um martelo em queda livre, bate-estaca com pilão e

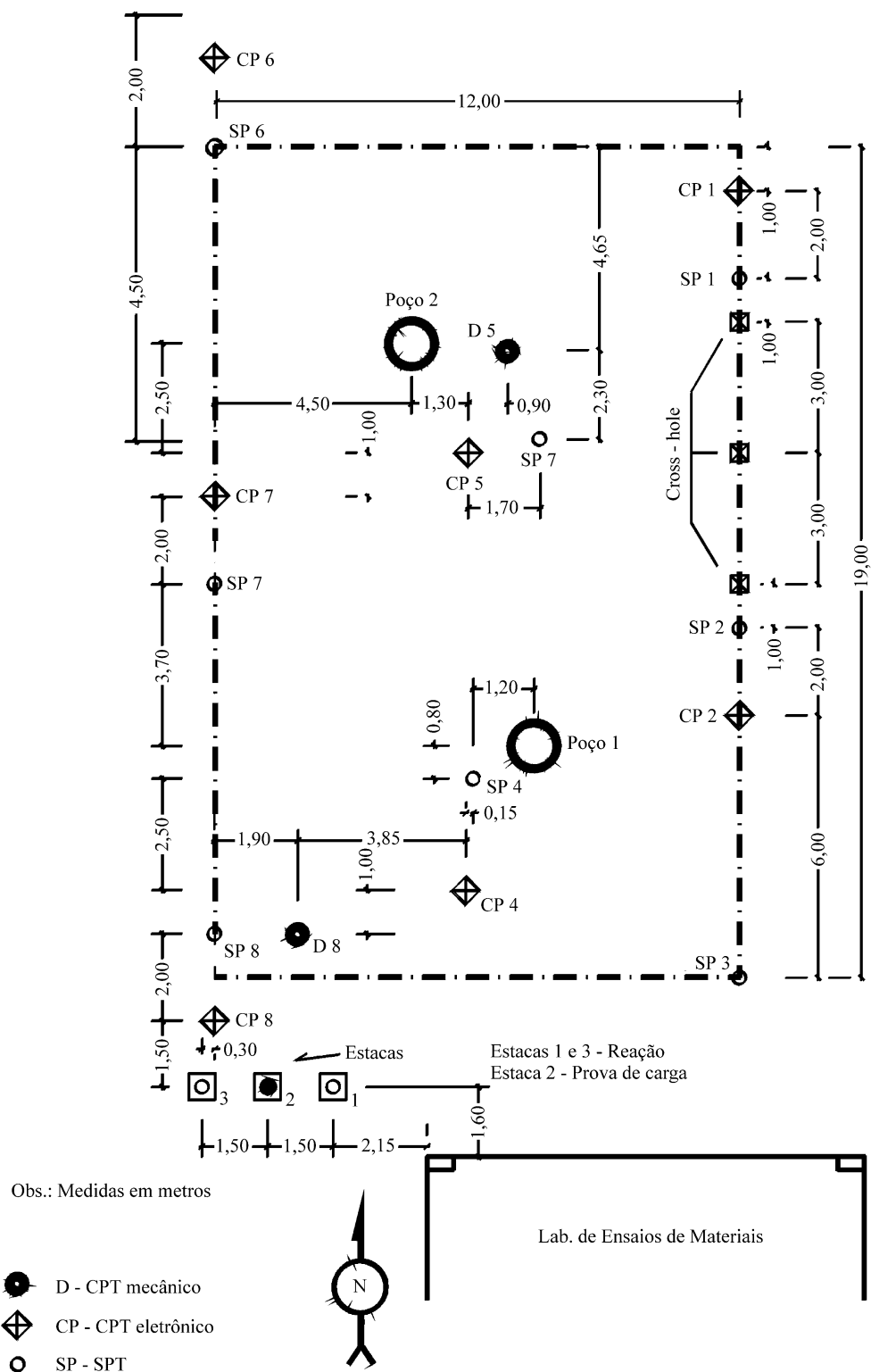
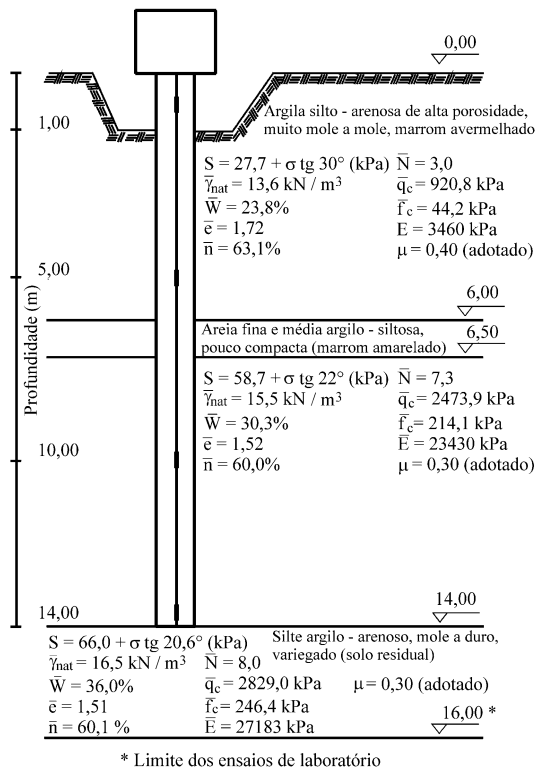


Figura 1. Localização das estacas e das sondagens no campo experimental.



**Figura 2.** Características geotécnicas médias do campo experimental.

massa aproximada de 1650 kg, caindo de uma altura de 50 cm.

O sistema de reação empregado constituiu-se de uma viga de reação, perfil "I", projetada para suportar cargas aplicadas em seu eixo, tendo comprimento de 3,30 m e sistema de atirantamento composto por barras especiais ST-85/105 (Dywidag), com 32 mm de diâmetro, porcas, placas e luvas de aço, todos fabricados com o mesmo material.

#### 4. Instrumentação

Foram utilizadas barras de aço do tipo CA-50, com 12,5 mm de diâmetro e 0,60 m de comprimento, para a instalação dos extensômetros elétricos (strain-gages), ligados em ponte completa. Posteriormente à execução da instrumentação, as barras foram calibradas em laboratório. No local dos ensaios, estas barras foram unidas posteriormente, à medida que iam sendo colocadas na bainha, a barras de mesmo material, com comprimentos 3,00; 3,40 e 4,40 m, até formarem uma barra

contínua. Para possibilitar as emendas das barras, foi utilizado o sistema de rosca nas pontas, com acoplamento de luvas de mesmo material.

A instrumentação foi instalada na cabeça da estaca (secção de referência), a 5 m, 10 m e 14 m de profundidade ao longo do fuste. Sua colocação na estaca se deu com todo o cuidado para evitar o corte dos cabos e não deixar as barras flambarem. Após este processo foi injetada nata de cimento de baixo para cima sob pressão de 300 kPa, através de mangueira plástica deixada previamente junto às barras de aço.

#### 5. Provas de Carga

Foram realizadas três provas de carga dinâmica e uma prova de carga estática à compressão. O primeiro tipo de prova de carga foi realizado em todas as estacas e o segundo somente na estaca 2 (Fig. 1).

##### 5.1. Prova de carga dinâmica

Para cada estaca ensaiada efetuaram-se as análises CAPWAPC, Case e IPT-Case. Para aquisição e análise dos sinais obtidos durante a cravação dinâmica, foi necessário um conjunto básico de instrumentos e equipamentos. Os instrumentos utilizados foram transdutores de força (ou de deformação específica) e acelerômetros, colocados numa secção logo abaixo do topo da estaca (cerca de 3 diâmetros de distância).

##### 5.2. Prova de carga estática

Seguiram-se as prescrições estabelecidas pelo NBR12131/91, adotando-se carregamento incremental lento (SML); os carregamentos foram feitos em estágios sucessivos, com incremento de 40 kN, até que se atingisse a carga na qual os deslocamentos indicassem a ruptura da ligação estaca-solo; o descarregamento foi feito em estágio sucessivos, com reduções de cargas iguais a 25% da carga total atingida no ensaio. A partir da base do bloco de coroamento até a profundidade de 0,60 m, o solo foi escavado, deixando-se tal trecho como secção de referência, para a determinação do seu módulo de elasticidade.

Para a realização da prova de carga utilizou-se uma célula de carga com capacidade de 500 kN, instalada entre a viga de reação e o bloco de coroamento. A leitura das cargas foram feitas

**Tabela 1.** Resultados de ensaios SPT-T e CPT.

Solo	Prof.(m)	N <sub>spt</sub>	f <sub>c</sub> (kPa)	q <sub>c</sub> (kPa)	T (kgf m)	f <sub>st</sub> (kPa)	f <sub>sc(médio)</sub> (kPa)
Argila silto-arenosa	0	1/15	*	*	0	0	0
	1	1/25	*	*	2	10,98	20,6
	2	1/25	14,0	250	2	10,98	20,6
	3	2	16,3	633	2	10,98	37,8
	4	2	33,3	1300	2	10,98	61,8
5	5	5	77,3	1500	4	21,97	65,2
concreção	6	8	80,0	3767	8	43,93	148,6
Silte argilo-arenoso (residual de diabásio)	7	4	148,0	2375	7	38,44	168,3
	8	6	157,3	2400	8	43,93	213,9
	9	7	173,7	2067	10	54,92	238,4
	10	7	190,0	2300	9	49,42	229,9
	11	9	218,0	2533	9	49,42	248,7
	12	10	265,3	2733	13	71,39	213,9
	13	8	278,5	2750	16	87,86	232,5
	14	8	281,7	2633	14	76,88	220,7
	15	8	220,3	2433	14	76,88	196,7
	16	28	211,0	3025	*	*	*

\* não foi medido.

através de uma caixa indicadora de deformação (Fig. 3).

## 6. Resultados

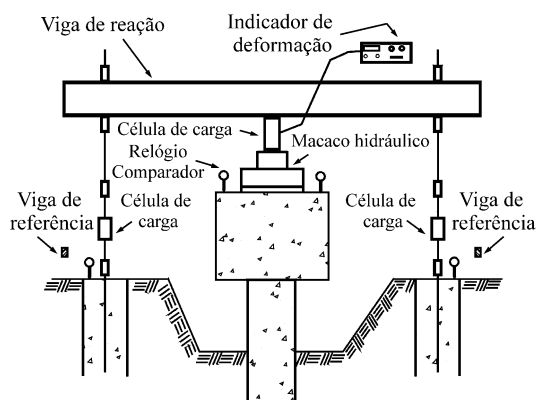
### 6.1. Prova de carga dinâmica

Apresentam-se neste item os resultados das provas de carga dinâmica nas três estacas envolvidas na pesquisa. Para cada estaca foram feitos três tipos de análises com a finalidade de conhecer a capacidade de carga, sendo elas: CAPWAPC, Case e IPT-Case (Tabela 2).

Os ensaios dinâmicos foram interrompidos antes que a *nega* usual para este tipo de estaca (10 mm/golpe) fosse atingida, devido ao fato das estacas terem comprimentos pré-determinados. Apresenta-se na Tabela 3 o valor da *nega* para cada estaca.

### 6.2. Prova de carga estática

São apresentados neste item os resultados obtidos na prova de carga estática: curva carga vs. recalque, transferência de carga e carga residual.



**Figura 3.** Esquema do sistema de reação.

Os valores de deslocamentos obtidos com relação ao carregamento no topo da estaca, são apresentados na Tabela 4 e o gráfico carga vs. recalque na Fig. 4.

De acordo com os valores fornecidos nos instrumentos instalados (seção de referência; 10,0 m e 14,0 m), são apresentados, a seguir, os valores das cargas transferidas em cada nível instrumentado

**Tabela 2.** Resultados obtidos na prova de carga dinâmica.

Estaca	Análise	Q <sub>lu</sub> (kN)	Q <sub>pu</sub> (kN)	Q <sub>u</sub> (kN)	Q <sub>u</sub> /Q <sub>upc</sub>
1	CAPWAPC	172	36	208	-
2		201	15	216	0,82
3		178	62	240	-
1	Case			213*	-
2				248*	0,95
3				255*	-
1	IPT-Case			200*	-
2				243*	0,93
3				224*	-

\* Valores obtidos pela média dos últimos golpes aplicados na estaca. Foi escolhido  $J = 0,4$  para a análise por representar o valor médio obtido pelo CAPWAPC (da ordem de 0,2 para o amortecimento da ponta, acrescido de 0,2).

**Tabela 3.** *Nega* obtida na cravação das três estacas.

Estaca 1	Estaca 2	Estaca 3
33 mm/10golpes	110 mm/10golpes	125 mm/10golpes

**Tabela 4.** Deslocamentos obtidos.

Carga (kN)	Deslocamento (mm)
0	0
40	0,27
80	0,37
120	0,53
160	1,56
200	2,77
240	5,58
262	54,13
220	54,37
165	54,24
110	53,75
55	52,16
0	51,69

(Tabela 5); as curvas de transferência de carga (Fig. 5); e a distribuição do atrito lateral ao longo do fuste, em cada nível (Fig. 6).

O módulo de elasticidade da estaca, obtido através da instrumentação instalada no nível de referência, foi de 24,4 GPa.

Obs.: Dos quatro níveis instrumentados, instalados na estaca, aquele situado a 5,00 m não apresentou bom funcionamento, portanto ele foi descartado.

### 6.3. Carga residual

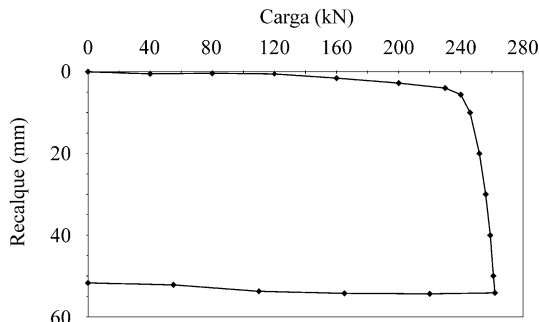
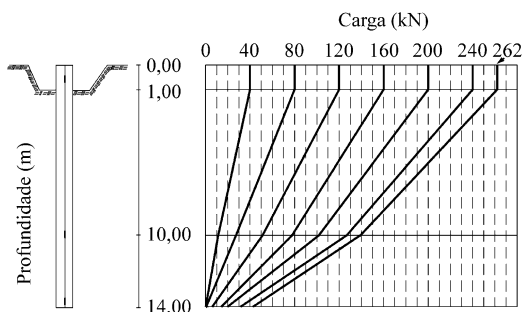
A partir dos dados obtidos através da instrumentação da estaca, apresentam-se a seguir os valores dos parâmetros  $\mu$  (efeito da carga residual na ponta),  $k$  (rigidez relativa solo-fuste) e  $\lambda$  (rigidez relativa solo-fuste/ponta), calculados a partir das expressões propostas por Massad (1993). Apresentam-se nas Figs. 7 e 8 os gráficos de Cambefort para reação de ponta real e fictícia e atrito lateral unitário para primeira e segunda camada do subsolo.

A partir das características da estaca e do solo obtiveram-se os parâmetros apresentados nas Tabelas 6 e 7.

Apresenta-se na Fig. 9 a curva teórica e a obtida através da prova de carga.

**Tabela 5.** Valores de carga transferida para cada nível instrumentado.

Carga aplicada no topo da estaca (kN)	Carga medida na estaca no nível instrumentado (kN)		% da carga total na ponta
	Nível 2 (10 m)	Nível 3 (14 m)	
0	0	0	0
40	11,4	0,2	0,5
80	27,4	0,5	0,6
120	51,2	5,5	4,6
160	77,7	13,6	8,5
200	101,8	19,8	9,9
240	126,8	31,5	13,1
262	139,0	42,2	16,1

**Figura 4.** Curva carga vs. recalque.**Figura 5.** Transferência de carga.

#### 6.4. Métodos de previsão de capacidade de carga

A seguir apresentam-se os resultados da aplicação de várias fórmulas teóricas (Tabela 8), empíricas e semi-empíricas (Tabela 9) e dinâmicas (Tabela 10), utilizadas para a previsão da carga de ruptura da estaca em pautas.

A Tabela 11 mostra as relações entre os valores de carga de ruptura calculados e o obtido da prova de carga estática.

### 7. Análise dos Resultados

Os valores da carga total mobilizada obtidos para a estaca 1, através das análises CAPWAPC, Case e IPT-Case, Tabela 2, situaram-se bem próximos entre si; para as estacas 2 e 3 estes resultados ficaram pouco distantes.

Com relação à prova de carga estática (estaca 2), pode-se dizer que os valores obtidos através das provas de carga dinâmicas estão bem próximos com relação à carga total, como também para as cargas lateral e de ponta.

Quanto à instrumentação, com exceção do nível 5 m, pode-se dizer que esta funcionou perfeitamente, como mostra o valor do módulo de elasticidade obtido na secção de referência da estaca.

Com relação à carga de ponta, verificou-se que no primeiro estágio de carregamento houve pouca mobilização, o mesmo acontecendo para o segundo. A partir daí, com a proximidade da saturação do atrito lateral, a reação de ponta foi aumentando a cada estágio, em torno de 3% da carga aplicada, chegando a 16,1% do total, para carga máxima aplicada. A distribuição do atrito lateral pode ser observada na Fig. 6, verificando-se que nos dois primeiros estágios houve comportamento semelhante nas duas camadas; após estes estágios iniciais, a segunda camada foi responsável pela maior parte da absorção do atrito, chegando ao dobro da primeira.

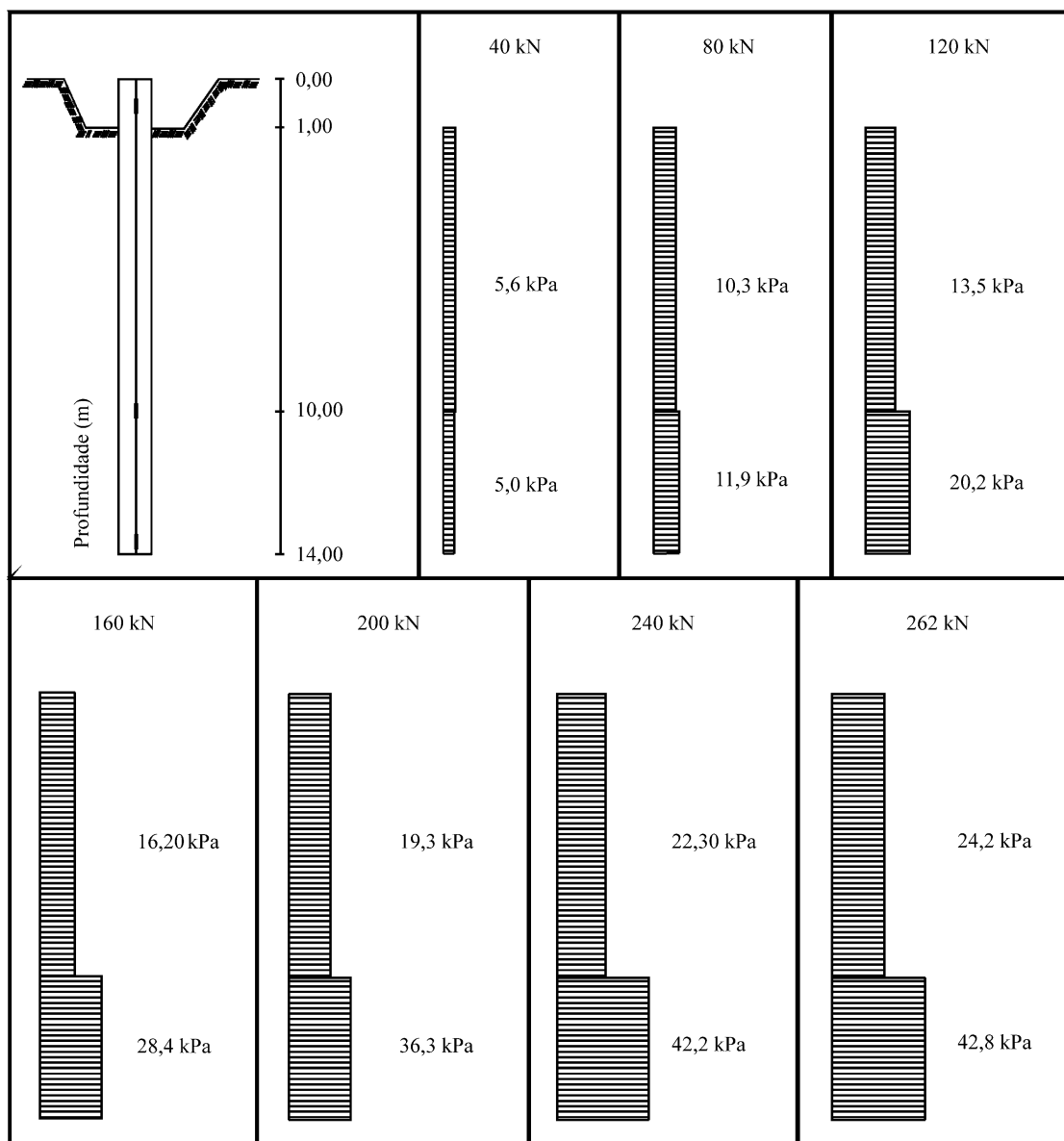


Figura 6. Distribuição do atrito lateral ao longo do fuste.

No estudo da carga residual, verificou-se que os valores dos parâmetros  $\mu_1$  e  $\mu_2$ , estiveram de acordo com o tipo de estaca estudada, isto é, cravada de atrito. Os valores dos coeficientes  $k_1$  e  $k_2$ , menores que 2, indicam, segundo Massad (1993), que a estaca é “rígida”. O valor obtido do parâmetro  $\lambda$  menor que 1 indica estaca com deficiência de rigidez de ponta.

Dos valores de carga e recalque teóricos calculados, verificou-se que o trecho pseudo-elástico

atingiu o valor máximo de 173 kN com um deslocamento de 3,08 mm, a carga de ruptura com 269 kN e um deslocamento residual ao fim do descarregamento de 49,13 mm.

Quanto a previsão da capacidade de carga calculada pelos métodos teóricos, pode-se dizer que o método de Berezantzev (1957, 1961), em conjunto com o proposto por Nordlund (1963), mostrou-se adequado para a previsão da carga de ruptura. O método de Meyerhof (1976, 1977) também situou-



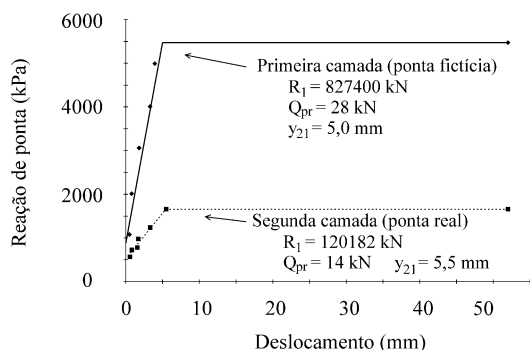


Figura 7. Reação de ponta real e fictícia.

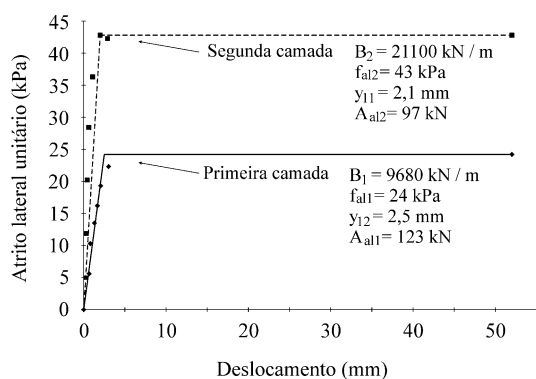


Figura 8. Atrito lateral unitário.

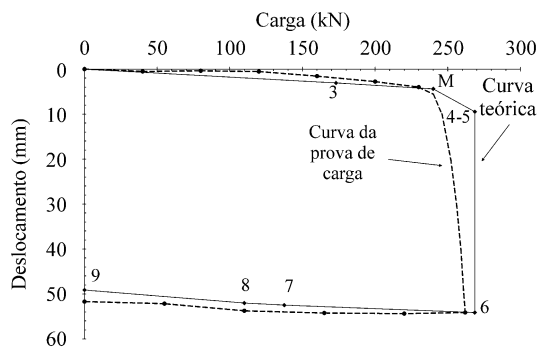


Figura 9. Curvas carga vs. deslocamento obtidas da prova de carga e método teórico.

se próximo ao valor obtido da prova de carga. Uma das dificuldades de se empregar este método está na obtenção do valor de  $K_s \text{ tang } \delta$ , pois não existia um valor proposto para o caso em particular. Com o resultado obtido de carga lateral através da prova de carga, pode-se sugerir um valor de  $K_s \text{ tang } \delta$  para este trabalho igual a 0,29, o qual se situa dentro do

Tabela 6. Dados da estaca.

$K_{r1}$	68.857 kN/m
$K_{r2}$	154.927 kN/m
$K_r$	47.670 kN/m
$A_p$	0,0254 m <sup>2</sup>
$L_1 = h_{eq}$	9 m
$L_2$	4 m

Tabela 7. Parâmetros do solo (calculados).

$k_1$	0,71
$k_2$	0,31
$m_2$	0,064
$m_{eq}$	0,96
$z_1$	0,84
$z_2$	0,56
$\beta$	0,536
$\mu_1$	1,23
$\mu_2$	1,14
$r$	1,50
$\lambda$	0,81

Tabela 8. Métodos teóricos.

Método	$Q_{lu}$ (kN)	$Q_{pu}$ (kN)	$Q_u$ (kN)
Berezantzev e Nordlund (1957, 1961)	182	32	214
Meyerhof (1976, 1977)	294	39	333
Skempton (1951)	281	38	319

intervalo sugerido pelos estudos de Vésic (1975), que é de 0,16 a 0,35. Outro método utilizado, de Skempton (1951), também se adequou ao caso em estudo, fornecendo valores de cargas lateral e de ponta próximos aos da prova de carga.

Com relação aos métodos empíricos e semi-empíricos, o método de Aoki e Velloso (1975) fornece valores de carga de ruptura muito diferentes quando se utilizam parâmetros de SPT e CPT. Comparando-se estes resultados com os obtidos da prova de carga estática, verificam-se diferenças de 50%, para menos, quando se usa o SPT, e 33%, para mais,

**Tabela 9.** Métodos empíricos e semi-empíricos.

Método	$Q_{lu}$ (kN)	$Q_{pu}$ (kN)	$Q_u$ (kN)
Aoki e Velloso (1975)	312CPT 101SPT	38CPT 29SPT	350CPT 130SPT
Velloso (1981)	1092	61	1153
Philipponat (1978)	1366	30	1396
Decourt e Quaresma (1978)	226	47	267
Meyerhof (1976)	87	61	148

quando se usa o CPT. Estas diferenças ocorrem principalmente devido à carga lateral calculada. Os resultados de carga de ponta obtidos através da fórmula estão bem próximos do obtido na prova de carga. O método de Velloso (1981) forneceu valores de carga total e lateral muito altos, aproximadamente quatro vezes os valores obtidos na prova de carga. O método de Philipponat (1978) também forneceu um valor muito alto de carga última. O método de Decourt e Quaresma (1978) forneceu resultado muito próximo ao obtido na prova de carga em relação a carga de ruptura (com diferença em torno de 2%). As cargas lateral e de ponta calculadas também forneceram valores bastante aceitáveis, com uma diferença máxima de 5% em relação ao ensaio. O método empírico de Meyerhof (1976) mostrou-se conservador para previsão de carga última, apresentando um valor 56% do obtido na prova de carga.

Notou-se que há uma diferença grande entre os resultados obtidos através das fórmulas dinâmicas (Tabelas 10 e 11). A fórmula dos Holandeses levou a um valor bem acima do obtido na prova de carga; a de Brix, a um resultado abaixo e a do Engineering News Record, bem próximo.

## 8. Conclusões

A prova de carga dinâmica através das análises CAPWAPC, Case e IPT-Case, mostrou confiabilidade como recurso para a determinação das cargas lateral e ponta da estaca. O valor da carga última situou-se 10% abaixo do obtido para a prova de carga estática.

O métodos teóricos de previsão utilizados se mostraram eficientes na determinação da carga última. Deve-se ressaltar que foram utilizados parâmetros geotécnicos ( $c$ ,  $\phi$  e  $\gamma_{nat}$ ) determinados

**Tabela 10.** Métodos dinâmicos.

Método	$Q_u$ (kN)
Holandeses	487
Brix	170
Engineering News Record	229

**Tabela 11.** Relação entre os valores de carga de ruptura calculados e o obtido da prova de carga estática.

Método	$Q_{ucale}/Q_{upec}$
Berezantzev-Nordlund	0,81
Meyerhof (teórico)	1,27
Skempton	1,22
Aoki-Velloso (1975) - CPT	1,33
Aoki-Velloso (1975) - SPT	0,50
Velloso (1981)	4,34
Philipponat - CPT	5,26
Decourt-Quaresma	1,02
Meyerhof (empírico)	0,56
Holandeses	1,85
Brix	0,65; 650; 88
Engineering News Record	0,88

para o local, o que nem sempre ocorre na prática de engenharia.

Dos métodos empíricos e semi-empíricos, utilizando-se ensaios de campo, o de Decourt-Quaresma (1978) foi o que apresentou melhores resultados na previsão de cargas lateral e de ponta. O valor de carga de ruptura previsto foi 2% superior ao obtido na prova de carga estática. Os métodos de Aoki e Velloso (1975), Velloso (1981), Philipponat

(1978) e Meyerhof (1976) não apresentaram tal precisão, chegando tanto a valores 400% acima da carga última obtida na prova de carga estática, como a valores 50% abaixo. Mesmo quando a carga última prevista se aproximou do valor real (35%), as cargas lateral e de ponta não apresentaram valores coerentes.

O métodos dinâmicos, que utilizam dados de cravação da estaca, não apresentaram bons resultados, com exceção da fórmula do Engineering News, que forneceu valor de carga última 12% abaixo do obtido na prova de carga estática. Este resultado, porém, deve ser considerado com cautela, pois, apesar de largamente difundidos na literatura, estas fórmulas apresentam grande variação de resultados.

Com relação a carga de ruptura obtida na prova de carga estática, verificou-se que 83,9% da carga foi absorvida pelo fuste e 16,8% pela ponta, apresentando portanto um comportamento tipicamente de atrito.

O parâmetros  $\mu$ ,  $\lambda$  e  $k$ , determinados, estão dentro da faixa de variação apresentada por Massad (1993). Os valores da reação de ponta e do atrito unitário, obtidos com a prova de carga estática instrumentada, obedecem as relações de Camberfort.

Durante a cravação verificou-se que, devido à vibração da estaca neste tipo de solo superficial, de alta porosidade e baixa resistência, formava-se uma vazia entre o solo e a estaca. Visualmente observou-se este vazio até, pelo menos, 1,50 m de profundidade. Este fato deve ser considerado ao se cravar estacas neste tipo de solo, principalmente estacas de atrito, pois o valor do atrito lateral total pode ser afetado significativamente.

## Referências

- Albiero, J.H. Análise do Emprego de Fórmulas Empíricas na Previsão da Carga Última de Estaca. **Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações**, 9. Salvador/BA. Anais, v. 2, p. 501-512, 1990.
- Albiero, J.H. **O Emprego de Fórmulas Empíricas na Previsão de Carga Última de Estacas**. São Carlos, EESC-USP. Tese de Livre Docência, 322 p, 1990.
- Albuquerque, P.J.R. **Análise do Comportamento de Estaca Pré-Moldada de Pequeno Diâmetro, Instrumentada, em Solo Residual de Diabásio da Região de Campinas**. Campinas/SP, Feagri-Unicamp. Dissertação de Mestrado, 170 p, 1996.
- Aoki, N. e Velloso, D.A. Um Método Aproximado para estimativa da Capacidade de Carga de Estacas. **Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações**, 5 Buenos Aires, Anais, p. 367-376, 1975.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Prova de Carga Estática: NBR 12131/91. Rio de Janeiro: ABNT. 4 p., 1991.
- Berezantzev, V.G. e Yaroshenko, V.A. The Bearing capacity of sands Under Deep Foundation. **International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, 4. Londres, Proceedings, v. 1, 1957.
- Berezantzev, V.G.; Khristoforov, V.S. e Golubkon, V.N. Load Bearing Capacity and Deformation of piled Foundations. **International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, 5. Paris, proceedings, v. 2, 1961.
- Butterfield, R. e Banerjee, P.K. The Elastic Analysis on Compressible Piles and Piles Groups. **Géotechnique** v. 21(1), p. 43-60, 1971.
- Carvalho, D. **Análise de Cargas Últimas à Tração de Estacas Escavadas, Instrumentadas, em Campo Experimental de São Carlos-SP**. São Carlos/SP, EESC-USP. Tese de Doutorado, 204 p., 1991.
- Decourt, L. e Quaresma, A.R. Capacidade de Carga de Estacas a Partir de Valores de SPT. **Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações**, 6. Rio de Janeiro, Anais, v. 1, p. 45-53, 1978.
- Massad, F. Sobre a Interpretação de Provas de Carga em Estacas, Considerando as Cargas Residuais na Ponta e Reversão do Atrito Lateral. Parte I: Solos Relativamente Homogêneos. **Revista Solos e Rochas**, v. 15(2), p. 103-115. 1992.
- Massad, F. Sobre a Interpretação de Provas de Carga em Estacas, Considerando as Cargas Residuais na Ponta e Reversão do Atrito Lateral. Parte II: Estacas Atravessando

- Camada de Solo mais fraca e Embutida em Solo mais Resistente. **Revista Solos e Rochas**, v. 16(2), p. 93-112, 1993.
- Meyerhof, G.G. e Valsangkar, A.J. Bearing Capacity of Piles in Layered Soils. **International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, 9. Tokyo, Proceedings, v. 1, 1977.
- Meyerhof, G. G. Bearing capacity and Settlement of Pile Foundation. **Journal of the Soils Mechanics and Foundation Division**, ASCE, 99(3), p. 197-228, 1976.
- Monacci, M.D. **Estudo da Colapsibilidade de um Solo do Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp**. Campinas/SP, Feagri-Unicamp. Dissertação de Mestrado, 114 p., 1995.
- Philipponat, G. Méthode Pratique de Calcul des Pieux à L'aide du Pénétrômetro Statique. **Informations Techniques Bulletin**, Paris, Soletanche Enterprise, 21 p., 1978.
- Skempton, A.W. **The Bearing capacity of Clays**. Build Research Congresss, the Institute of Civil Engineering, London, Div. 1 180p., 1951.
- Velloso, P.P.C. **Considerações Sobre a Estimativa da Capacidade de Suporte e dos Deslocamentos Vertical e horizontal de Estacas**. Brasilia/DF, Universidade de Brasilia, 1981.
- Vésic, A.S. Tests on Instrumented Piles. Ogeche River Site, **Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, v. 96, SM 2, p. 561-584, 1970.
- Vésic, A.S. General Report on Excavations and Deep Foundations. **Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações**, 5. Buenos Aires, Anais, v. 5, p. 373-387, 1975b.
- Winterkorn, H.F e Fang, H.Y. **Foundation Engineering Handbook**. New York, Van Nostrand Reinhold Company International, 751 p., 1975.

## Lista de Símbolos

$A_{ali}$	Atrito lateral associado à camada I
$A_l$	Atrito lateral da estaca
$A_p$	Área da ponta da estaca
$B$	Inclinação do trecho pseudo-elástico do atrito lateral unitário
CPT	Sondagem de penetração estática
$\mu$	Efeito da carga residual na ponta
$f_{al}$	Atrito lateral unitário mobilizado
$\beta$	Fator de dimensão da base
$f_c$	Atrito lateral medido no ensaio CPT
$f_{sc(médio)}$	Atrito lateral médio medido com o torque
$f_{st}$	Atrito lateral medido com o torque
$k$	Rigidez relativa solo-estaca
$K_r$	Rigidez da estaca como peças estrutural
$L$	Comprimento da estaca
$m = \frac{R \cdot A_p \cdot y_l}{A_l}$	Coefficiente adimensional
$N_{spt}$	Índice de resistência à penetração - SPT
$q_c$	Resistência de ponta no ensaio CPT
$Q_{lu}$	Carga de ruptura lateral
$Q_{pr}$	Carga na ponta da estaca ao final da mobilização da resistência por atrito
$Q_{pu}$	Carga de ruptura de ponta
$Q_u$	Carga de ruptura total
$Q_{upc}$	Carga de ruptura total da prova de carga estática
$R$	Inclinação do trecho pseudo-elástico da resistência de ponta unitária
$\lambda$	Rigidez relativa solo-fuste/ponta
SPT-T	Sondagem de simples reconhecimento com medida de torque
$T$	Torque medido
$y_i$	Deslocamento no trecho i

Recebido em 2/10/1998  
 Aceitação final em 23/7/1999  
 Discussões até 30/6/2000