

Estaca Escavada de Grande Diâmetro, sem Uso de Fluido Estabilizante, com Limpeza de Fuste e Ponta

Marco Aurélio de Oliveira

ZF e Eng. Assoc. Ltda., São Paulo, SP, Brasil, marco@zfsolos.com.br

Frederico Fernando Falconi

ZF e Eng. Assoc. Ltda., São Paulo, SP, Brasil, fred@zfsolos.com.br

Waldemar Coelho Hachich

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, Brasil, whachich@usp.br

RESUMO: Em obra na Zona Sul da cidade de São Paulo, em função de acentuada declividade do terreno, de aspectos econômicos e da dificuldade de acesso de equipamentos de grande porte, foram adotadas estacas escavadas perfuradas com trado mecânico utilizado em tubulões a céu aberto. Após a perfuração, executada a seco, foram executadas as raspagens dos fustes e a limpeza da ponta da estaca com poceiros. Como os métodos de capacidade de carga consagrados não contemplam as limpezas, foram elaboradas análises com relações entre as tensões verticais e horizontais. A confirmação do desempenho foi obtida pela realização de dois ensaios de carregamento dinâmicos que mostraram cargas máximas mobilizadas superiores às estimadas.

PALAVRAS-CHAVE: Estacas Escavadas de Grande Diâmetro, Estação, Sem Fluido Estabilizante, Limpeza de Ponta e Fuste.

1 INTRODUÇÃO

A obra localizada no Bairro Jardim Sul, região do Morumbi, Zona Sul da Cidade de São Paulo, é composta por duas torres de 27 andares cada, e dois subsolos.

O terreno possui declividade acentuada, variável entre cotas 783 e 806, ou seja, 23m de diferença entre o fundo e a frente do condomínio, em cerca de 50m, resultando em inclinação média de 24° (1v:2,2h).

A declividade impossibilitou o acesso de equipamentos de grande porte, uma vez que até mesmo a criação de diversos patamares seria inviável pelo posicionamento de pilares da estrutura.

As características geotécnicas não viabilizavam o uso de fundações mais rasas impondo profundidades próximas a 20 m. O nível d'água entretanto, não foi encontrado até o limite das sondagens, o que permitiu a escavação a seco.

2 ELEMENTOS DE PROJETO

2.1 Planta de Cargas

A torre A é composta por 20 pilares com cargas variáveis entre 340 e 1483 tf, e a torre B tem 33 pilares com cargas variáveis entre 306 e 1072 tf. A periferia das duas torres possui 85 pilares e cargas entre 20 e 292tf.

2.2 Relatório de Sondagens

A região é composta basicamente por solo residual resultante da alteração de micaxisto. A caracterização geotécnica mostra silte argilo arenoso, com fragmentos de rocha, caulim e mica. O N SPT varia entre 2 e 12 golpes até os 15m de profundidade, com valores crescentes após esta profundidade, chegando ao limite das sondagens com N SPT 30/7 (trinta golpes com

penetração de 7cm) aos 23m.

2.3 Poços de Prospecção

Foram executados quatro poços de prova, anteriormente à etapa de desenvolvimento do projeto de fundações, visando avaliar a possibilidade de uso de tubulões a céu aberto.

Verificou-se que o terreno entorno do fuste apresentava características satisfatórias de estabilidade as escavações até a profundidade da ordem de 15m, com xistosidade em planos subhorizontais, porém nesta profundidade as tensões admissíveis ficariam limitadas a 0,4MPa.

A partir dos 16m, a resistência a percussão apresenta valores crescentes, porém com a xistosidade passando a planos subverticais que impossibilitariam a abertura de base com segurança necessária ao desenvolvimento dos trabalhos.

3. DO PROJETO

As tensões admissíveis limitadas a 0,4MPa não possibilitaram o uso de tubulões como fundações dos pilares das torres. Entretanto, viabilizou esta solução como fundação dos pilares de periferia.

Apesar da impossibilidade de abertura de base em profundidades superiores a 16m, verificou-se que as escavações mantinham-se plenamente estáveis para escavações somente com fuste.

Adotou-se então o uso de estacas escavadas de grande diâmetro, com fustes entre 90 e 120cm, com realização de limpeza das paredes do fuste e fundo da base, removendo-se todo material solto, amolgado e fofo, que ficam aderidos ao fuste ou depositados na base.

Foram criados dois patamares de execução em cada uma das torres.

Os N SPT das sondagens de referência para o objetivo deste artigo são indicados abaixo.

Tabela 1. NSPT da SP-06

Prof. (m)	NSPT	Prof.(m)	NSPT
1	4	15	11
2	6	16	14
3	5	17	16
4	8	18	20
5	7	19	23
6	6	20	35
7	6	21	40
8	7	22	30/15
9	7	23	30/10
10	8	24	30/08
11	7	25	30/15
12	8	26	30/13
13	9	27	30/10
14	9		

Tabela 2. NSPT da SP-07

Prof. (m)	NSPT	Prof.(m)	NSPT
1	3	12	25
2	5	13	28
3	7	14	29
4	10	15	33
5	14	16	34
6	16	17	36
7	18	18	38
8	20	19	40
9	18	20	47
10	22	21	42
11	23		

Foram estimadas as capacidades de carga das estacas por três métodos consagrados: Aoki-Velloso (1975), com fatores reavaliados por Velloso (1991), Décourt-Quaresma (1978, adaptado em 1982 e 1996), e David Cabral (1986), sendo obtidos os valores mostrados nas tabelas 3 e 4 para o comprimento de 20m a partir da cota das sondagens, ou 22m a partir da cota da implantação.

Tabela 3. Estimativas de Capacidade de Carga da Sondagem SP06

Método	Parcela	Carga (tf)
Aoki-Velloso	PL	76
	PP	186
	PR	262
Décourt-Quaresma	PL	195
	PP	249
	PR	444
David Cabral	PL	139
	PP	261
	PR	400

Tabela 4. Estimativas de Capacidade de Carga da Sondagem SP07

Método	Parcela	Carga (tf)
Aoki-Velloso	PL	161
	PP	354
	PR	515
Décourt-Quaresma	PL	296
	PP	324
	PR	620
David Cabral	PL	271
	PP	383
	PR	654

Sendo:

PL – Carga máxima mobilizada no atrito lateral;
 PP – Carga máxima mobilizada na região da ponta;
 PR – Carga máxima de ruptura da interface estaca/solo.

Na tentativa de balizar os valores de PL foi realizada análise pela envoltória de Mohr Coulomb, Pinto (2000), com a adição do K_o (coeficiente de empuxo em repouso, conforme fórmula a seguir:

$PL=c'+K_o*\gamma_n*h*\tan\phi'$, sendo:

c' – coesão efetiva;

γ_n – peso específico natural;

h – profundidade;

ϕ' – ângulo de atrito interno efetivo do solo

Como as investigações geotécnicas ficaram limitadas às sondagens a percussão, foram feitas algumas simplificações e estimativas, conforme segue:

- A parcela da coesão efetiva foi adotada com a seguinte variação: 1tf/m² até 4m de profundidade, 2tf/m² entre 5 e 14m, e 3tf/m² a partir dos 15m;
- K_o igual a 1 em função de tratar-se de solo residual, com xistosidade de inclinação variável, ou seja, região com prováveis tensões residuais horizontais elevadas;
- O peso específico do solo foi adotado constante ao longo da profundidade e igual a 1,8tf/m³;
- O ângulo de atrito interno também foi considerado constante e igual a 28°.

Com a aplicação da fórmula foi obtido PL=624 tf para o comprimento de 20 m. Este valor foi

considerado elevado na ocasião, uma vez que os métodos analisados mostravam atritos laterais variáveis entre 76 e 195tf na P05A-E e entre 161 e 296tf na P22B-A.

A partir dessas análises foram adotados comprimentos de 22m para as estacas a partir da cota dos platôs. As perfurações foram realizadas com perfuratriz mecânica a partir da cota das sondagens, conforme tabela 5.

As estacas ensaiadas foram a estaca P05 A E da torre A e P22B-A da torre B conforme apresentado na tabela 5.

Tabela 5. Características das Estacas Ensiadas

Estaca sondagem	ϕ (cm)	Carga de Trabalho (tf)	Comp. (m)
P05A-E	SP06 90	215	21,85
P22B-A	SP 07 90	215	21,65

4. ENSAIOS DE CARREGAMENTO DINÂMICO

Foram realizados dois ensaios de carregamento dinâmico com martelo de queda livre de 7 tf de massa acoplado a uma torre, conforme figura 1.

As características das estacas foram anteriormente apresentadas na Tabela 5.

Para a realização do ensaio foi executado um bloco de coroamento, cilíndrico e com 1,90m de altura o que garantia 1,5 vezes o diâmetro da estaca mais 0,5m acima do arrasamento.

Avaliadas as condições do fuste da estaca logo abaixo do bloco optou-se por posicionar os instrumentos de medição do ensaio no bloco, em função da irregularidade da superfície. Os instrumentos foram instalados a 1,4m a partir do topo do bloco, conforme mostrado na figura 2. Foram instalados dois transdutores de deformação e dois acelerômetros, posicionados diametralmente opostos, visando detectar os eventuais efeitos de flexão devidos a excentricidade do golpe.



Figura 1. Martelo de Queda Livre Acoplado a Torre

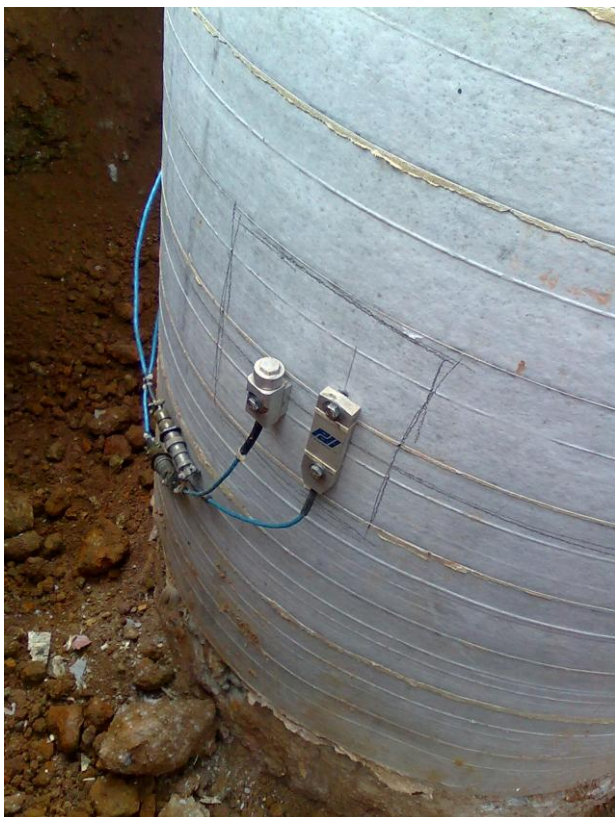


Figura 2. Instrumentos de Medição Instalados

Os ensaios foram realizados 28 dias após a execução da P05A-E e 37 dias após a execução da P22B-A.

Foram aplicados quatro golpes na P05A-E e cinco P22B-A, sempre com alturas crescentes a partir de 17cm até 135 cm, sendo analisado o último golpe de cada estaca pelo método CAPWAP C. Os resultados obtidos são mostrados na tabela 6.

Tabela 6. Resultados das Análises CAPWAP

Estaca	CAPWAP (tf)	Atrito Lateral (tf)	Ponta (tf)
P05A-E	792	508	284
P22B-A	900	694	205

O quake lateral máximo foi de 1mm nos dois casos. Já o quake de ponta teve 3,42mm (P05A-E) e 1,50mm (P22B-A).

5. CONCLUSÕES

A execução das estacas escavadas com limpeza de fuste e ponta atenderam plenamente as premissas de projeto e viabilizam a execução das fundações de forma segura e simples.

O processo de limpeza gerou incrementos de resistência, com relação ao atrito lateral, bastante significativos comparados aos métodos de estimativa de capacidade de carga consagrados, chegando a ser duas vezes superior à maior estimativa dos métodos.

As cargas de ponta não mostraram compatibilidade com as expectativas dos métodos de capacidade de carga, ainda mais quando se leva em consideração as condições favoráveis devidas à rigorosa limpeza.

Apesar várias considerações de simplificação, a análise pela envoltória de Mohr Coulomb obteve resultado próximo da média do atrito lateral obtida nos ensaios de carregamento dinâmico. Não se pretende aqui defender esta aplicação, porém sugere-se que sejam sempre ampliadas as análises, através de estudos de parametrização ou estimativas de capacidade de carga, quando o problema a ser avaliado estiver fora do panorama ou processo usual.

REFERÊNCIAS

- Aoki, N e Velloso, D. A. (1975) An Approximate Method to Estimate the Bearing Capacity of Piles, V PACSMFE Buenos Aires.
- Cabral, D.A. (1986) O Uso de Estacas Raiz com Fundação de Obras Normais, VIII COBRAMSEG, Vol. 6, p. 71-82, Porto Alegre
- Décourt, L. e Quaresma, A.R. (1978) Capacidade de Carga de Estacas a Partir de Valores do SPT – VI COBRAMSEG, p. 45-53, Rio de Janeiro.
- Décourt, L. (1982) Prediction of the Bearing Capacity of Piles Based Exclusively on N Values of the SPT, ESOPT II, p. 19-34, Amsterdam.
- Pinto, C.S. (2000) Curso Básico de Mecânica dos Solos – Aula 14, 247 p.
- Velloso, D.A. (1991) Capacidade de Carga por Meio do SPT, SEFE III, Vol. 2, p.293-312, São Paulo.