

ALEXSANDER SILVA MUCHETI

ESTACAS HÉLICE SEGMENTADA: EXECUÇÃO, VERIFICAÇÃO DE  
INTEGRIDADE E ESTUDO DO COMPORTAMENTO

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia.

São Paulo  
2008

ALEXSANDER SILVA MUCHETI

ESTACAS HÉLICE SEGMENTADA: EXECUÇÃO, VERIFICAÇÃO DE  
INTEGRIDADE E ESTUDO DO COMPORTAMENTO

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia.

Área de Concentração:  
Engenharia Geotécnica

Orientador:  
Prof.º Dr. Faiçal Massad

São Paulo  
2008

## FICHA CATALOGRÁFICA

**Mucheti, Alexsander Silva**

**Estacas hélice segmentada: execução, verificação de integridade e estudo do comportamento / A.S. Mucheti. -- São Paulo, 2008.**

**123 p.**

**Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica.**

**1.Fundações (Engenharia) 2.Estacas 3.Estacas hélice contínua e ômega 4.Geotecnia I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica II.t.**

*Ao meu querido avô Artemio Mucheti*

*(in-memorian) 1928 – 2008.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof.º Dr. Faiçal Massad, pelos ensinamentos e pelo imensurável apoio e compreensão no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof.º Dr. Paulo José Rocha de Albuquerque (UNICAMP), pela amizade e pelo incondicional apoio nos trabalhos desenvolvidos na UNICAMP.

Ao Prof.º Dr. David de Carvalho (UNICAMP), pela cooperação e preocupação, durante a realização da prova de carga.

Ao Eng.º Paulo Sérgio Augustini, proprietário da empresa Engestrauss Engenharia e Fundações Ltda, pelo incentivo, amizade e apoio financeiro para realização deste trabalho.

Ao Gerente Técnico e Operacional da empresa Engestrauss, Sr. Fabrício Alvarez, pelo companheirismo e compreensão durante todo o período do curso.

À todos os funcionários da empresa Engestrauss, que de várias formas, contribuíram para realização deste trabalho.

Ao Eng.º Gustavo Zanetti, pela amizade e por ter me apresentado à empresa Engestrauss.

À Eng.ª M.Sc Dayene Drusian Gomes (Damasco Penna), pelo incentivo e apoio nas horas em que tive dificuldades e verificação do trabalho.

Aos meus pais Davi e Ozana, grandes responsáveis por este alcance e, à toda minha família pela compreensão dos momentos de ausência.

E a todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para realização deste trabalho.

À todos muito obrigado!

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	iv
LISTA DE FOTOS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	x
LISTA DE SÍMBOLOS .....	xii
RESUMO .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>01</b>
<b>1.1. Objetivos .....</b>	<b>02</b>
<b>1.2. Justificativa .....</b>	<b>02</b>
<b>1.3. Metodologia .....</b>	<b>02</b>
<b>1.4. Organização do trabalho .....</b>	<b>03</b>
<b>CAPÍTULO 2 - HISTÓRICO – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>04</b>
<b>2.1. Estacas hélice contínua .....</b>	<b>04</b>
<b>2.2. Estacas hélice segmentada .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3. Metodologia executiva das estacas hélice contínua .....</b>	<b>15</b>
2.3.1. Posicionamento do equipamento .....	16
2.3.2. Introdução da hélice no terreno .....	17
2.3.3. Concretagem .....	19
2.3.4. Colocação da armadura .....	22
2.3.5. Monitoração da execução .....	24
2.3.5.1. TARACORD .....	26
2.3.5.2. TARALOG .....	27
<b>CAPÍTULO 3 – ESTACAS HÉLICE SEGMENTADA .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1. Metodologia executiva .....</b>	<b>28</b>
3.1.1. Introdução da hélice no terreno .....	28

3.1.2.	Concretagem .....	31
3.1.3.	Colocação da armadura .....	33
3.1.4.	Monitoração da execução .....	34
<b>3.2.</b>	<b>Utilização dos equipamentos – Estaca hélice segmentada .....</b>	<b>38</b>
3.2.1.	Execução de estacas próximas a divisas .....	38
3.2.2.	Execução de estacas em locais com pé direito reduzido .....	40
3.2.3.	Execução de estacas em locais de espaços reduzidos .....	40
3.2.4.	Equipamentos de peso reduzido .....	41
 <b>CAPÍTULO 4 – PESQUISA EXPERIMENTAL .....</b>		<b>42</b>
 <b>4.1.</b>	 <b>Verificação da integridade das estacas através do PIT .....</b>	 <b>42</b>
4.1.1.	Histórico do ensaio .....	42
4.1.2.	Concepção do ensaio e fundamentos teóricos .....	42
4.1.3.	Utilização do ensaio, limitações, vantagens e desvantagens .....	44
4.1.4.	Conferências Técnicas .....	46
4.1.5.	Normalização .....	46
4.1.6.	Preparo das estacas para a execução dos ensaios de integridade (PIT) .....	47
4.1.7.	Interpretação do sinal .....	48
<b>4.2.</b>	<b>Aspectos da geologia e do subsolo nos locais em estudo .....</b>	<b>50</b>
4.2.1.	Região de São Bernardo do Campo – SP .....	50
4.2.2.	Região de Campinas – SP .....	54
<b>4.3.</b>	<b>Desenvolvimento da Pesquisa .....</b>	<b>57</b>
4.3.1.	Verificação de integridade – Região de São Bernardo do Campo – SP .....	57
4.3.1.1.	Localização das estacas executadas .....	58
4.3.1.2.	Características executivas das estacas .....	60
4.3.1.2.1.	Estacas executadas “com” e “sem” o levantamento do trado .....	60
4.3.1.2.2.	Particularidade executiva das estacas .....	62
4.3.1.3.	Relatório gerado pela monitoração da perfuratriz .....	63
4.3.1.4.	Execução dos ensaios de integridade (PIT) .....	66
4.3.2.	Prova de carga instrumentada – Região de Campinas – SP .....	67
4.3.2.1.	Localização da estaca teste executada .....	69
4.3.2.2.	Relatório gerado pela monitoração da perfuratriz .....	70

4.3.2.3.	Instrumentação da estaca teste .....	73
4.3.2.3.1.	Dispositivo de aplicação de carga .....	73
4.3.2.3.2.	Dispositivos de medida .....	75
4.3.2.4.	Execução da prova de carga .....	78
<b>4.4.</b>	<b>Análise dos resultados do PIT – Verificação da integridade .....</b>	<b>80</b>
4.4.1.	Agrupamento e análise dos dados .....	80
<b>4.5.</b>	<b>Análise dos resultados da prova de carga instrumentada – Estudo do comportamento .....</b>	<b>95</b>
4.5.1.	Resultados obtidos com a instrumentação no topo da estaca .....	95
4.5.2.	Resultados obtidos com a instrumentação em profundidade .....	97
4.5.2.1.	Propriedades dos materiais da estaca .....	97
4.5.2.2.	Manipulação dos dados da instrumentação em profundidade .....	100
4.5.2.2.1.	Reação de ponta .....	101
4.5.2.2.2.	Atrito lateral unitário .....	103
4.5.3.	Previsão da capacidade de carga .....	108
4.5.4.	Comparação de resultados entre Estacas Hélice Segmentada e Contínua .....	108
<b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA OUTRAS PESQUISAS .....</b>		<b>111</b>
<b>5.1.</b>	<b>Conclusões da Dissertação .....</b>	<b>111</b>
<b>5.2.</b>	<b>Sugestões para outras pesquisas .....</b>	<b>111</b>
<b>CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>113</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Equipamento montado em guindaste com lança treliçada (PENNA et al., 1999) .....	05
Figura 2.2 – Dimensões, perfuratriz SD-45 (SOLODRILL, 2008) .....	11
Figura 2.3 – Fases de execução da estaca hélice contínua (Penna et al., 1999) .....	16
Figura 2.4 – Introdução da hélice (GEOFIX, 1998) .....	17
Figura 2.5 – Concretagem (GEOFIX, 1998) .....	20
Figura 2.6 – Localização dos sensores na perfuratriz (GEOFIX, 1998) .....	24
Figura 2.7 – Folha de controle gerado pela monitoração da perfuratriz (ENGESTRAUSS, 2007) .....	25
Figura 3.1 – Concretagem – Esquema de remoção das hélices .....	32
Figura 3.2 – Tela inicial de “Estacionamento e Ancoragem” (Guia do Usuário Compugeo – SIMEhC, 2004) .....	35
Figura 3.3 – Tela inicial de “Perfuração da Estaca” (Guia do Usuário Compugeo – SIMEhC, 2004) .....	35
Figura 3.4 – Tela inicial de “Concretagem da Estaca” (Guia do Usuário Compugeo – SIMEhC, 2004) .....	36
Figura 3.5 – Exemplo de relatório fornecido pelo Compugeo .....	38
Figuras 4.1 A à M – Exemplos de defeito variando a resistência do atrito lateral e a área da estaca (PDI, 1998, apud FIGUEIREDO, 2003) .....	49
Figura 4.2 - Localização de São Bernardo do Campo na Grande São Paulo (WIKIPEDIA, 2008) .....	50
Figura 4.3 – Croquis de locação das sondagens .....	52
Figura 4.4 – Secção geológica do local – São Bernardo do Campo – SP .....	53
Figura 4.5 – Geologia de Campinas (NMA-Embrapa/Ecoforça/USP, 1996) .....	54
Figura 4.6 – Perfil geológico do da região de Campinas, (ZUQUETTE, 1987, apud ALBUQUERQUE, 2001) .....	55
Figura 4.7 – Valores de $N_{SPT}$ . (CARVALHO et al., 2004) .....	56
Figura 4.8 – Valores de $T_{máx}$ e $T_{mín}$ (CARVALHO et al., 2004) .....	56
Figura 4.9 – Estacas executadas na região da sondagem SP-01 .....	58
Figura 4.10 – Estacas executadas na região da sondagem SP-04 .....	58
Figuras 4.11 A à J – Gráficos gerados pela monitoração da perfuratriz .....	64

Figura 4.12 – Alinhamento das estacas .....	69
Figura 4.13 – Localização das estaca hélice segmentada no campo experimental da UNICAMP .....	70
Figura 4.14 – Gráfico executivo da estaca de reação 1 .....	71
Figura 4.15 – Gráfico executivo da estaca de reação 2 .....	71
Figura 4.16 – Gráfico executivo da estaca submetida ao carregamento vertical .....	72
Figura 4.17 – Prova de carga estática à compressão com reação em tirantes ancorados e estacas (FUNDSOLO, 2007) .....	74
Figura 4.18 – Esquema do sistema de reação (ALBUQUERQUE, 2001) .....	74
Figura 4.19 – Formato das curvas “velocidade x tempo” dos ensaios de integridade (PIT) .....	81
Figura 4.20 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 01 .....	83
Figura 4.21 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 02 .....	84
Figura 4.22 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 03 .....	85
Figura 4.23 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 04 .....	86
Figura 4.24 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 05 .....	87
Figura 4.25 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 06 .....	88
Figura 4.26 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 07 .....	89
Figura 4.27 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 08 .....	90
Figura 4.28 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 09 .....	91
Figura 4.29 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 10 .....	92
Figura 4.30 – Curvas carga x deslocamento no topo .....	96
Figuras 4.31 A e B– Curvas carga x deformação nos níveis instrumentados .....	98
Figuras 4.32 A e B – Gráfico do Módulo Tangente .....	99
Figura 4.33 – Gráfico de transferência de carga, carregamento lento e rápido .....	102
Figura 4.34 – Gráfico de reação de ponta x deslocamento acumulado no topo (Carregamento lento e rápido) .....	103
Figura 4.35 – Atrito lateral unitário médio ao longo do fuste em função do deslocamento no topo (Carregamento lento e rápido) .....	104
Figura 4.36 – Atrito lateral unitário no trecho 0,4 – 5,0 m em função do deslocamento no topo (Carregamento lento e rápido) .....	104
Figura 4.37 – Atrito lateral unitário no trecho 5,0 – 12,0 m em função do deslocamento no topo (Carregamento lento e rápido) .....	105
Figura 4.38 – Atrito lateral, carregamento lento .....	106

Figura 4.39 – Atrito lateral, carregamento rápido ..... 107

## LISTA DE FOTOS

Foto 2.1 – Primeiro equipamento de estacas tipo hélice contínua em operação no Brasil (LÁZARO, 2003) .....	06
Foto 2.2 – Equipamento para execução de estacas hélice segmentada (BARRETO, 2005) .....	10
Foto 2.3 – Perfuratriz MD 3000 – Chegada ao Brasil (ENGESTRAUSS, 2002) .....	11
Fotos 2.4 A e B – Equipamento MD 3000 – Alimentação das hélices com o guincho auxiliar (ENGESTRAUSS, 2002) .....	13
Fotos 2.5 A e B – Equipamento MD 3000 – Alimentador automático de trados (ENGESTRAUSS, 2004) .....	13
Foto 2.6 – Equipamento BR 4000 (ENGESTRAUSS, 2004) .....	14
Foto 2.7 – Equipamento SD 45 (ENGESTRAUSS, 2006) .....	14
Foto 2.8 – Posicionamento do eixo da hélice no ponto de locação .....	17
Foto 2.9 – Detalhe da ponta do trado com a tampa recuperável .....	18
Foto 2.10 – Colocação da armadura manualmente com o auxílio do guincho auxiliar do equipamento .....	23
Foto 2.11 – Detalhe das armaduras em forma de gaiola .....	23
Foto 2.12 – Remoção do concreto ainda fresco .....	24
Foto 2.13 – Detalhe do equipamento TARACORD .....	26
Foto 2.14 – Detalhe do equipamento TARALOG (Catálogo JEAN LUTZ, 1997) .....	27
Foto 3.1 – Equipamento MD 3000 – Detalhe da Mesa Rotativa (ENGESTRAUSS, 2004) .....	28
Foto 3.2 – Equipamento SD 45 – Introdução do 1ª segmento da hélice (ENGESTRAUSS, 2006) .....	29
Fotos 3.3 A e B – Equipamento MD 3000 – Detalhe da Morsa (ENGESTRAUSS, 2002) .....	29
Foto 3.4. – Equipamento SD 45 – Detalhe da rosca cônica (ENGESTRAUSS, 2006) .....	30
Foto 3.5 – Equipamento SD 45 – Detalhe do alimentador mecânico de hélices (ENGESTRAUSS, 2006) .....	30
Fotos 3.6 A, B e C – Detalhe do acoplamento da hélice, introdução da hélice subsequente e detalhe do alimentador mecânico de trados (ENGESTRAUSS, 2006) .....	30

Foto 3.7 – Concretagem da estaca (ENGESTRAUSS, 2004) .....	31
Foto 3.8 – Colocação da armação com auxílio mecânico (ENGESTRAUSS, 2004) .....	33
Foto 3.9 – Detalhe do rolete espaçador de plástico .....	33
Foto 3.10 – Computador Compugeo (Guia do Usuário Compugeo – SIMEhC, 2004) .....	34
Foto 3.11 – Execução de estaca próxima à divisa (ENGESTRAUSS, 2004) .....	39
Foto 3.12 – Estacas executadas junto às divisas (ENGESTRAUSS, 2005) .....	39
Fotos 3.13 A e B – Estacas executadas em locais com pé direito reduzido (ENGESTRAUSS, 2003) .....	40
Foto 3.14 – Estacas executadas em locais de espaços reduzidos (ENGESTRAUSS, 2002) .....	41
Foto 3.15 – Estacas executadas na margem do Rio Tietê (ENGESTRAUSS, 2004) .....	41
Foto 4.1 – Detalhe do martelo de mão (PDI, 2007) .....	43
Foto 4.2 – Trabalho para regularização da superfície da estaca (PDI, 2007) .....	48
Foto 4.3 – Estaca com a superfície preparada para o ensaio (PDI, 2007) .....	48
Foto 4.4 – Local onde se executaram estacas hélice segmentada (GOOGLE, 2006) .....	51
Foto 4.5 – Localização do Campo Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da Unicamp – Campinas – SP (GOOGLE, 2007) .....	57
Foto 4.6 – Estacas executadas na região da sondagem SP-01 .....	59
Foto 4.7 – Estacas executadas na região da sondagem SP-04 .....	59
Foto 4.8 – Perfuratriz MD-3000 .....	61
Foto 4.9 – Execução dos ensaios de integridade (PIT) .....	67
Fotos 4.10 A e B – Regiões de execução dos ensaios de integridade (PIT) .....	67
Foto 4.11 – Perfuratriz SD-45 no Campo Experimental da UNICAMP .....	68
Fotos 4.12 A e B – Detalhe do tubo galvanizado e do prolongamento no bloco de coroamento .....	68
Foto 4.13 – Vista do bloco de coroamento .....	69
Foto 4.14 – Conjunto bomba-macaco hidráulico .....	73
Foto 4.15 – Instalação do tirante imediatamente após a concretagem da estaca .....	75
Foto 4.16 – Detalhe do relógio comparador .....	76
Foto 4.17 – Célula de carga .....	76
Fotos 4.18 A e B – Colagem dos strain-gages .....	77
Fotos 4.19 A e B – Calibração e verificação do funcionamento dos strain-gages .....	77
Foto 4.20. – Instalação da barra instrumentada no tubo galvanizado .....	77
Foto 4.21 – Leitor de deformações e caixa seletora .....	78

Fotos 4.22 A e B – Instalação da instrumentação em profundidade .....	97
Foto 4.23 – Escavação ao redor do bloco de coroamento .....	97

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Síntese dos trabalhos apresentados no SEFE IV .....	07
Tabela 2.2 – Síntese dos trabalhos apresentados no XII COBRAMSEG .....	08
Tabela 2.3 – Síntese dos trabalhos apresentados no SEFE V .....	09
Tabela 2.4 – Especificações Técnicas (SOLODRILL, 2008) .....	12
Tabela 2.5 – Comparativo de características, perfuratriz para estaca tipo hélice contínua CASAGRANDE modelo B-200 x hélice segmentada SOLODRILL modelo SD-45 .....	12
Tabela 2.6 – Comparativo financeiro, estacas tipo strauss x hélice segmentada .....	15
Tabela 4.1. – Relação das Conferências Internacionais realizadas, número de artigos gerais e números de artigos relacionados com o (PIT) (GOLDEMBERG, 2000, apud FIGUEIREDO, 2003) .....	46
Tabela 4.2 – Relação dos Países com as suas respectivas normas (BEIM et al., 1998, apud FIGUEIREDO, 2003) .....	47
Tabela 4.3 – Concreto no tubo central da hélice .....	61
Tabela 4.4 – Principais características das estacas .....	63
Tabela 4.5 – Parecer técnico fornecido pela empresa executora do ensaio de integridade (PIT) .....	81
Tabela 4.6 – Profundidade da paralisação e retomada das concretagens .....	82
Tabela 4.7 – Característica geométrica da estaca .....	96
Tabela 4.8 – Valores de carga e deslocamento máximos obtidos nas provas de carga .....	96
Tabela 4.9 – Módulo de elasticidade da estaca .....	100
Tabelas 4.10 A e B – Valores de carga no topo, nos níveis instrumentados e porcentagem de ponta, carregamento lento e rápido .....	101
Tabela 4.11 – Valores de atrito lateral unitário máximo, obtido no ensaio lento e rápido .....	105
Tabela 4.12 – Previsão da capacidade de carga .....	108
Tabela 4.13 – Módulo de elasticidade do concreto da estaca tipo hélice segmentada e das estacas hélice contínua .....	109
Tabela 4.14 – Comparativo da carga de ruptura e deslocamentos .....	109
Tabela 4.15 – Comparativo dos valores de atrito lateral unitário máximo obtido nos ensaios lentos .....	110

Tabela 4.16 – Comparativo dos valores de atrito lateral unitário máximo obtido nos ensaios rápidos .....	110
Tabela 4.17 – Carga de ponta na ruptura das estacas tipo hélice segmentada e tipo hélice contínua .....	110

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\varepsilon$	deformação
$\gamma$	densidade do material da estaca
$\emptyset$	diâmetro (mm)
$A$	área da secção transversal da estaca (m <sup>2</sup> )
$c$	velocidade de propagação da onda do ensaio de integridade (PIT)
$D$	diâmetro da estaca (m)
$E$	módulo de elasticidade da estaca
E.01 a 10	estacas hélice segmentada
E.R1	estaca de reação n.º 1
E.R2	estaca de reação n.º 2
E.PC	estaca submetida ao carregamento vertical
$f$	atrito lateral unitário (kPa)
$f_{ck}$	resistência à compressão característica do concreto (MPa)
$g$	aceleração da gravidade
$MT$	medida de torque (bar)
$N_{SPT}$	índice de resistência a penetração obtido no ensaio SPT e SPT-T
$P$	carga (kN)
$PC$	pressão de injeção do concreto (bar)
<i>Perfil</i>	provável perfil da estaca
PIT	pile integrity test (ensaio de integridade de estacas)
$R_p$	reação de ponta (kPa)
SP-01 a 04	furos de sondagem a percussão
$T_{m\acute{a}x.}$	torque máximo (kgf.m)
$T_{m\acute{i}n.}$	torque mínimo (kgf.m)
$VA$	velocidade de avanço da hélice durante a perfuração (m/h)
$VR$	velocidade de rotação da hélice (rpm)
$VS$	velocidade de subida da hélice durante a concretagem (m/h)
$Z$	impedância
$z$	profundidade (m)

## RESUMO

O trabalho apresenta o histórico e o desenvolvimento dos equipamentos de estacas hélice segmentada, que surgiram no ano de 2002. Atualmente já existe um número representativo de equipamentos em operação no mercado, confirmando a boa aceitação do processo pelo meio técnico.

São detalhados os aspectos executivos deste tipo de fundação e investiga-se o risco de sua execução no aspecto operacional, no que se refere à integridade da estaca, caso não sejam observados padrões ou regras adequadas pelas empresas executoras. Foram executados ensaios de integridade (PIT) em 10 estacas hélice segmentadas, instaladas em São Bernardo do Campo – SP, com particularidades executivas diversificadas e em terreno com características distintas, que permitiram verificar a confiabilidade dos gráficos de monitoração da perfuratriz.

Ainda neste trabalho, apresenta-se resultado de prova de carga instrumentada, feita numa estaca hélice segmentada de 30 cm de diâmetro e 12 m de comprimento, instalada no Campo Experimental de Fundações e Mecânica dos Solos da UNICAMP. A estaca foi submetida a carregamentos lento e rápido, estáticos e à compressão, e seus resultados são comparados com os de provas de carga em estacas tipo hélice contínua, de mesmo comprimento, feitas anteriormente no local.

Ao término, apresentam-se algumas recomendações baseadas na pesquisa e no acompanhamento de obras, podendo-se assim, avaliar padrões de boa e má execução.

Palavras-chave: Fundações (Engenharia). Estacas. Estacas Hélice Contínua e Ômega. Geotecnia.

## ABSTRACT

This work presents the history and development of segmented flight auger equipment, which appeared in 2002 in Brasil. Nowadays there is already a considerable number of equipments being operated in the market, confirming the well acceptance of the process in the technical field.

The executive aspects on this type of foundation are detailed and it is investigated the risk of its execution in the operational aspect regarding the pile integrity, in case patterns or adequate rules are not observed by the pile companies. Pile integrity tests have been carried out in 10 segmented flight augers installed in São Bernardo do Campo – SP, with executive particularities in diversified fields with distinguished characteristics, which allowed to check the reliability of monitoring graphs from the drilling machine.

In addition, it is shown the result of an instrumented loading test, carried out on a segmented flight auger of 30 cm diameter and 12 m length, installed at the Experimental Field of Foundation and Soil Mechanics at UNICAMP. The pile was submitted to slow and quick static loading compression tests. A comparison is made with the results of load tests on continuous flight auger, of the same length, done before on this site.

Finally, some recommendations are presented based on the research and on the follow-up of constructions, allowing to evaluate patterns of good and bad execution.

Keywords: Foundations (Engineering). Piles. Continuous Flight Auger and Omega Piles. Geotechnic.

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Em 1987 as estacas tipo hélice contínua (continuous flight auger), foram introduzidas no Brasil. A partir de 1993, com o aumento da importação de equipamentos, houve um crescimento no número de empresas executoras deste tipo de serviço.

Amplamente utilizadas em obras de fundações, as estacas tipo hélice contínua tornaram-se freqüentes devido às vantagens técnicas combinadas ao custo baixo e à velocidade de execução.

No ano de 2001, a empresa Engestrauss Engenharia de Fundações Ltda, situada na cidade de Santo André – SP, também executora de estacas tipo hélice contínua desde 1998, idealizou um equipamento de características semelhantes, porém de dimensões e peso reduzidos, com a finalidade de suprir boa parte das obras executadas com estacas tipo strauss, estaca que a empresa já executa há mais de 20 anos.

Desde então começou a procura por uma empresa que estaria disposta a desenvolver um equipamento que atendesse às necessidades solicitadas.

A empresa EGTECHNOLOGY, fabricante de equipamentos para fundações, estabelecida na Itália, iniciou a fabricação de um equipamento com as características exigidas pela Engestrauss.

Em dezembro de 2002 chegou ao Brasil o primeiro equipamento para execução de estacas tipo hélice contínua com trados segmentados, assim nomeada “hélice segmentada”.

Uma perfuratriz de dimensões e peso reduzidos, podendo hoje executar estacas com diâmetros de 25, 30, 35, 40 e 50 cm, com cargas de trabalho de 300 a 1.200 kN, em locais de espaço reduzido, pé direito da ordem de 7,50 m e podendo também executar estacas com a distância de até 35 cm de divisas, se tornou um atrativo para os projetistas e construtores.

A empresa Engestrauss possui dois equipamentos, um importado e outro de fabricação nacional, para execução deste tipo de fundação. A empresa E.G. Barreto, através do Engenheiro Gilmar Willian Barreto, desenvolveu um equipamento similar que foi tema de sua dissertação de mestrado na EESC-USP (2005), intitulada: “Desenvolvimento de um equipamento para execução de estacas hélice segmentada”.

A alta demanda de serviços e a versatilidade de utilização despertou o interesse de outras empresas do setor, tanto em São Paulo como em outros estados. Para tanto, hoje o

mercado dispõe de uma empresa nacional na fabricação de equipamentos de estacas hélice segmentada.

A grande maioria dos projetistas e construtores recomendam e aprovam esse tipo de estaca, mas há alguns que ainda acreditam que o trado segmentado pode oferecer alguns problemas. O principal deles é quanto à integridade do fuste das estacas, principalmente para estacas que atravessam solos de baixa resistência.

### **1.1 Objetivos**

A pesquisa tem como objetivo apresentar este novo tipo de estaca, mostrando de forma detalhada os aspectos executivos, sua aplicação em obras, suas vantagens e desvantagens e verificar sua integridade após a execução, utilizando ensaios de integridade PIT e checar sua capacidade de carga através de prova de carga estática instrumentada em profundidade.

### **1.2 Justificativa**

Atualmente, apesar de sua aceitação no mercado, ainda não há uma divulgação e registros com estudos sobre a garantia de sua integridade e do seu comportamento.

A utilização do processo por um grande número de executores pode acarretar problemas na qualidade e no desempenho deste tipo de estaca, caso não sigam uma regra adequada no processo executivo. Diante disto, apresenta-se o estudo da verificação da integridade com ensaio PIT de estacas com características executivas diversificadas.

### **1.3. Metodologia**

Para atingir o objetivo desta pesquisa a metodologia adotada consistiu na observação do processo executivo em diversas obras, envolvendo a execução de 10 estacas de 30 cm de diâmetro e comprimentos entre 8 e 15 m. Estas estacas, com características operacionais diversificadas, instaladas em solo de baixa resistência, foram submetidas a ensaios de integridade (PIT) para a verificação de sua integridade.

Além disso, foi executada uma prova de carga instrumentada em profundidade no CE\_UNICAMP (Campo Experimental da UNICAMP), em uma estaca de 30 cm de

diâmetro e 12 m de comprimento, e feitas comparações com os resultados de provas de carga existentes no local, em estacas hélice contínua monitorada.

#### **1.4. Organização do trabalho**

A dissertação inicia-se com um apanhado histórico sobre as estacas hélice contínua monitorada e hélice segmentada, em grande parte baseado em revisão bibliográfica. Neste item foi incluída a metodologia executiva das estacas hélice contínua monitorada.

Na seqüência, são abordadas:

- a) a metodologia executiva das estacas hélice segmentada;
- b) a verificação da integridade e do comportamento das estacas hélice segmentada através de ensaios. Nestes itens, sempre que necessário, são feitas citações bibliográficas. No subitem de verificação da capacidade de carga são antecipadas informações técnicas executivas da prova de carga executada no CE\_UNICAMP.

A pesquisa experimental é apresentada nos itens seguintes, abrangendo os ensaios de integridade (PIT), feitos na cidade de São Bernardo do Campo, e a prova de carga em Campinas, ambas no estado de São Paulo.

Finalmente, são apresentadas as conclusões da presente pesquisa.

## CAPÍTULO 2 – HISTÓRICO – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Estacas Hélice Contínua

As estacas tipo hélice contínua ou CFA (continuous flight auger) surgiram na década de 50 nos Estados Unidos. O equipamento para sua execução era composto por guindaste com lança treliçada, munido de uma torre com mesa rotativa acoplado, que podia executar estacas de diâmetro de 275, 300 e 400 mm (Figura 2.1). No início da década de 70 o processo executivo foi implantado na Alemanha, em pouco tempo se espalhou para toda Europa e Japão (PENNA et. al., 1999).

Na década de 80, nos Estados Unidos, Japão e Europa, as estacas tipo hélice contínua tiveram um grande desenvolvimento, inicialmente nos equipamentos adaptados e posteriormente, com equipamentos específicos e apropriados para execução deste tipo de estaca. Este método executivo de estacas se tornou muito popular e difundido na Europa, segundo BRONS & KOLL (1988), principalmente pelas vantagens técnicas combinadas com o custo relativamente baixo.

Segundo estudos realizados por Van Impe na Europa (Grã-Bretanha, Áustria, Itália, Holanda, Alemanha, Bélgica e França), observou-se a tendência de utilização das estacas tipo hélice contínua na substituição de estacas escavadas (Apud HARTIKAINEN & GAMBIN, 1991).

Com o aperfeiçoamento dos equipamentos específicos para sua execução, as estacas tipo hélice contínua foram sofrendo mudanças em seu método executivo. Dentre as principais e mais importantes pode-se citar a substituição da argamassa pelo uso de concreto, o desenvolvimento da instrumentação permitindo a monitoração automática da execução da estaca, aumento nos diâmetros e nas profundidades, bem como o aumento da potência dos equipamentos, o que permitiu a execução destas estacas em diversos tipos de solo (CAPUTO et al., 1997).

As estacas tipo hélice contínua foram introduzidas no Brasil em 1987, com equipamentos fabricados a partir de modelos utilizados no exterior (Foto 2.1). Os equipamentos possuíam torque de 35 kN.m, diâmetros de hélice de 275, 350 e 425 mm e permitiam a execução de estacas até 15 m de profundidade (ANTUNES & TAROZZO, 1996).

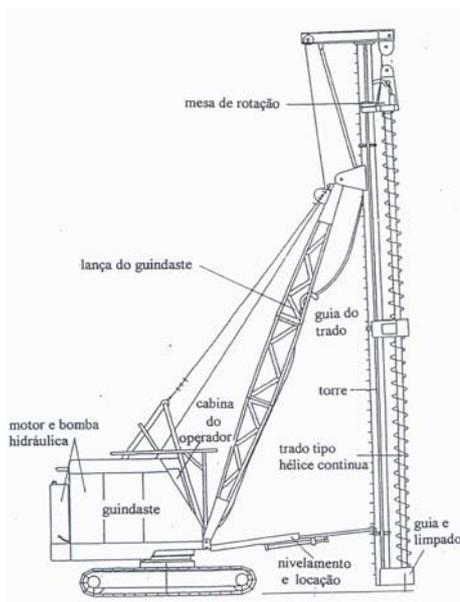


Figura 2.1 – Equipamento montado em guindaste com lança treliçada (PENNA et al., 1999).

No Brasil, a primeira publicação técnica sobre as estacas tipo hélice contínua ocorreu em 1989, no Rio de Janeiro, durante a realização do XII ICSMFE, com a publicação “ABEF Research on Foundation Engineering”, que relata as primeiras pesquisas sobre este tipo de estaca no Brasil, realizadas no CEUSP - Campo Experimental de Fundações da Escola Politécnica da USP (ABEF, 1989).

Nesta publicação as estacas tipo hélice contínua estudadas foram de diâmetros 350 e 425 mm. Executaram-se provas de carga estática sendo uma delas (HLC-4 – Ø 425 mm) instrumentada em profundidade com “strain-gages”, em 3 níveis (ABEF, 1989).

MASSAD (1991c) teve a oportunidade de analisar esta estaca instrumentada, comparando o seu desempenho com outra estaca escavada, instaladas no mesmo local (CEUSP).

A partir da metade da década de 90, o mercado brasileiro assistiu um aumento no número de máquinas importadas da Europa, principalmente da Itália, construídas especialmente para execução de estacas hélice contínua, com torque de 90 kN.m a mais de 200 kN.m, diâmetros de hélice de até 1000 mm e capacidade de executar estacas de até 24 m de profundidade (ANTUNES & TAROZZO, 1997).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, em abril de 1996, editou a NBR6122 “Projeto e Execução de Fundações”, onde aparece a estaca tipo hélice contínua pela primeira vez em uma norma técnica brasileira (ABNT, 1996).



Foto 2.1 – Primeiro equipamento de estacas tipo hélice contínua em operação no Brasil (LÁZARO, 2003).

No SEFE III, em novembro de 1996, foi lançado o livro *Fundações Teoria e Prática* pelo Núcleo Regional de São Paulo da ABMS e a ABEF. No capítulo 9 (Execução de Fundações Profundas), item 9.1 (Estacas moldadas “in loco”), sub-item 9.1.3 (Estacas Tipo Hélice Contínua), ANTUNES & TAROZZO (1996), descrevem o histórico, a metodologia executiva, equipamentos, o controle executivo, suas vantagens e desvantagens de utilização e a sua aplicação.

Ainda neste seminário, são apresentados 4 trabalhos, com ênfase quer na comparação entre resultados de prova de carga e métodos de cálculo da capacidade de carga (ANTUNES & CABRAL, 1996) e (ZACLIS & FALCONI, 1996), quer na importância da monitoração por instrumentação eletrônica para garantir a qualidade das estacas (CAPUTO & MANRUBIA).

No mesmo evento, ALONSO (1996) propôs um método semi-empírico para a previsão da capacidade de carga à ruptura de estacas tipo hélice contínua, utilizando os valores de adesão obtidos com o torque medido nas sondagens à percussão (ensaio SPT-T).

Em agosto de 1999, com o objetivo de divulgar o estágio de conhecimento das estacas Hélice Contínua no Brasil, o NRSP da ABMS promoveu o evento “Estacas Hélice

Contínua a Experiência Atual”, com a publicação de um livro que tem o mesmo título (PENNA, et al., 1999).

No SEFE IV, em julho de 2000, foram apresentados 11 trabalhos técnicos, relacionados à estacas hélice contínua, resumidos na Tabela 2.1.

<b>Autor</b>	<b>Temas abordados</b>	<b>N.º de estacas</b>	<b>Local</b>
KORMANN et al.	Provas de carga estáticas e dinâmicas.	2	Curitiba – PR
BRANCO et al.	Prova de carga estática.	3	Londrina – PR
MASSAD & WINZ	Influência da velocidade de carregamento na capacidade de carga de ruptura.	3	São Bernardo do Campo – SP e São Paulo – SP
KAREZ & ROCHA	Provas de carga e correlações diversas com o SPT.	38	Sul e Sudeste do Brasil
GOTLIEB et al.	Provas de carga e método de estimativa da carga de ruptura com base no SPT.	48	Sul e Sudeste do Brasil
ALONSO & DA SILVA	Uso da “expancell” para estimar a curva carga-recalque.	2	-
VELLOSO	Interpretação dos diagramas de controle de execução.	-	-
VORCARO & VELLOSO	Formulação probabilística para previsão da carga de ruptura.	Banco de dados de Alonso (2000)	-
ALONSO	Prova de carga horizontais.	5	Curitiba – PR e São Paulo – SP
ALONSO	Reavaliação de método de cálculo da carga de ruptura.	5	Araucária – PR e Serra – ES
ALONSO	Formação de um banco de dados de provas de carga.	137	AM, PE, BA, ES, MG, RJ, SP, PR, SC e RS

Tabela 2.1 – Síntese dos trabalhos apresentados no SEFE IV.

Entre 2001 e 2002 foram defendidas duas Dissertações de Mestrado e uma Tese de Doutorado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em São Paulo. Em FOTI (2001), compara resultados de provas de carga realizadas em estacas desse tipo Strauss com provas de carga realizadas em estacas hélice contínua, executadas no Campo Experimental da EPUSP/ABEF. Já ALBUQUERQUE (2001), em sua tese de doutoramento, realiza um estudo comparativo, entre estacas escavadas, estacas hélice contínua e estacas ômega, com base em 9 provas de carga instrumentadas, executadas no Campo Experimental da UNICAMP em Campinas – SP. Finalmente, ALMEIDA NETO

(2002) compara, em sua dissertação de mestrado o desempenho de estacas tipo hélice contínua e ômega por meio de resultados de prova de carga.

Em novembro de 2002, a ABMS realizou, em São Paulo, o XII COBRAMSEG (Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica), onde foram apresentados 9 trabalhos sobre estacas hélice contínua, resumidos na Tabela 2.2.

<b>Autor</b>	<b>Temas abordados</b>	<b>N.º de estacas</b>	<b>Local</b>
SILVA et al.	Análise de prova de carga instrumentada e comparação de métodos de previsão da carga de ruptura.	-	Brasília - DF
ALONSO (a)	Influência da execução na carga de ruptura.	-	-
GUIMARÃES et al.	Carga de ruptura de prova de carga x Cálculo por métodos empíricos.	1	Brasília - DF
SALES et al.	Carga de ruptura de prova de carga x Cálculo por métodos empíricos.	1	Goiânia - GO
ALONSO (b)	Mostra a viabilidade de se usar estacas hélice contínua em Santos.	2	Santos - SP
GOTLIEB et al.	Continuidade do estudo apresentado no SEFE IV.	99	-
ALONSO (c)	Acréscimo ao seu banco de dados apresentado no SEFE IV	80	-
ANDREO et al.	Ensaio dinâmico com energia crescente. Comparação com métodos semi-empíricos para estimar a carga de ruptura.	2	Mauá - SP
DÉCOURT	Comportamento de estacas hélice contínua em solos lateríticos.	-	Londrina – PR

Tabela 2.2 – Síntese dos trabalhos apresentados no XII COBRAMSEG.

LÁZARO (2003) em sua Dissertação de Mestrado procurou correlacionar a monitoração de 105 estacas hélice contínuas com características dos solos, através do SPT, como respaldo às previsões de suas capacidades de carga.

No SEFE V, em novembro de 2004, foram apresentados 11 artigos técnicos relacionados às estacas hélice contínua, resumidos na Tabela 2.3.

BARRETO (2005) apresentou o desenvolvimento de um equipamento sob pneus para a execução de estacas tipo hélice segmentada (Foto 2.2), o sistema não apresenta monitoração eletrônica, o preenchimento da estaca é feito com argamassa de cimento e

areia e o controle de pressão de injeção é feito por um manômetro especial para medir pressões em meios abrasivos.

<b>Autor</b>	<b>Temas abordados</b>	<b>N.º de estacas</b>	<b>Local</b>
LÁZARO & WOLLE	Correlações entre a monitoração e as características dos solos, através do SPT.	105	Cidades de São Paulo e Rio de Janeiro
CORRÊA	Confirmação das hipóteses de projetos baseados no SPT e nos dados fornecidos pela monitoração durante o acompanhamento da execução.	9 testes “perfuração”	Região do Grande ABC – SP, Mogi das Cruzes – SP e São Paulo – SP
BARRETO et al.	Desenvolvimento de um equipamento de estacas hélice segmentada. Verifica a integridade do fuste através da extração de duas estacas.	2	Araras - SP
ALMEIDA NETO & KOCHEN	Comparativo do desempenho de estacas hélice e ômega.	3 hélices e 3 ômeegas	Não informado a pedido da fonte
ALMEIDA NETO & KOCHEN	Sistema estaca-solo, efeitos da instalação de estacas com base nos resultados de CPT, DMT, cone elétrico e ensaios de laboratório.	3 hélices e 3 ômeegas	Campinas - SP
ANTUNES	Considerações sobre o processo executivo da estaca ômega	-	-
ALONSO	Cuidados executivos nas fundações além dos controles.	-	-
FRANCISCO	Avaliação de 7 métodos de previsão de capacidade de carga.	Banco de dados COPPE-UFRJ e ALONSO – SEFE IV	Regiões Norte, Nordeste, Sudeste e Sul do Brasil
AMANN	Avaliação crítica de métodos semi-empíricos para determinação da capacidade de carga.	-	-
SALES et al.	Estudo de 4 métodos empíricos na previsão da capacidade de carga.	Banco de dados de ALONSO (2000 e 2002)	Diversos estados do Brasil
ALONSO	Acréscimo ao seu banco de dados apresentado no XII COBRAMSEG	58	Diversos estados do Brasil

Tabela 2.3 – Síntese dos trabalhos apresentados no SEFE V.

ZAMMATARO (2007), apresentou em sua Dissertação de Mestrado, o comportamento de estacas tipo escavada e hélice contínua, submetidas a esforços horizontais, objetivando-se a determinação da carga de ruptura, uma vez que, para estes casos em especial, não existem métodos específicos.

Constata-se que, de 1996 a 2007, o uso das estacas tipo hélice continua intensificou-se, assim como as pesquisas sobre o seu comportamento, através de inúmeras provas de carga, a ponto de se criar um banco de dados com seus resultados. Vários métodos empíricos para a estimativa da capacidade de carga foram propostos. No período foram desenvolvidas no Estado de São Paulo 5 Dissertações de Mestrado e uma Tese de Doutorado.



Foto 2.2 – Equipamento para execução de estacas hélice segmentada (BARRETO, 2005).

## 2.2. Estacas Hélice Segmentada

Similar a estaca tipo hélice contínua a estaca hélice segmentada é uma estaca moldada “in loco”, caracterizada pela escavação do solo através de segmentos de trado acopláveis, dispostos na própria perfuratriz em um sistema mecânico, denominado alimentador de hélices. Os trados ou hélices possuem um tubo central vazado e em sua face inferior uma tampa metálica recuperável para evitar a entrada de solo no tubo durante a perfuração do solo. Atingida a profundidade prevista as hélices são extraídas do terreno uma a uma, desacopladas e acondicionadas no alimentador de hélices. Para este processo o sistema de bombeamento do concreto é interrompido pelo mesmo número de vezes da quantidade de segmentos de hélices utilizados na perfuração.

A primeira perfuratriz surgiu em 2002 (Foto 2.3), idealizada pelo Eng.º Paulo Sérgio Augustini, fundador da empresa Engestrauss Engenharia e Fundações Ltda e construída pela empresa EGTECHNOLOGY na Itália. A perfuratriz, com capacidade de torque de 30 kN.m, pode executar estacas de até 18 m de comprimento, com diâmetros de 25, 30 e 35

cm, em solos coesivos com SPT da ordem de 25 golpes, e não coesivos, até 40 golpes. Sua dimensão e peso é muito inferior aos equipamentos de estaca hélice contínua convencional, medindo 2 m de largura, 8 m de comprimento, 10 m de altura e pesando 20.000 kg.

Em 2007 o mercado já recebia equipamentos de fabricação nacional, com torque de 55 kN.m, podendo executar estacas de até 50 cm de diâmetro e 18 m de comprimento, com dimensões inferiores ao modelo apresentado pela empresa italiana, munidos de um sistema de força axial “pull-down / pull-up de 20 kN.m, possibilitando de atravessar solos coesivos com SPT acima de 40 golpes. Na Figura 2.2 apresenta-se o detalhe das dimensões de uma perfuratriz de estaca hélice segmentada, modelo SD-45.

Na Tabela 2.4 apresentam-se as especificações técnicas dos modelos de perfuratrizes hélice segmentada comercializadas pela empresa SOLODRILL em 2008. Observa-se na Tabela 2.5 um comparativo das características principais entre um equipamento de estacas tipo hélice contínua convencional com um de hélice segmentada.

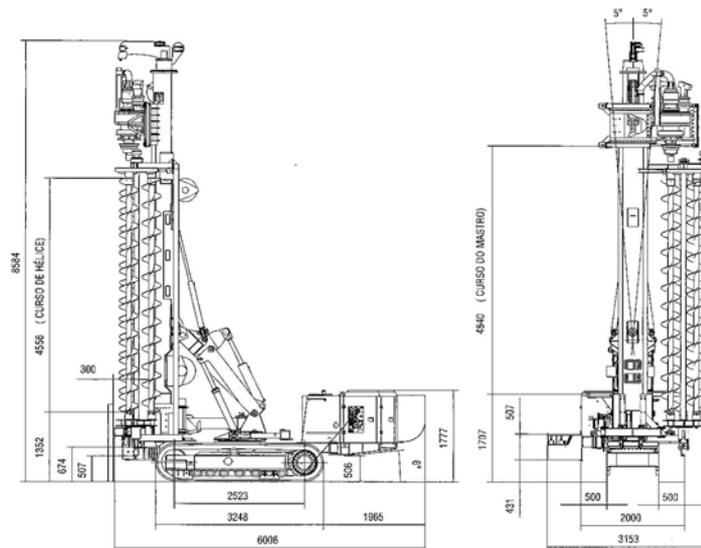


Figura 2.2 – Dimensões, perfuratriz SD-45 (SOLODRILL, 2008).



Foto 2.3 – Perfuratriz MD 3000 – Chegada ao Brasil (ENGESTRAUSS, 2002).

Perfuratriz modelo	Dimensão em operação (m)			Ø (cm)	Profundidade (m)	Comprimento dos segmentos (m)	Peso (kN)	Torque (kN.m)
	Largura	Comprimento	Altura					
SD-45	2,0	6,0	8,5	até 50	18,0	4,5	172	45
SD-55	2,5	6,1	10,0	até 50	18,0	6,0	192	55

Tabela 2.4 – Especificações Técnicas (SOLODRILL, 2008).

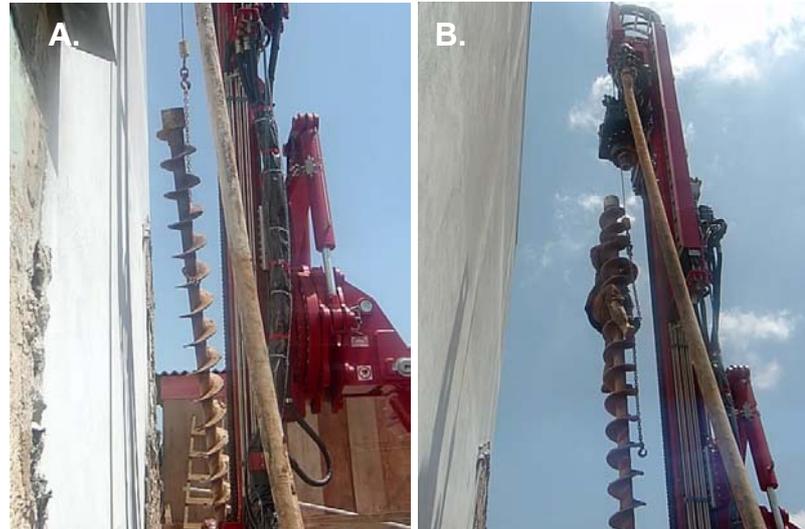
Principais Características	Modelos	
	B-200	SD-45
Fabricante	CASAGRANDE	SOLODRILL
Origem	Itália	Brasil
Largura	4 m	2 m
Comprimento	10 m	6 m
Altura	26 m	8,5 m
Profundidade	24 m	18 m
Diâmetro Máximo	1,20 m	0,50 m
Torque	217 kN.m	40 kN.m
Peso	75.000 kg	17.200 kg
Custo	R\$ 2.500.000,00	R\$ 850.000,00

Tabela 2.5 – Comparativo de características, perfuratriz para estaca tipo hélice contínua CASAGRANDE modelo B-200 x hélice segmentada SOLODRILL modelo SD-45.

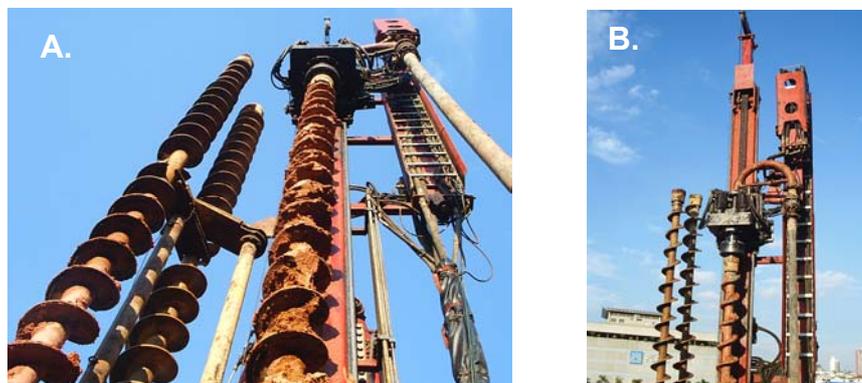
O início de operação do primeiro equipamento de estacas hélice segmentada se deu sem a existência do sistema automático de alimentador de hélices, que eram acopladas com o auxílio de um guincho auxiliar instalado na torre do equipamento. Havia a necessidade de um operário “escalar as hélices” para desligar o cabo de aço do guincho preso à hélice (Fotos 2.4 A e B).

Desta forma, o procedimento de adicionar ou remover os segmentos de trado levava muito tempo, ocasionando o vencimento do prazo de utilização do concreto, resultando numa baixa produção diária, o que tornou o processo financeiramente inviável.

Imediatamente necessitou-se idealizar uma forma automática de alimentação das hélices e a empresa FERPLAS, localizada na cidade de Cotia – SP, projetou e construiu o sistema. Com o surgimento de novas perfuratrizes de fabricação nacional, os alimentadores foram se aprimorando, tornando o método cada vez mais eficiente (Fotos 2.5 A e B).



Fotos 2.4 A e B – Equipamento MD 3000 – Alimentação das hélices com o guincho auxiliar (ENGESTRAUSS, 2002).



Fotos 2.5 A e B – Equipamento MD 3000 – Alimentador automático de trados (ENGESTRAUSS, 2004).

A produtividade de um equipamento de estacas hélice segmentada pode variar em torno de 200 m por dia dependendo do diâmetro da hélice, da profundidade da estaca, das características e resistência do terreno e do torque do equipamento utilizado.

O processo executivo mostrou-se eficiente, com produtividade alta e a possibilidade de executar estacas em locais com pé direito limitado e próximo a divisas, por um custo x

benefício atraente. A demanda de serviços foi grande, fez com que a empresa Engestrauss adquirisse dois novos equipamentos, com características semelhantes:

- Modelo BR 4000, com fabricação italiana pela empresa MORI e montagem no Brasil pela empresa SOLODRILL, início de operação em Outubro de 2004 (Foto 2.6).
- Modelo SD 45, com fabricação e montagem no Brasil pela empresa SOLODRILL, início de operação em Abril de 2006 (Foto 2.7).



Foto 2.6 – Equipamento BR 4000 (ENGESTRAUSS, 2004).



Foto 2.7 – Equipamento SD 45 (ENGESTRAUSS, 2006).

Na Tabela 2.6 mostra-se a vantagem da utilização de estacas hélice segmentada se comparada com estacas tipo Strauss, à medida que as quantidades de estacas aumentam. Comparam-se o prazo de execução para o mesmo número de estacas, assim como os custos dos serviços. Tomaram-se como base os preços comercializados pela empresa Engestrauss em Setembro de 2008.

Comparativo financeiro	Obra com 30 estacas		Obra com 100 estacas	
	Strauss	Hélice Segmentada	Strauss	Hélice Segmentada
Diâmetro das estacas (cm)	32	25	32	25
Capacidade de carga (kN)	300	300	300	300
Quantidade (unid.)	30	30	100	100
Comprimento (m)	12	12	12	12
Produção média por dia (unid.)	3	15	3	15
Prazo da previsto (dias)	10	2	33	7
Custo da estaca por metro (R\$)	24,00	25,00	24,00	25,00
Custo do concreto por m <sup>3</sup> (R\$)	175,00	250,00	175,00	250,00
Volume teórico de concreto utilizado (m <sup>3</sup> )	28,95	17,67	96,51	58,91
Custo da execução de estacas (R\$)	8.640,00	9.000,00	28.800,00	30.000,00
Custo do concreto (R\$)	5.066,77	4.417,88	16.889,19	16.198,82
Custo da mobilização (R\$)	1.500,00	8.000,00	1.500,00	8.000,00
Total (R\$)	15.206,77	21.417,88	47.189,19	54.198,82
Diferença	6.211,10	29,00%	7.009,64	12,93%

Tabela 2.6 – Comparativo financeiro, estacas tipo strauss x hélice segmentada.

### 2.3. Metodologia executiva das estacas hélice contínua

As fases de execução da estaca tipo hélice contínua (Continuous Flight Auger – CFA) são: posicionamento do equipamento, introdução da hélice, concretagem e colocação da armadura (Figura 2.3).

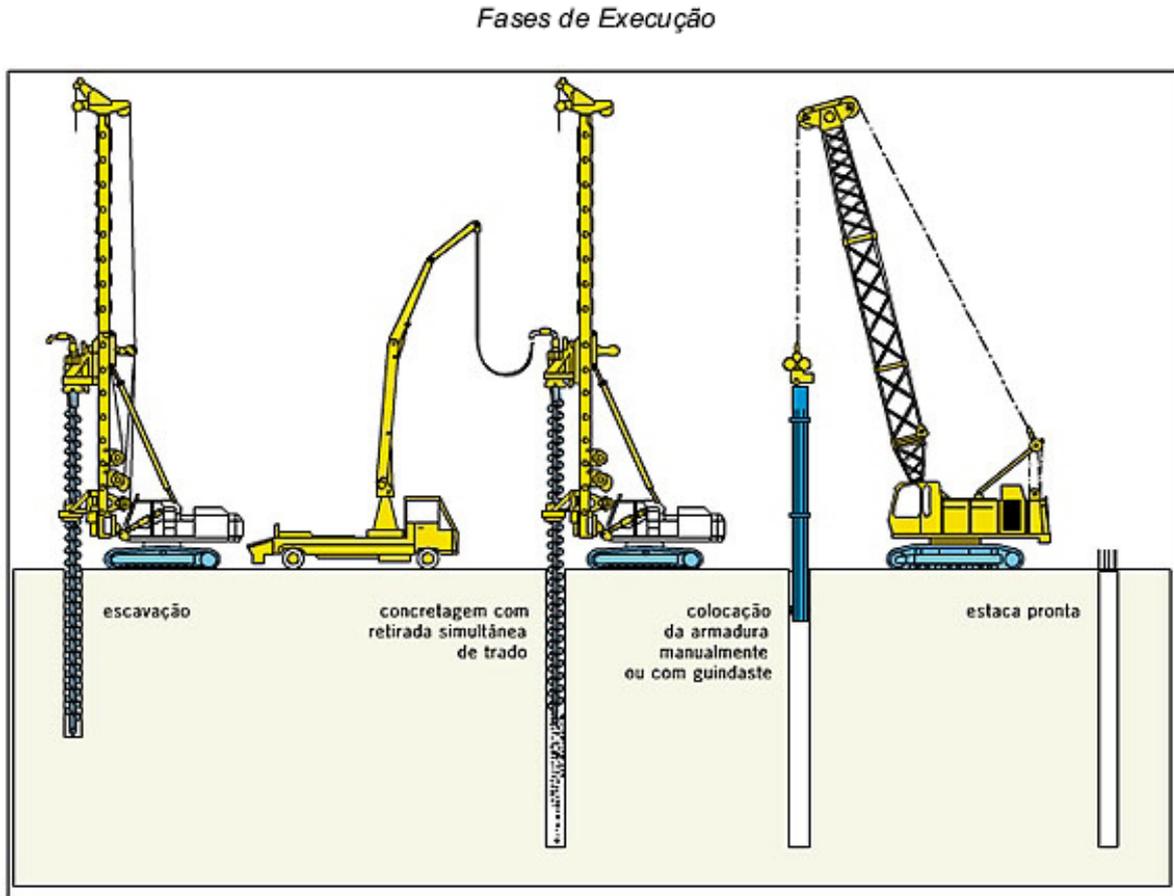


Figura 2.3 – Fases de execução da estaca hélice contínua (Penna et al., 1999).

### 2.3.1. Posicionamento do equipamento

As excentricidades de execução deste equipamento estão diretamente ligadas ao posicionamento do equipamento, ou seja, a diferença de localização do eixo da estaca executada e o eixo da estaca de projeto depende principalmente do correto posicionamento do equipamento (LÁZARO, 2003).

É importante que durante a locação da obra os piquetes sejam posicionados em uma escavação de aproximadamente 15 cm de diâmetro e 25 cm de profundidade, preenchida posteriormente com areia. Esse procedimento permite a localização visual dos pontos em que serão executadas as estacas e evita que a movimentação dos equipamentos, na superfície do terreno, desloque os piquetes de suas posições (LÁZARO, 2003).

Para posicionar o eixo da hélice no ponto de locação é utilizado um prumo de centro (Foto 2.8) e a verticalidade da torre é controlada eletronicamente por sensores de prumo instalado no equipamento.



Foto 2.8 – Posicionamento do eixo da hélice no ponto de locação.

### 2.3.2. Introdução da hélice no terreno

Antes de iniciar a introdução da hélice é necessário programar o sistema de monitoração para registrar esta fase de execução.

A introdução da hélice é feita pela rotação e pelo peso da hélice em conjunto com a mesa rotativa dotada de motores hidráulicos e redutores, em que a hélice está conectada, na sua extremidade superior (Figura 2.4).

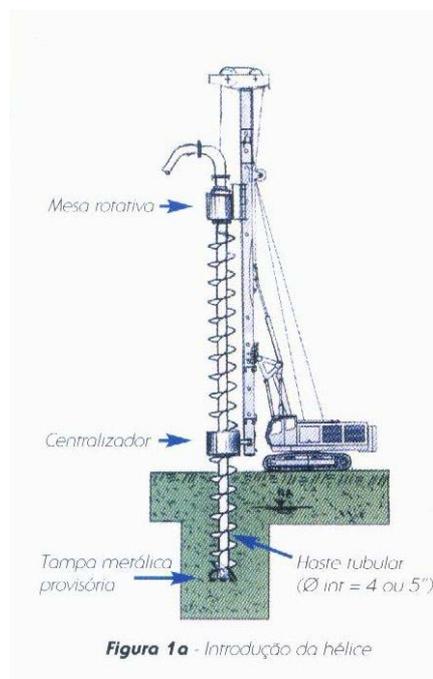


Figura 2.4 – Introdução da hélice (GEOFIX, 1998).

Durante a penetração da hélice, para evitar a entrada de solo ou água na haste tubular, existe uma tampa metálica recuperável, fixada geralmente por uma corrente ou cabo de aço de pequeno diâmetro (Foto 2.9).

Durante a introdução da hélice o sistema de monitoração registra instantaneamente os seguintes parâmetros: profundidade, velocidade de rotação da hélice, velocidade de avanço e pressão do sistema hidráulico, que permite o cálculo do torque desenvolvido.

O torque desenvolvido permite uma avaliação qualitativa para confirmação expedita das sondagens executadas no local da obra, bem como uma avaliação da resistência do material em que a estaca estará instalada, dependendo da magnitude do torque do equipamento.

CORRÊA (2004) apresenta uma maneira de confirmar as hipóteses de projeto baseadas nos ensaios disponíveis (SPT e SPTT) durante o acompanhamento de estacas tipo hélice contínua. O autor mostra casos em que no procedimento proposto foi possível constatar que as premissas de projeto estavam corretas e casos onde isso não se verificou.



Foto 2.9 – Detalhe da ponta do trado com a tampa recuperável.

A velocidade de avanço da hélice é determinada principalmente pela resistência e coesão do material perfurado.

Durante a introdução do trado é importante minimizar o eventual desconfinamento provocado pela remoção (transporte) excessiva do solo durante a sua penetração. Isto é conseguido tomando-se o cuidado para que a velocidade de penetração do trado seja igual ou bem próxima ao produto da velocidade de rotação do trado pelo seu passo. Quando a

velocidade de penetração do trado é muito maior, a probabilidade de prendê-lo é grande; em contrapartida, quando essa velocidade é muito menor o trado funciona como um transportador provocando, assim, o desconfinamento do solo circundante com a conseqüente perda de capacidade de carga (PENNA et al., 1999).

Quando, apesar do avanço estar lento, o torque permanecer alto, deve-se travar o guincho, impossibilitando o avanço da hélice. Com isso o valor de torque diminui, e então se retoma a perfuração. Esse procedimento, necessário e inevitável, só deve ser usado nessas situações, pois pode provocar um desconfinamento indesejável (CAPUTO et al., 1997).

Segundo ALONSO (1996a), no caso de solos não coesivos essa característica de transporte do trado, decorrente da baixa velocidade de penetração, tem sido a causa de vários acidentes relatados na literatura internacional. A relação entre o avanço e a rotação decresce conforme aumentam as características de resistência do solo.

Segundo PENNA et al. (1999), o projeto do trado depende do tipo de solo a ser penetrado e/ou perfurado. As características mais importantes do trado são o tipo e a inclinação da lâmina de corte, colocado na sua ponta; o passo da hélice e a inclinação da hélice em relação à vertical. Estas características vão influir na velocidade de perfuração, na capacidade de atravessar camadas resistentes e na maior ou menor retirada de solo durante a descida do trado.

A perfuração contínua sem a retirada da hélice do furo garante a principal característica da estaca hélice contínua que é a de não permitir o alívio significativo do terreno, tornando possível a sua execução tanto em solos coesivos quanto arenosos, na presença ou não de lençol freático. Esta característica da estaca também permite a sua execução em terrenos bem resistentes, com valores de SPT acima de 50.

### **2.3.3. Concretagem**

Atingida a profundidade desejada, paralisa-se a perfuração e programa-se a monitoração para a fase de concretagem (Figura 2.5).

Simultaneamente ao início da concretagem, ergue-se o trado cerca de 30 cm, para permitir a abertura da tampa do tubo central. A partir deste instante prossegue-se com a retirada do trado de forma lenta e contínua, garantindo-se que, até o final da concretagem, haja sempre um sobreconsumo de concreto e a pressão sobre o mesmo seja positiva ou, no mínimo, zero (PENNA et al., 1999).

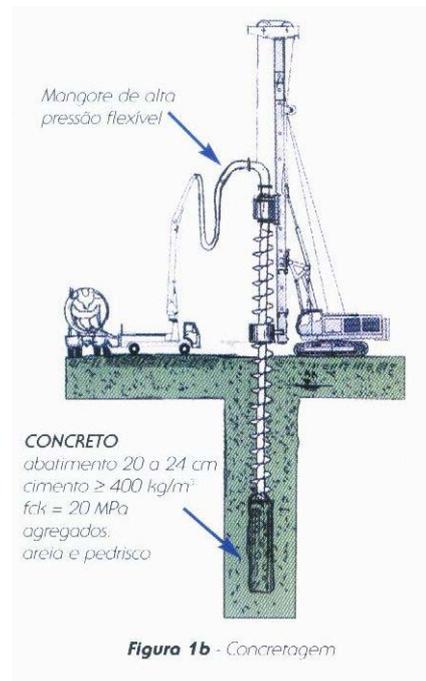


Figura 2.5 – Concretagem (GEOFIX, 1998).

Para a concretagem da estaca a NBR 6112/1996 (item 7.8.6, subitem 7.8.6.2) recomenda a utilização de concreto com as seguintes características: resistência característica  $f_{ck}$  de 20 MPa, ser bombeável e composto de cimento, areia, pedrisco e pedra 1, com consumo mínimo de cimento de  $350 \text{ kg/m}^3$ , sendo facultativa a utilização de aditivos.

Para CAPUTO et al. (1997) o concreto normalmente utilizado é bombeável, composto de areia e pedrisco ou pedra 1. O consumo de cimento situa-se entre  $400$  e  $450 \text{ kg/m}^3$ , apresentando uma resistência característica  $f_{ck}$  de 20 MPa e o abatimento ou “slump” deve ser mantido entre 20 e 24 cm.

PENNA et al. (1999) propõem a seguinte característica para o concreto: consumo mínimo de cimento de  $400 \text{ kg/m}^3$  de concreto, abatimento ou “slump” de  $22 \pm 2 \text{ cm}$ , resistência característica de 20 MPa, agregados de areia e pedrisco e fator água-cimento 0,55.

Para o início dos trabalhos de bombeamento de concreto, é necessária a lubrificação da rede, para permitir a fluência do concreto. Essa lubrificação é efetuada bombeando-se inicialmente uma mistura de 2 sacos de cimento em 200 litros de água, formando a calda de lubrificação. Quando essa calda é lançada no “cocho” da bomba de concreto ela se mistura com o óleo que é utilizado para a limpeza desse equipamento. Por isso, antes de se

iniciar a primeira estaca do dia, deve-se efetuar o bombeamento dessa calda de lubrificação e do concreto, no sentido de que toda a calda tenha sido lançada pela ponta da hélice, e em toda a rede tenhamos somente concreto. A seguir tampa-se a ponta e inicia-se a perfuração da estaca (LÁZARO, 2003).

Segundo VELLOSO & ALONSO (2000), caso esse procedimento de limpeza da rede não for efetuado, o desempenho da estaca pode ficar comprometido. Os autores mostram o comportamento de duas estacas de pequeno diâmetro (25 cm e 12,00 m de comprimento), distantes entre si de 1,40 m e executadas, uma sem a limpeza da rede (tubulação e mangotes de concreto) e outra com a limpeza da rede. A estaca executada com a limpeza da rede teve, durante a prova de carga estática, um comportamento normal, enquanto que a outra, onde não houve esta limpeza da rede, sofreu um recalque brusco ao atingir 350 kN (provável esgotamento do atrito lateral) só retomando a carga após um recalque de 36,15 mm.

Durante a retirada do trado, a limpeza do solo confinado entre as hélices é feita manualmente ou através de um limpador mecânico acoplado ao equipamento, sendo este transportado para fora da área de estaqueamento com o uso de uma pá carregadeira de pequeno porte.

A descontinuidade do fornecimento do concreto pode causar as interrupções de concretagem da estaca. ALBUQUERQUE (2001) relata a execução de uma estaca hélice contínua com concretagem interrompida por 1h30min, e que atingiu uma carga de ruptura menor do que outras duas estacas hélice contínua, executadas em local próximo e com as mesmas características. Isto poderia estar associado segundo o autor, à interrupção da concretagem desta estaca ou a heterogeneidade do solo.

Outro aspecto importante refere-se à execução de estacas em terrenos que possuem camadas de baixa resistência (por exemplo: argilas moles), durante a concretagem destes trechos, o parâmetro principal do monitoramento é o sobre-consumo, uma vez que nesses casos não é possível manter a pressão de concretagem em níveis positivos sem ocasionar um consumo de concreto excessivo (LÁZARO, 2003).

O que também pode ocorrer durante a concretagem são entupimentos na rede, ou seja, nos mangotes, no prolongador, no próprio trado ou na tampa da ponteira. FLEMING (1995) ressalta que quando ocorrem entupimentos e existe a necessidade de se retirar o trado da perfuração, essa operação deve ser efetuada girando-se o trado no sentido contrário ao da perfuração, com o objetivo de se manter o furo preenchido com solo, para

se evitar o desconfinamento do trecho perfurado e facilitar a reintrodução do trado, após o desentupimento da tubulação.

#### **2.3.4 Colocação da armadura**

O método de execução da estaca tipo hélice contínua exige que suas armaduras sejam instaladas somente após a sua concretagem (Foto 2.10). Para eficiência da instalação da armadura, a mesma deve ser em forma de gaiola (Foto 2.11) e projetada de modo a ter um peso e uma rigidez compatíveis com o seu comprimento.

A introdução da armadura é feita manualmente ou com o auxílio de um peso “pilão”, que se apoiará sobre a armação e será empurrado pela própria mesa da perfuratriz ou pela pá carregadeira disponível na obra para retirada do material escavado. A utilização de vibrador, embora recomendado na bibliografia internacional, não é ainda bem difundida na prática brasileira (PENNA et al., 1999).

Deve-se sempre armar a cabeça da estaca para garantir sua integridade estrutural; entretanto, por razões executivas (escavação mecânica do solo a volta da estaca para a confecção dos blocos), é boa prática armar o trecho superior da estaca da ordem de 4 metros (ALONSO, 1998). É de responsabilidade do engenheiro projetista de fundações o dimensionamento adequado da armadura necessária para a estaca.

No caso de armações longas, as gaiolas devem ser constituídas de barras grossas e estribo espiral soldado na armação longitudinal para evitar a sua deformação durante a introdução no fuste da estaca (CAPUTO et al., 1997).

Cuidado especial deve ser tomado para garantir o recobrimento da armadura ao longo do fuste da estaca e, neste caso, devem ser previstos espaçadores ao longo da mesma. Outra providência executiva prudente é, ao confeccionar-se a armação, deixar a extremidade inferior, num trecho de 1,00 metro, com a seção tronco-cônica para facilitar a sua introdução no concreto (PENNA et al., 1999).

Segundo LÁZARO (2003), na prática, dois fatores são decisivos para o sucesso da colocação das armaduras em estacas hélice contínua: o primeiro é o abatimento do concreto, que deve sempre estar próximo de 24 cm, e o outro fator é o tempo decorrido entre o término da concretagem e o início da colocação da armadura, que deve ser o menor possível.

Quando a cota de arrasamento é profunda e abaixo do nível da água, a instalação torna-se muito difícil. Neste caso, recomenda-se que a concretagem seja levada até

próximo do nível do terreno, evitando que caia terra dentro da cava antes da colocação da armadura, contaminando o concreto. Esse excesso de concreto é depois cortado no reparo da cabeça da estaca. A colocação da armação em estacas com arrasamento de até 3,0 metros só é possível em solos que não apresentam riscos de desbarrancamento (ALMEIDA NETO, 2002).

Para diminuição da posterior quebra de concreto, o mesmo pode ser removido ainda fresco, com a utilização de uma “concha” improvisada (Foto 2.12) após a colocação da armadura, é recomendada a remoção do concreto até uma altura de 30 cm acima da cota de arrasamento final da estaca.

Para boa prática e qualidade dos trabalhos a paralisação da concretagem antes no nível do terreno vem sendo pouco utilizada. Para estacas de pequeno diâmetro (menores que 40 cm) a contaminação com material solto é inevitável, principalmente se a concretagem for paralisada com um arrasamento superior a 1,5 metros.



Foto 2.10 – Colocação da armadura manualmente com o auxílio do guincho auxiliar do equipamento.



Foto 2.11 – Detalhe das armaduras em forma de gaiola.



Foto 2.12 – Remoção do concreto ainda fresco.

### 2.3.5. Monitoração da execução

Uma das características principais da estaca tipo hélice contínua foi a introdução do controle do método executivo através de um sistema de monitoração do equipamento para obtenção de dados que permitem a avaliação do andamento das fases de execução da estaca. Os dados são obtidos por sensores instalados em pontos específicos, relacionados com as fases mais importantes da execução (Figura 2.6).

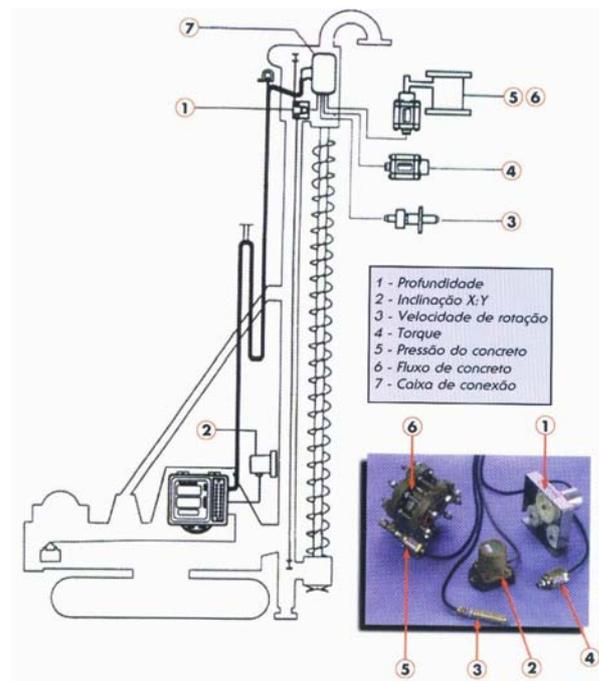


Figura 2.6 – Localização dos sensores na perfuratriz (GEOFIX, 1998).

Para VELLOSO (2002) a folha de controle da monitoração (Figura 2.7) poderia substituir os tradicionais e valiosos diagramas de cravação que temos para as estacas cravadas. O autor ainda sugeriu o uso de critérios para interpretação desta folha de controle, sobretudo, o relacionamento entre torque e avanço.

No SEFE V (2004), CORRÊA apresentou casos em que o acompanhamento de estacas hélice contínua monitorada, foi feito a partir de uma proposta de Alonso (2000 e 2003), para encontrar uma maneira de confirmar as hipóteses de projetos baseadas nos ensaios disponíveis (sondagens a percussão SPT eventualmente com medida de torque). O trabalho mostrou casos em que utilizando o método proposto, foi possível constatar que as premissas de projeto estavam corretas e casos onde isso não se verificou.

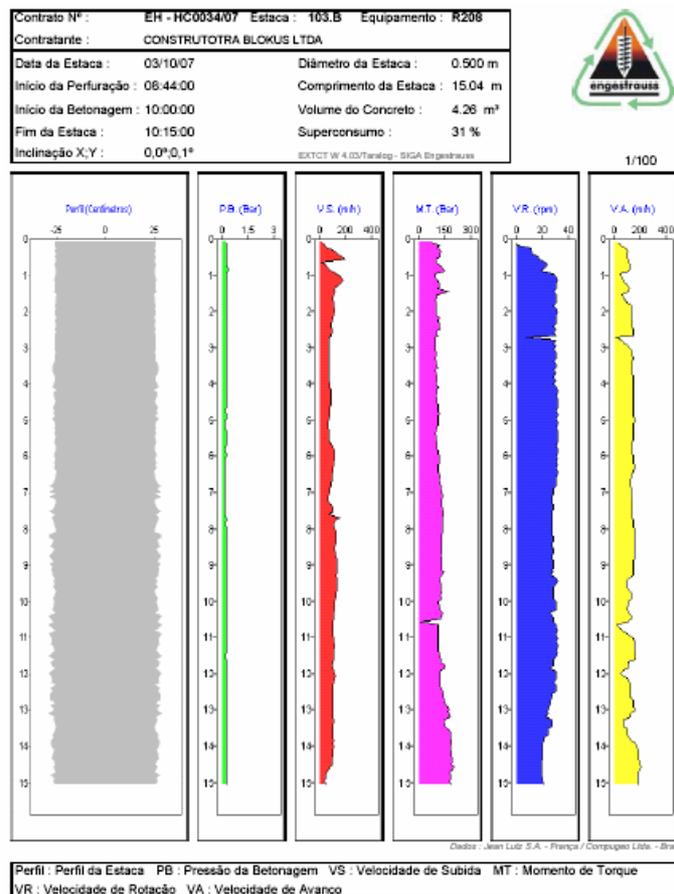


Figura 2.7 – Folha de controle gerado pela monitoração da perfuratriz (ENGESTRAUSS, 2007).

### 2.3.5.1. TARACORD

Segundo PENNA et al. (1999) o sistema mais comum, embora existam outros, adotado nos equipamentos em uso no Brasil, é o aparelho chamado TARACORD (Foto 2.13), produzido pela indústria Francesa JEAN LUTZ.



Foto 2.13 – Detalhe do equipamento TARACORD.

O Taracord possui três telas, as quais, quando em registro da execução, mostram o seguinte:

***Primeira tela:***

Profundidade, velocidade de penetração do trado, velocidade de rotação do trado e torque.

***Segunda tela:***

Vazão do concreto, volume do concreto lançado, pressão do concreto e inclinação da torre.

***Terceira tela:***

Sobreconsumo verificado nos últimos 50 cm concretados, sobreconsumo verificado em toda a concretagem até o momento, representação gráfica do sobreconsumo dos últimos centímetros concretados.

O painel ainda dispõe de um teclado alfa-numérico, para comandos e entrada de informações e de uma entrada para o dispositivo de registro de informações denominado “Memobloc”. Por intermédio de uma placa especial os dados registrados no “Memobloc” podem ser transferidos para um computador tipo PC, que pode processá-los permitindo a

observação dos resultados na tela do computador ou impressão de gráficos (JEAN LUTZ, 1995).

### 2.3.5.2. TARALOG

O Taralog é um computador desenvolvido posteriormente ao Taracord pelo mesmo fabricante. Possui os mesmos recursos técnicos de monitoração, diferindo apenas nas telas de apresentação (Foto 2.14).

Na tela de perfuração é possível visualizar graficamente os valores do torque, velocidade de rotação do trado e velocidade de penetração do trado e na tela de concretagem a pressão do concreto, o perfil da estaca e a velocidade de subida do trado, o que não é possível no Taracord.

Assim como no Taracord, as informações podem ser transferidas para um computador tipo PC e os resultados podem ser visualizados e impressos.

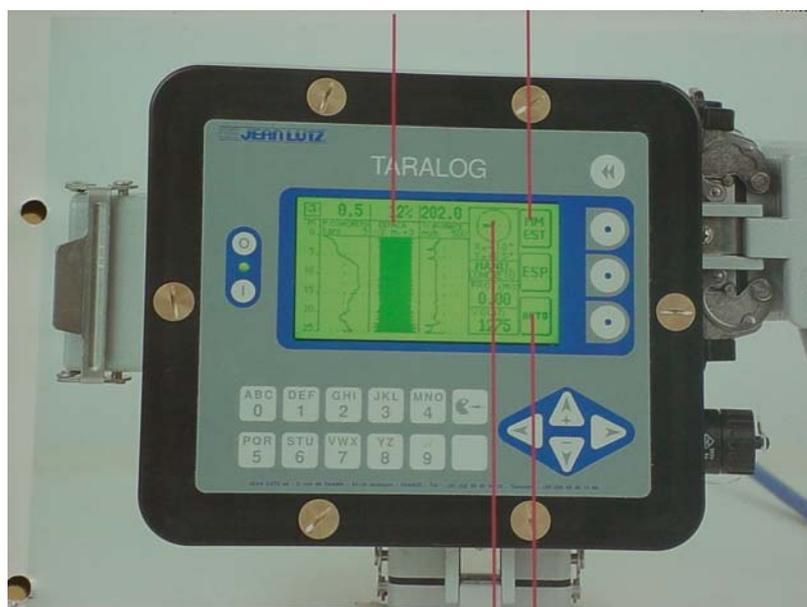


Foto 2.14 – Detalhe do equipamento TARALOG (Catálogo JEAN LUTZ, 1997).

## CAPÍTULO 3 – ESTACAS HÉLICE SEGMENTADA

### 3.1. Metodologia executiva

As fases de execução da estaca hélice segmentada obedecem à mesma ordem da estaca tipo hélice contínua convencional: perfuração, concretagem simultânea à extração da hélice do terreno e colocação da armação.

#### 3.1.1. Introdução da hélice no terreno

A perfuração consiste em introduzir segmentos de hélice no terreno, que variam de 4 a 6 metros de comprimento, dependendo do equipamento utilizado, que são acoplados mecanicamente através de um alimentador mecânico do próprio equipamento.

A hélice é introduzida no terreno pelo movimento rotacional da mesa rotativa, dotada de motores hidráulicos e redutores, em que a hélice está conectada, na sua extremidade superior proporcionando a rotação e o peso para executar a introdução da hélice no terreno (Foto 3.1).

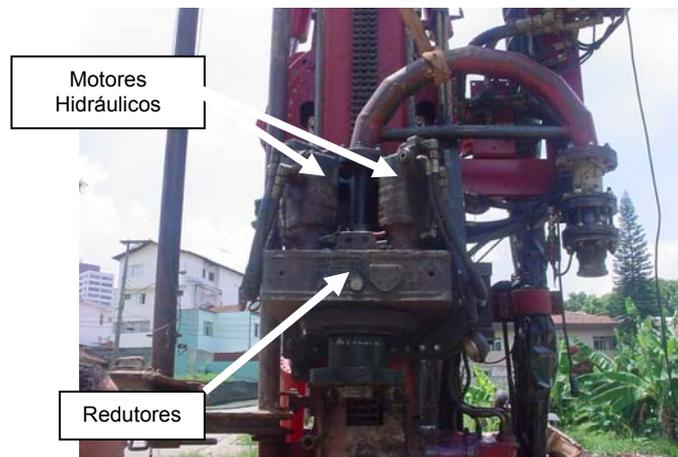


Foto 3.1 – Equipamento MD 3000 – Detalhe da Mesa Rotativa (ENGESTRAUSS, 2004).

O primeiro segmento de hélice, em conjunto com a ponteira (Foto 3.2), é introduzido até o seu limite, que pode variar de 4 a 6 m, dependendo do equipamento; paralisa-se o giro da hélice e aciona-se uma morsa hidráulica (Fotos 3.3 A e B) para o travamento do mesmo.

Através de um giro anti-horário, desconecta-se uma rosca cônica especial (Foto 3.4), possibilitando a subida da mesa rotativa, podendo ser acionado o alimentador mecânico de hélices (Foto 3.5). Toda operação é repetida até a utilização das hélices que se fizerem necessária.

Cada modelo de perfuratriz possui um número limitado de hélices no alimentador mecânico; os equipamentos existentes possuem 2 ou 3 trados. O acoplamento das hélices é uma operação muito rápida, levando no máximo 1 minuto para a completa operação, garantindo a mesma eficiência da estaca hélice contínua convencional (Fotos 3.6 A, B e C).

A morsa hidráulica funciona também como o centralizador da hélice durante a perfuração.



Foto 3.2 – Equipamento SD 45 – Introdução do 1ª segmento da hélice (ENGESTRAUSS, 2006).



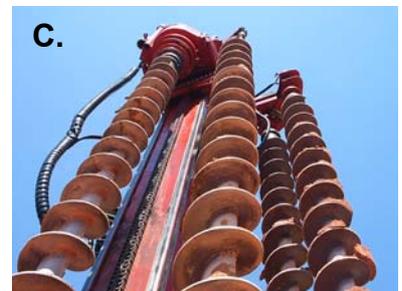
Fotos 3.3 A e B – Equipamento MD 3000 – Detalhe da Morsa (ENGESTRAUSS, 2002).



Foto 3.4. – Equipamento SD 45 – Detalhe da rosca cônica (ENGESTRAUSS, 2006).



Foto 3.5 – Equipamento SD 45 – Detalhe do alimentador mecânico de hélices (ENGESTRAUSS, 2006).



Fotos 3.6 A, B e C – Detalhe do acoplamento da hélice, introdução da hélice subsequente e detalhe do alimentador mecânico de trados (ENGESTRAUSS, 2006).

### 3.1.2. Concretagem

Acontece da mesma forma que na hélice contínua convencional: atingida a profundidade desejada, paralisa-se a perfuração e programa-se a monitoração para a fase de concretagem (Foto 3.7).

Para o início da concretagem, ergue-se a hélice cerca de 30 cm, para permitir a abertura da tampa do tubo central.

O concreto é bombeado através do tubo central, preenchendo simultaneamente a cavidade deixada pela hélice que é extraída do terreno, até que o primeiro segmento da hélice esteja completamente para fora do terreno. Assim, o bombeamento do concreto é momentaneamente paralisado e a morsa hidráulica é acionada fazendo o travamento da hélice, a rosca cônica é desconectada pelo giro anti-horário da mesa rotativa, os pinos de fixação são removidos e o alimentador de hélices entra em operação acomodando o segmento removido.

Para os demais segmentos de hélices o processo se repete, a mesa rotativa desce até acoplar o segmento subsequente, os pinos de fixação são acrescentados e o bombeamento é novamente acionado até que a nova hélice esteja para fora do terreno (Figura 3.1).



Foto 3.7 – Concretagem da estaca (ENGESTRAUSS, 2004).

## CONCRETAGEM

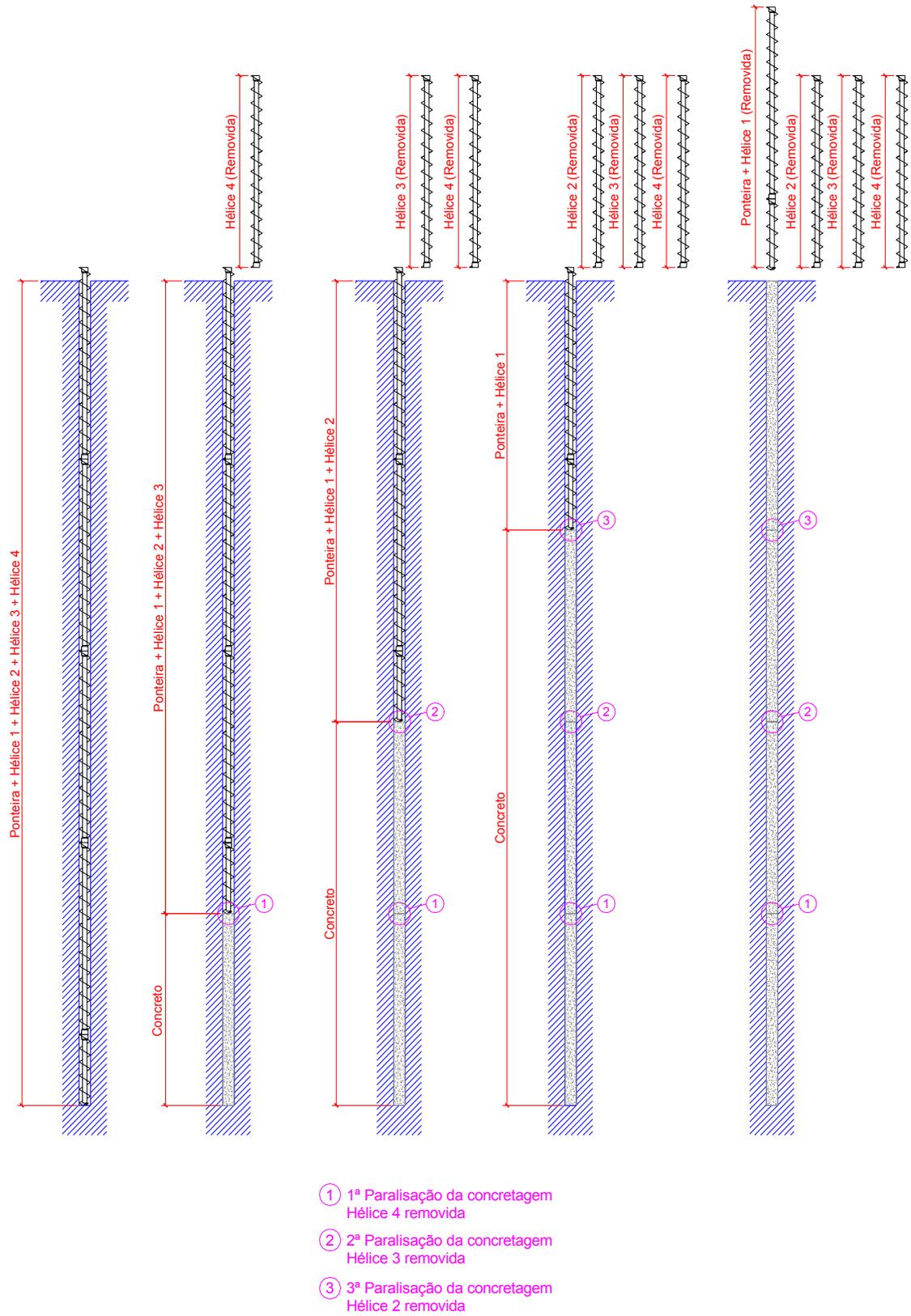


Figura 3.1 – Concretagem – Esquema de remoção das hélices.

### 3.1.3. Colocação da armação

Como na estaca hélice contínua, o método de execução da estaca hélice segmentada também exige a colocação da armação após a sua concretagem e, portanto, com as dificuldades inerentes desse processo de instalação.

A armação, em forma de gaiola, é introduzida manualmente na estaca por gravidade ou com auxílio de uma escavadeira hidráulica ou retroescavadeira (Foto 3.8).



Foto 3.8 – Colocação da armação com auxílio mecânico (ENGESTRAUSS, 2004).

As “gaiolas” devem ser constituídas de barras grossas, estribo helicoidal quando possível soldado (ponteados) nas barras longitudinais e a extremidade inferior levemente afunilada, para facilitar e evitar sua deformação durante a introdução no concreto.

Para garantir o recobrimento do concreto e a centralização da armadura no fuste da estaca, podem ser utilizados roletes espaçadores de plástico (Foto 3.9).



Foto 3.9 – Detalhe do rolete espaçador de plástico.

### 3.1.4. Monitoração da Execução

Para monitorar as estacas hélice segmentada durante a sua execução é utilizado um computador com mostrador digital, instalado no painel de operação do equipamento, e sensores colocados na máquina, que informam todos os dados de execução da estaca, de forma análoga às estacas hélice contínua convencionais (Foto 3.10).

Os sensores instalados no equipamento são:

- **sensor de profundidade:** responsável pela mensuração da profundidade perfurada em cada estaca, com precisão de 1 cm;
- **sensor de rotação:** responsável pela mensuração de rotação do trado de perfuração, em rpm;
- **sensor de concreto:** responsável pela mensuração da pressão de concreto na linha de transmissão, entre a bomba de concreto e o trado de perfuração, bem como o volume de concreto lançado, que é medido através da frequência de pulsos dos pistões de bombeamento do concreto e do volume de concreto bombeado por pulso;
- **sensor de torque:** responsável pela mensuração da pressão do óleo hidráulico na linha de transmissão de força da máquina perfuratriz. A partir desta medida, e através de gráfico fornecido pelo fabricante da máquina, pode-se obter o torque aplicado à hélice durante a perfuração. A pressão é medida em bar e o torque aplicado é medido em Kg.m; e
- **sensores de inclinação “X” e “Y”:** responsáveis pela mensuração da inclinação (eixo “X” e “Y”) da torre guia do trado de perfuração, com precisão de 0,1 grau. A monitoração informa a cada instante o grau de inclinação da torre do equipamento, em relação à frente e traseira da máquina (“Y”), e também a relação à direita e esquerda da máquina (“X”).



Foto 3.10 – Computador Compugeo (Guia do Usuário Compugeo – SIMEhC, 2004).

O computador Compugeo compõe-se em seu painel de três telas, as quais, quando em operação, mostram o seguinte:

- na 1ª tela, o pequeno círculo (indicação da torre) dentro do grande (indicação da máquina) fornece, em tempo real, a posição exata da torre, orientando o operador a movimentar a torre até que alcance a verticalidade e alinhamento desejado. Os valores numéricos apresentados do lado esquerdo da tela, nas extremidades inferior e superior, expressam a verticalidade da torre em “graus” (Figura 3.2); e

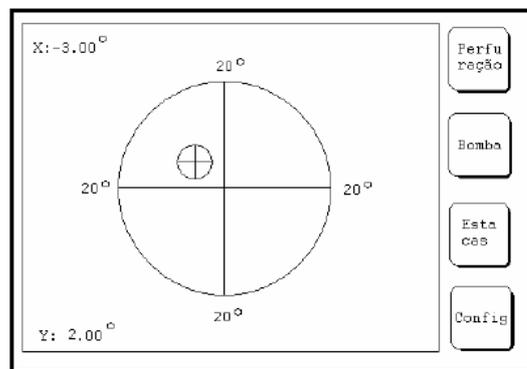


Figura 3.2 – Tela inicial de “Estacionamento e Ancoragem” (Guia do Usuário Compugeo – SIMEhC, 2004).

- na 2ª tela (Perfuração), são apresentados os dados representativos das leituras transmitidas pelos vários sensores em operação. Todas as informações desses sensores são apresentadas em tempo real, ou seja, no instante em que acontece o trabalho de perfuração da estaca (Figura 3.3).

	Torque Din	Rotação r/min	Vel. Per m/h		Concre tagem
00	000	400	030	500	X: - 2.00
04					Y: - 3.00
08					Hora: 12:00
12					Execução 00:00
16					Profund. 00.00 m
20					Penetr. 00 cm/r

Figura 3.3 – Tela inicial de “Perfuração da Estaca” (Guia do Usuário Compugeo – SIMEhC, 2004).

Da esquerda para direita em sentido horário, observa-se:

- **Torque:** Campo gráfico e alfanumérico da pressão em bares que está sendo aplicada ao motor de rotação;
- **Rotação:** Campo gráfico e alfanumérico da velocidade de rotação do trado em rotações por minuto;
- **Vel. Per:** Campo gráfico e alfanumérico da velocidade de descida da hélice em m/h;
- **Máquina Perfuratriz (ilustração):** Representativo da operação de perfuração;
- **X e Y:** Inclinação da torre nos dois eixos com precisão de 0,1°;
- **Hora:** Indicativo da hora local de trabalho;
- **Execução:** Campo representativo do tempo real empregado na operação de perfuração da estaca. O valor é apresentado em horas/minutos.
- **Profund.:** Profundidade da ponta da hélice em metros com uma precisão de 1 cm;
- **Penetr.:** Indicativo da penetração do trado de perfuração. O valor é dado em centímetros por rotação.

Na última tela operacional (Concretagem) também são apresentados os dados representativos das leituras transmitidas pelos vários sensores em operação, todas em tempo real (Figura 3.4).

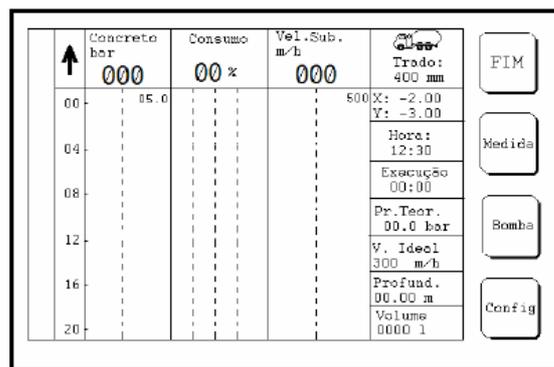


Figura 3.4 – Tela inicial de “Concretagem da Estaca” (Guia do Usuário Compugeo – SIMEhC, 2004).

Da esquerda para direita em sentido horário, observa-se:

- **concreto:** Campo gráfico e alfanumérico, representativo da pressão de concreto existente na rede de concretagem (mangotes e trados) no momento de concretagem da estaca perfurada. O dado numérico é fornecido em “bars”;
- **consumo:** Campo gráfico e alfanumérico, representativo ao superconsumo de concreto empregado para o preenchimento da estaca perfurada. O índice aplicado é em porcentagem (%);
- **vel. sub.:** A velocidade de subida da hélice em m/h;
- **caminhão betoneira (ilustração):** Representativo da operação de concretagem;
- **X e Y:** Inclinação da torre nos dois eixos com precisão de 0,1°;
- **hora:** Indicativo da hora local de trabalho;
- **execução:** Campo representativo do tempo real empregado na operação de perfuração da estaca. O valor é apresentado em horas/minutos;
- **pr. teor.:** Indica a pressão teórica da linha de concretagem, levando-se em conta a força exercida pelo peso da coluna de concreto, a ser calculado e inserido em campo específico da tela de configurações da bomba de concreto. O dado numérico é fornecido em “bars”. Esse dado é teórico, pois resulta de cálculos matemáticos, utilizando como variáveis o peso do concreto empregado, o diâmetro interno do trado de perfuração, seu comprimento, calculando-se a pressão provável na ponta do trado de perfuração;
- **v. ideal:** Indica a velocidade ideal de subida do trado de perfuração para que ocorra o preenchimento ideal de concreto da estaca perfurada. Campo resultante de cálculos matemáticos, utilizando como variável principal o coeficiente para o superconsumo desejado. É fornecido em m/h.
- **profund.:** Indica a profundidade da ponta da hélice durante a operação de concretagem da estaca perfurada, em metros com uma precisão de 1 cm;
- **volume:** Indicativo do volume de concreto aplicado na estaca perfurada. O volume é calculado de acordo com a contagem dos pulsos da bomba, o sensor de concreto tem dupla função, a de apresentar a pressão do concreto em tempo real e a de calcular de acordo com a variação de pressão os pulsos da bomba de concreto.

Além destas três telas principais, o painel ainda dispõe de um teclado alfanumérico, para comandos e entrada de informações, e de uma entrada para o dispositivo de recebimento das informações gravadas na memória interna do computador. As informações são transferidas para um dispositivo especial, chamado “Disquete”, os dados

armazenados podem ser transferidos para um computador tipo PC, que pode processá-los permitindo a observação dos resultados na tela do computador ou impressão de gráficos (Figura 3.5).

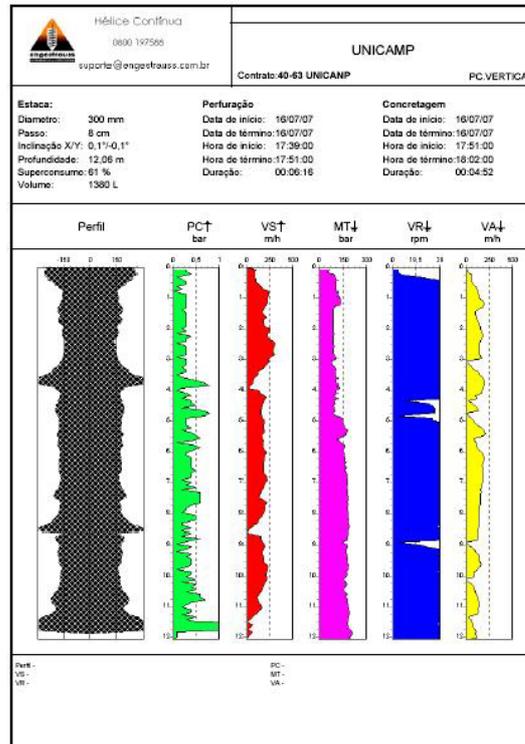


Figura 3.5 – Exemplo de relatório fornecido pelo Compugeo.

## 3.2. Utilização dos equipamentos – Estacas hélice segmentada

### 3.2.1. Execução de estacas próximas a divisas

Uma grande vantagem da utilização do equipamento de hélice segmentada é a possibilidade de executar estacas a uma distância de 35 a 40 cm do eixo da estaca da divisa do terreno. Esta distância depende do modelo do equipamento e independe do diâmetro da estaca, 25, 30, 35 ou 40 cm, reduzindo consideravelmente as excentricidades que seriam geradas por um equipamento de hélice contínua convencional (Foto 3.11).



Foto 3.11 – Execução de estaca próxima à divisa (ENGESTRAUSS, 2004).

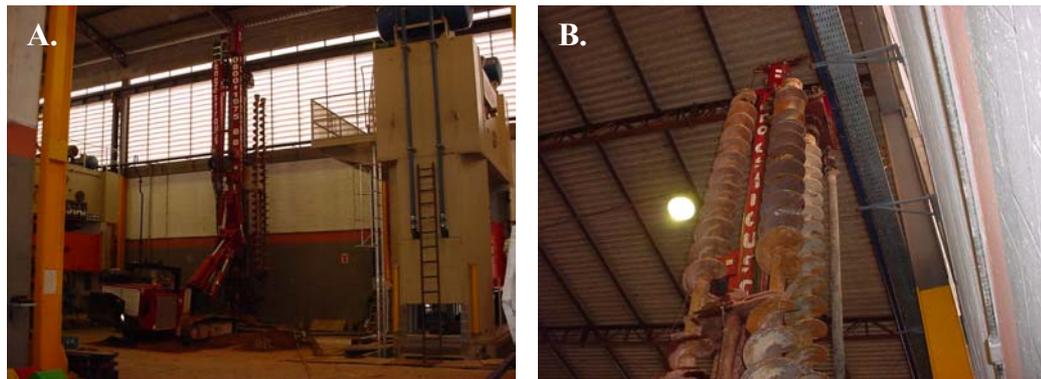
Alguns projetistas estão substituindo a cravação de perfis metálicos por estacas hélice segmentada, ganhando velocidade na execução dos trabalhos e reduzindo o custo da obra, bem como o transtorno gerado pela vibração causada pelos bate-estacas. Na Foto 3.12 é mostrada uma obra onde as estacas foram executadas junto às divisas, em substituição aos perfis metálicos convencionais.



Foto 3.12 – Estacas executadas junto às divisas (ENGESTRAUSS, 2005).

### 3.2.2. Execução de estacas em locais com pé direito reduzido

A baixa altura do equipamento permite a execução de estacas em locais com pé-direito reduzido. Equipamentos que utilizam segmentos de hélice de 4,50 m de comprimento podem executar estacas em locais com um pé-direito da ordem de 8,50 m (Fotos 3.13 A e B).



Fotos 3.13 A e B – Estacas executadas em locais com pé direito reduzido (ENGESTRAUSS, 2003).

A estaca hélice segmentada é uma opção para a execução dentro de galpões industriais, na realização de reforço de fundações, pisos estaqueados, fundações para equipamentos, etc.

Em áreas industriais, onde é comum a utilização de estacas tipo strauss e raiz, a utilização das estacas hélice segmentada se destaca pela baixa poluição sonora, por não haver a necessidade da utilização de água durante a perfuração e pela alta produtividade.

### 3.2.3. Execução de estacas em locais de espaços reduzidos

Espaço reduzido é uma das características para utilização deste equipamento (Foto 3.14).

Terrenos da ordem de 5 x 25 m, permitem a utilização do equipamento, porém perde-se a capacidade de execução de estacas a 35 cm das divisas. Para que as estacas possam ser executadas junto às divisas, o equipamento deve ficar perpendicular à mesma, para isso a largura mínima do terreno deve ser de 8 metros para os equipamentos atuais.



Foto 3.14 – Estacas executadas em locais de espaços reduzidos (ENGESTRAUSS, 2002).

#### 3.2.4. Equipamentos de peso reduzido

O peso dos equipamentos é da ordem de 18 toneladas, geralmente 1/3 do peso de um equipamento de hélice contínua convencional, de médio porte. Essa característica é utilizada em regiões onde o peso do equipamento oferece risco. Na Foto 3.15 mostra-se o emprego do equipamento na execução de estacas junto à margem do Rio Tietê, local ao qual um equipamento convencional poderia oferecer risco de ruptura da margem.



Foto 3.15 – Estacas executadas na margem do Rio Tietê (ENGESTRAUSS, 2004).

## **CAPÍTULO 4 – PESQUISA EXPERIMENTAL**

A pesquisa experimental foi desenvolvida através de ensaios de integridade (PIT – Pile Integrity Test) e de prova de carga instrumentada em profundidade.

Antes de apresentar os locais em estudo, o desenvolvimento da pesquisa e a análise dos resultados, será feito um apanhado sobre os conceitos inerentes ao (PIT).

### **4.1. Verificação da integridade das estacas através do PIT**

#### **4.1.1. Histórico do ensaio**

Segundo CHERNAUSKAS & PAIKOWSKY (1999) o ensaio de integridade (PIT) foi desenvolvido para suprir a necessidade de se avaliar a qualidade das fundações. O seu desenvolvimento aconteceu simultaneamente em diversas partes do mundo, mas sabe-se que o primeiro ensaio foi feito na França pela CEBTP (*Centre Experimental de Recherche et d'Etudes du Batiment et des Travaux Publics*).

O ensaio de integridade (PIT) é baseado numa teoria conhecida há muito tempo. Contudo, somente com os progressos nas áreas da instrumentação e da computação eletrônica foi possível tirar proveito dessa teoria. No início, sistemas rudimentares eram usados em nível de pesquisa, consistindo de acelerômetros conectados a complicados sistemas amplificadores, cujos sinais eram visualizados em osciloscópios tipo "storage". O sinal obtido tinha que ser fotografado para posterior análise. Com o tempo, foram construídos equipamentos específicos, dotados de recursos tais como cálculo da média de vários sinais, filtros digitais, etc. Paralelamente, foram desenvolvidos programas de computador para auxílio no diagnóstico (análise no domínio da frequência, determinação do provável perfil da estaca, etc.). No Brasil, o primeiro equipamento para ensaio de integridade (PIT) foi trazido pela empresa PDI Engenharia no início da década de 90.

#### **4.1.2. Concepção do ensaio e fundamentos teóricos**

O ensaio de integridade (PIT) é um ensaio realizado em fundações profundas para avaliar, qualitativamente, a integridade de estacas com relação a possíveis defeitos

construtivos, tais como falhas de concretagem, trincas, rupturas, além de variações seccionais no fuste.

O ensaio consiste na avaliação da variação da velocidade quando da aplicação de um impacto, de baixo nível de deformação, no topo da estaca. Cada golpe gera uma onda de compressão, que se propaga pelo fuste, sofrendo reflexão na ponta, e retornando novamente ao topo.

A forma usual do ensaio consiste na colocação de um acelerômetro de alta sensibilidade no topo da estaca sob teste e na aplicação de golpes com um martelo de mão (Foto 4.1).



Foto 4.1 – Detalhe do martelo de mão (PDI, 2007).

A verificação da integridade é feita por meio da interpretação da forma da onda de tensão (refletida) gravada no topo da estaca. Qualquer variação na seção ou na densidade do material resulta em mudanças significativas na forma desta onda. Estas variações permitem estabelecer conclusões a cerca da qualidade do concreto da estaca bem como a localização de alguma trinca, vazio, alargamento ou estreitamento no fuste. Dos ensaios é possível obter gráficos de velocidade versus tempo (que pode ser transformado em comprimento da estaca) ou até análises de força ou frequência.

Quando uma estaca é atingida pelo impacto de um martelo, uma onda de tensão é gerada. Esta onda se propaga ao longo do fuste, com uma velocidade que é função exclusivamente das características do material da estaca. A velocidade de propagação  $c$  é dada por:

$$c = \sqrt{\frac{E \cdot g}{g}} \quad (1)$$

Em que:  $E$  é o módulo de elasticidade,  $g$  é a aceleração da gravidade e  $\gamma$  é a densidade do material da estaca.

Para o concreto, a velocidade de onda varia conforme suas características, mas os valores usuais de velocidade de propagação de onda para pequenas deformações (como é o caso do ensaio de integridade - PIT) estão entre 3700 m/s e 4300 m/s, podendo-se dizer que 4000 m/s é um valor médio.

À medida que se propaga, a onda sofre reflexões em seu trajeto. Essas reflexões podem ser provocadas por variações nas características do material da estaca, pela presença de atrito lateral ou resistência de ponta, ou pela própria ponta da estaca. Define-se como “impedância” da estaca o termo:

$$Z = \frac{E.A}{c} = A \sqrt{\frac{g.E}{g}} \quad (2)$$

No qual:  $Z$  é a impedância, e  $A$  é a área de secção da estaca.

Qualquer variação de impedância ao longo da estaca provoca reflexões da onda. Estas reflexões, ao atingirem o ponto onde está instalado o sensor, provocam uma variação brusca na velocidade de deslocamento da partícula neste ponto. Um aumento de impedância causa uma queda na velocidade, e uma diminuição de impedância causa seu aumento. O final da estaca se comporta como uma grande diminuição de impedância, portanto pode ser visto como um aumento de velocidade.

#### 4.1.3. Utilização do ensaio, limitações, vantagens e desvantagens

O uso mais comum do ensaio de integridade (PIT) é o de detectar falha na concretagem de estacas de concreto moldadas "in loco" ou danos resultantes da cravação de estacas pré-moldadas de concreto. No entanto, o ensaio pode também ser usado para determinar ou confirmar o comprimento de estacas de concreto.

Originalmente, o ensaio de integridade (PIT) era especificado como eficiente para profundidades até 30 vezes o diâmetro da estaca. Os novos equipamentos, com conversor analógico-digital de maior sensibilidade permitem estender este limite (VALVERDE, 1993, apud FIGUEIREDO, 2003). O limite é também função do atrito lateral. Para estacas

trabalhando predominantemente por ponta, ou que atravessem espessas camadas de baixa resistência, ele pode ser aumentado.

Deve-se ter em mente que, caso a estaca possua um dano severo, ou mesmo uma emenda construtiva, que não permita a transmissão da onda, não há como avaliar o estado da estaca abaixo deste ponto. Se a estaca já estiver rigidamente conectada a outras estruturas (como bloco de coroamento, por exemplo), ela pode ser analisada com sucesso, porém a interpretação dos sinais obtidos se torna mais difícil.

O ensaio de integridade (PIT) não fornece nenhuma informação quanto à capacidade de carga da estaca ensaiada. Por outro lado, eventuais danos detectados pelo ensaio de integridade (PIT) podem não comprometer, necessariamente, a utilização da estaca.

O ensaio de integridade (PIT) tem vantagens que o tornaram muito popular:

- execução extremamente rápida. Estando as estacas preparadas, não é incomum fazer-se mais de 50 ensaios por dia;
- é capaz de detectar danos ou falhas no fuste de estacas moldadas “in loco” e pré-moldadas de concreto;
- não exige preparo durante a execução da estaca. Assim, pode ser feito em qualquer estaca da obra;
- equipamento leve e portátil, exigindo um mínimo de recursos da obra durante os ensaios; e
- das poucas maneiras existentes para obter informações sobre a integridade das estacas, o PIT é sem dúvida a mais rápida e barata.

Em contrapartida, esse ensaio tem algumas desvantagens e limitações:

- pouca precisão na avaliação da intensidade do dano. Isso pode fazer com que sejam detectados danos que não comprometeriam a utilização da estaca, com conseqüente perda de tempo e dinheiro para a obra;
- dificuldade de detecção de segundo dano abaixo de uma grande variação de características do material da estaca;
- difícil interpretação dos sinais obtidos em alguns casos, inclusive por influência do atrito lateral (que também provoca reflexões da onda);
- impossibilidade de distinguir entre variação de área de seção e variação de qualidade do concreto (peso específico e/ou módulo de elasticidade);
- limitação de comprimento da estaca (30 vezes o diâmetro equivalente);
- dificuldade de detecção de dano muito próximo ao topo e a ponta.

- fraturas no sentido vertical da estaca não são identificadas.

ALONSO (2007) relatou que no Workshop realizado em 06/08/02, abriu-se discussão sobre o problema da confiabilidade do ensaio de integridade (PIT), nas estacas hélice contínua e, que ficou patente que este ensaio não é conclusivo para este tipo de estaca.

#### 4.1.4. Conferências Técnicas

A primeira Conferência Internacional sobre a Aplicação da Teoria da Equação de Onda em Estacas foi realizada em 1980, na Suécia. No Brasil, o primeiro evento bem-sucedido foi organizado pela ABMS e pelo IPT em São Paulo, denominado “Feira da Dinâmica”, em 1994.

Na Tabela 4.1 apresenta-se as conferências internacionais específicas sobre o tema, bem como o número total de artigos apresentados, os relacionados com o PIT e sua porcentagem em relação aos artigos apresentados.

Ano	Local / País	N.º Artigos	N.º Artigos (PIT)	% (PIT)
1980	Estocolmo / Suécia	24	5	20
1984	Estocolmo / Suécia	54	5	9
1988	Otawa / Canadá	88	13	15
1992	Haia / Holanda	107	16	15
1996	Orlando / EUA	101	21	21
2000	São Paulo / Brasil	100	14	14
TOTAL/MÉDIA		474 / 79	74 / 12	16

Tabela 4.1. – Relação das Conferências Internacionais realizadas, número de artigos gerais e números de artigos relacionados com o PIT (GOLDEMBERG, 2000, apud FIGUEIREDO, 2003).

#### 4.1.5. Normalização

Não existe ainda norma brasileira específica para o ensaio de integridade (PIT). A NBR 6122 recomenda, no caso de estacas escavadas executadas com lama bentonítica, a realização de ensaios de integridade em todas as estacas da obra. Em nível internacional, existem várias normas, como mostra na Tabela 4.2.

País	Referência	Título
Austrália	Padrão australiano AS 2159-1995	Fundações – Projeto e Instalação
China	JGJ 94-94	Código Técnico na Construção de Fundação em estacas, Capítulo 9: Inspeção e Aceitação de Fundação em Estaca. 9.1: Inspeção da Qualidade da Instalação de Estaca
China	JGJ/T 93-95	Especificação para Ensaio Dinâmico de Baixa Tensão em Estacas
França	Norma Francesa NFP 94-160-2; NFP 94-160-4	Solo: Investigação e Ensaio de Asculação para Fundações através do Método da reflexão/impedância
Alemanha	DGGT	Recomendação de Integridade de Fundações Profundas
Inglaterra	Instituição de Engenheiros Civis (ICE)	Especificação de Estacas
E.U.A	ASTM D 5882	Método de teste padrão de baixa tensão para a integridade de estacas

Tabela 4.2 – Relação dos Países com as suas respectivas normas (BEIM et al., 1998, apud FIGUEIREDO, 2003).

#### 4.1.6. Preparo das estacas para a execução dos ensaios de integridade (PIT)

A parte talvez mais importante para o sucesso do ensaio de integridade (PIT) é o preparo da estaca. É necessário, primeiramente, eliminar todo o concreto de má qualidade, porventura existente no topo. Em seguida é necessário criar uma superfície plana e lisa com uma lixadeira (Foto 4.2). O topo da estaca deverá estar perfeitamente acessível e seco (Foto 4.3). Caso já tenha sido lançado o concreto “magro” da base do bloco, a estaca terá que ser isolada dessa base, mediante a quebra de uma estreita região em todo o perímetro da estaca. Não tem importância se houver água ao redor da estaca, contanto que o topo da mesma esteja seco, e que seja possível o acesso do operador. De maneira alguma pode ser usada argamassa ou qualquer outro material no topo da estaca. O acelerômetro e os golpes têm que ser aplicados em material idêntico ao do restante da estaca.

Não é requisito do ensaio que as estacas tenham sido cortadas até a cota de arrasamento. Entretanto, sugere-se, sempre que possível, que o ensaio seja feito com as estacas já nessa situação. A principal razão para isso é que, caso seja detectado algum problema mais sério entre o topo do ensaio e a cota de arrasamento, poderá ser impossível

determinar o estado da estaca abaixo do dano. Com isso, o ensaio terá que ser repetido para essa estaca.



Foto 4.2 – Trabalho para regularização da superfície da estaca (PDI, 2007).



Foto 4.3 – Estaca com a superfície preparada para o ensaio (PDI, 2007).

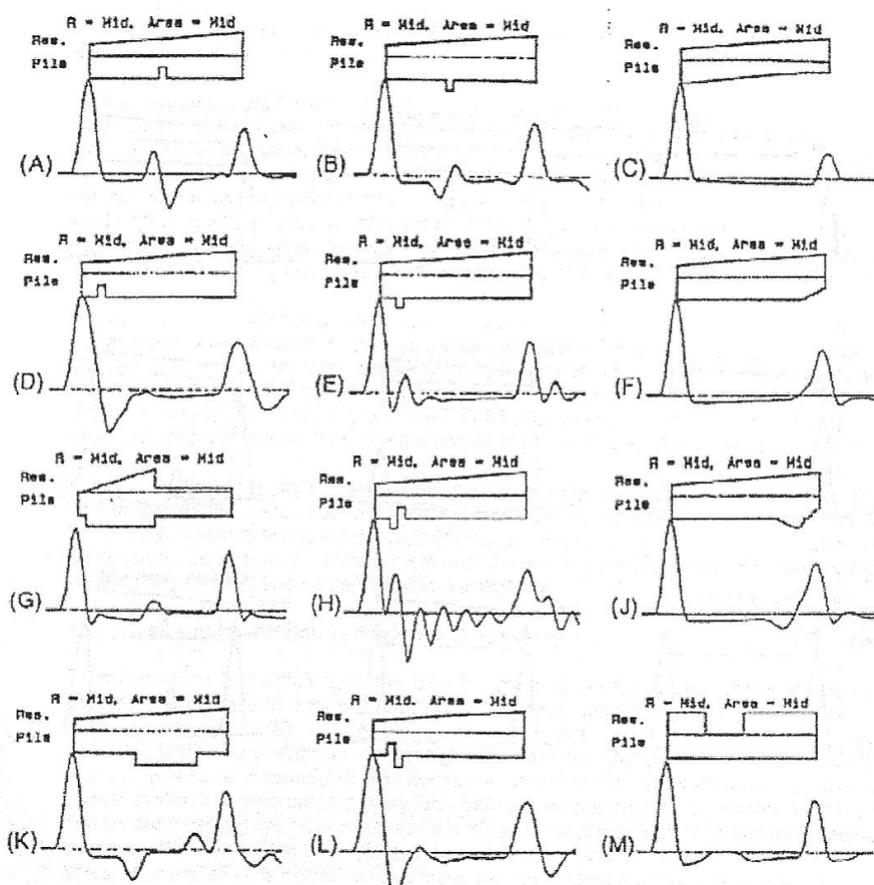
#### **4.1.7. Interpretação do sinal**

Neste trabalho usou-se o método de interpretação do sinal pela análise do domínio no tempo, que é o mais empregado no Brasil (FIGUEIREDO, 2003).

Várias incógnitas podem ser determinadas: a velocidade de propagação da onda da estaca, o comprimento da estaca e a identificação da profundidade da anomalia/dano e, em alguns casos, a gravidade do dano.

A interpretação do sinal talvez seja um dos pontos fundamentais do ensaio, pois não é fácil de ser realizada e requer a atuação de profissionais preparados.

Apresenta-se nas Figuras 4.1 A à M vários tipos de situações que podem ocorrer ao longo do fuste da estaca, e como se comportaria a onda de velocidade para cada situação. Em cada situação há um defeito (dano) específico. Por exemplo, na situação (A) há um estreitamento da secção do fuste, na (B), um alargamento desta secção, etc.



Figuras 4.1 A à M – Exemplos de defeitos variando a resistência do atrito lateral e a área da estaca (PDI, 1998, apud FIGUEIREDO, 2003).

Por analogia, para as estacas escavadas, pode-se concluir que caso a estaca tenha um alargamento ao invés de um estreitamento, o sinal de velocidade apresentaria um pico para baixo seguido de um pico para cima (ver as Figuras 4.1 B e E). Portanto, para a localização de estreitamentos, que são geralmente os que causam preocupações, deve-se buscar picos voltados para cima, seguidos ou não, e picos voltados para baixo (ver as Figuras 4.1 A e D).

Os exemplos apresentados anteriormente são meramente teóricos e ilustrativos, pois têm características parecidas com o ensaio feito no campo.

## 4.2. Aspectos da geologia e do subsolo nos locais de estudo

### 4.2.1. Região de São Bernardo do Campo – SP

Localizado na Sub-Região Sudeste da Região Metropolitana de São Paulo, São Bernardo do Campo possui 407,1 km<sup>2</sup> de área, correspondendo a 49% da superfície do Grande ABC, 5% da Grande São Paulo e 0,2% do Estado de São Paulo, 52% da área total de São Bernardo encontra-se na área de Proteção aos Mananciais (75,82 km<sup>2</sup>, ou 18,6% de sua área ocupada pela Represa Billings). Com relação ao Grande ABC, o Município ocupa 46% da área de Proteção aos Mananciais (Figura 4.2).



Figura 4.2 - Localização de São Bernardo do Campo na Grande São Paulo (WIKIPEDIA, 2008).

Na Foto 4.4 apresenta-se o local de execução de 10 estacas hélice segmentada, submetidas a ensaios de integridade (PIT).

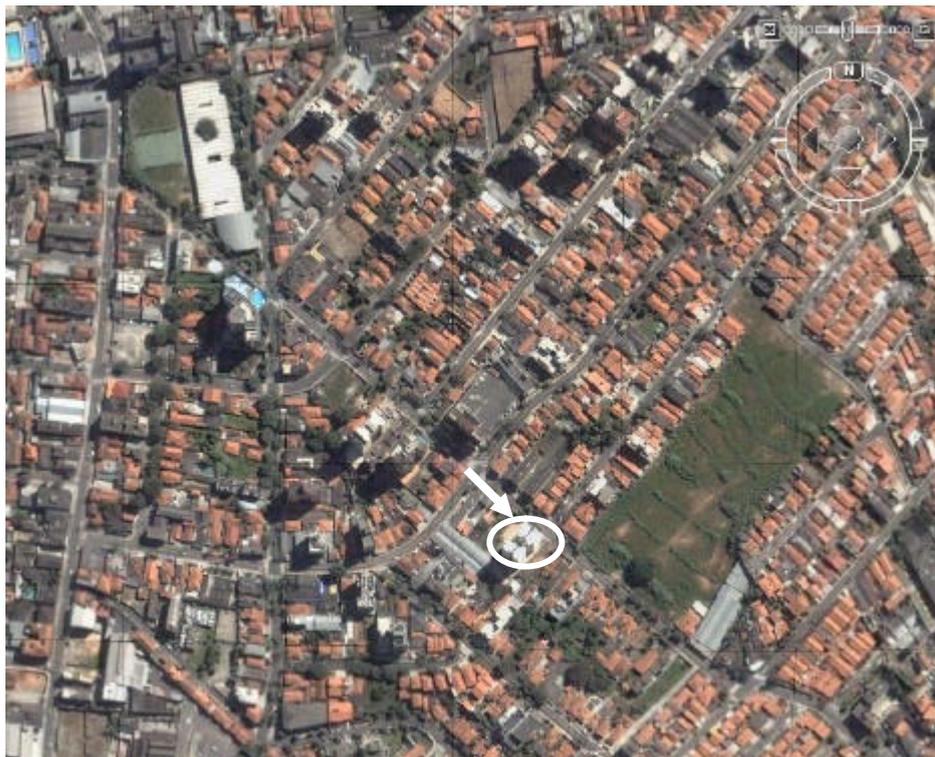


Foto 4.4 – Local onde se executaram estacas hélice segmentada (GOOGLE, 2006).

Na região afloram solos da Bacia Sedimentar de São Paulo, de idade Cenozóica. Essa bacia compreende os depósitos terciários da Bacia de São Paulo e as coberturas aluviais mais recentes, de idade Quaternária, desenvolvidas ao longo dos principais rios que drenam a região. Está associada ao contexto do Rift Continental do Sudeste do Brasil, sendo que os terrenos sedimentares são subdivididos conforme as Formações Resende, Tremembé, São Paulo e Itaquaquetuba, além das unidades Quaternárias (TAIOLI, 1999).

Segundo RICCOMINI & COIMBRA (1992) na região aflora a Formação sedimentar Itaquaquetuba, correspondendo aos depósitos de sistema aluviais entrelaçados que ocorrem sob os aluviões holocênicos dos rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí. Constitui-se por leques aluviais com conglomerados, blocos e matacões em matriz arenosa associados à planície aluvial com canais entrelaçados.

Realizaram-se sondagens a percussão, que permitiram descrever o solo e sua consistência ou compacidade. Na Figura 4.3 apresenta-se o “croquis” de locação das sondagens e na Figura 4.4 a secção geológica do local.

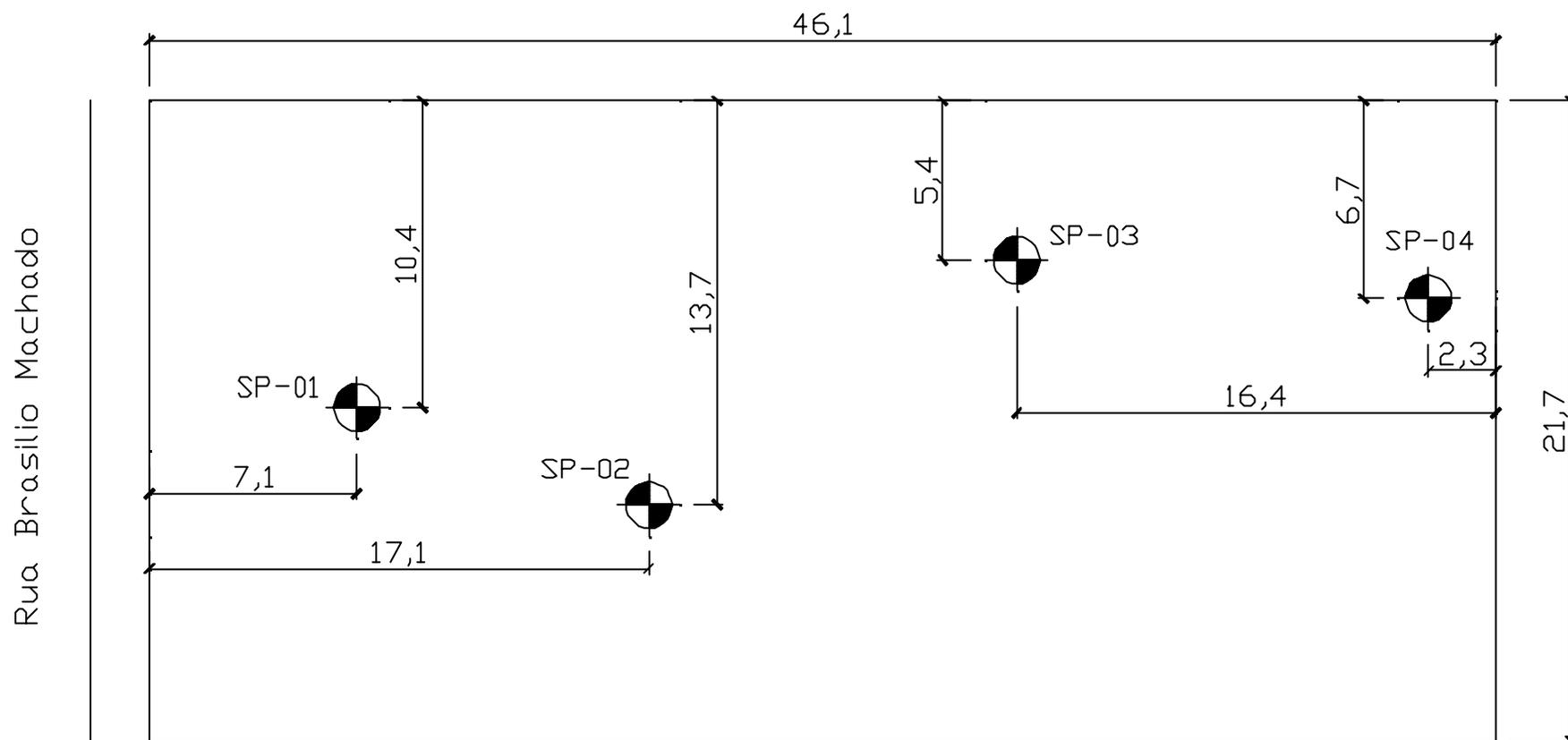
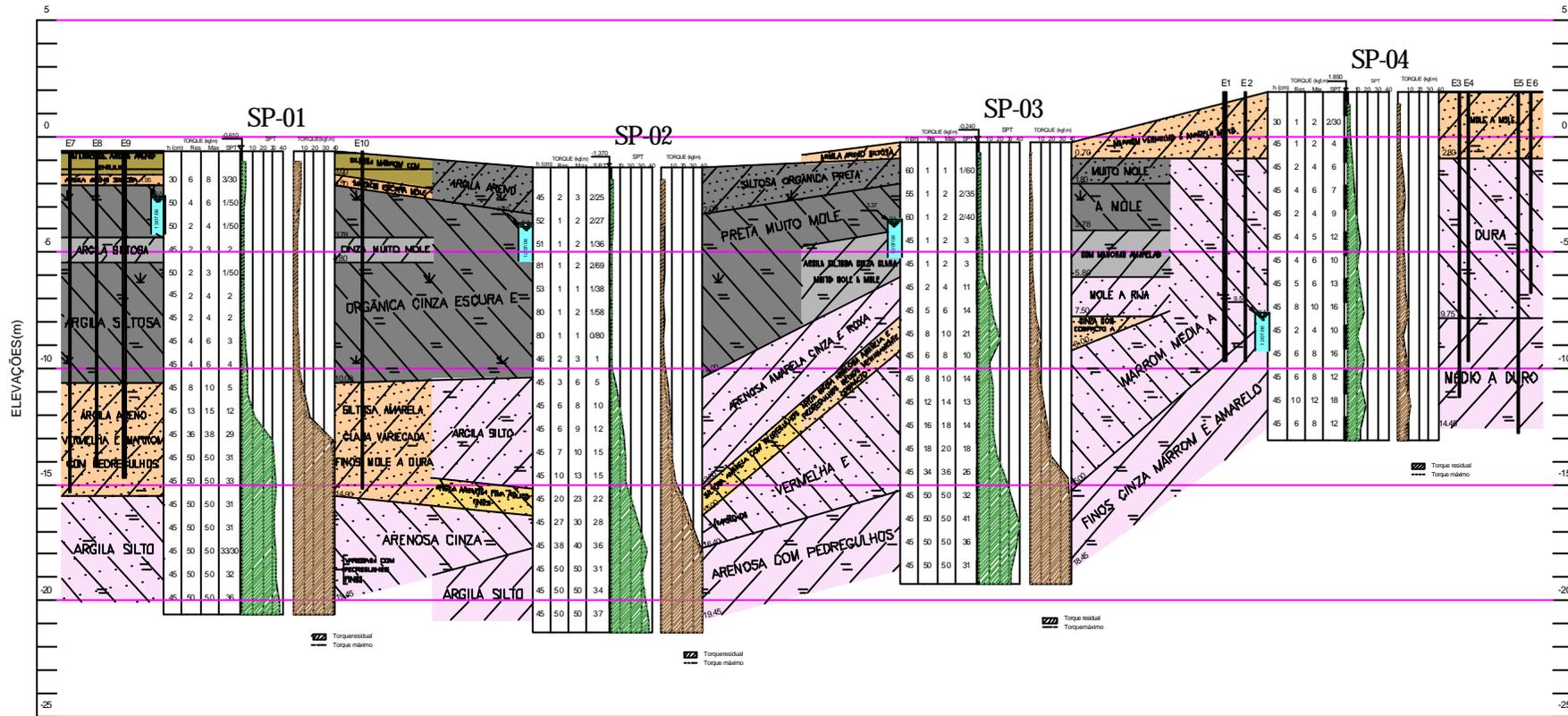


Figura 4.3 – Croquis de locação das sondagens.



SECÇÃO GEOLÓGICA

Figura 4.4 – Secção geológica do local – São Bernardo do Campo – SP.

#### 4.2.2. Região de Campinas – SP

O município de Campinas localiza-se na região centro-oeste do Estado de São Paulo (Latitude 22° 53'S e Longitude 47° 05'W), abrangendo uma área de aproximadamente 800 Km<sup>2</sup>.

Segundo COUTINHO (1997), o município está situado justamente no contacto entre os terrenos sedimentares da Bacia do Paraná e o embasamento cristalino do escudo brasileiro, de idade Pré-Cambriana. Esta posição coloca a área na borda da Depressão Periférica Paulista, isto é, a faixa na zona de contacto entre os terrenos sedimentares e o embasamento antigo.

A região apresenta corpos de rochas básicas intrusivas, que dão origem às terras roxas e latossolos roxos. Os terrenos cristalinos, de idade Pré-Cambriana, encontram-se no lado oriental, enquanto a parte ocidental é marcada por extensa área de material sedimentar de origem glacial (argilitos, siltitos e arenitos) do Permo-Carbonífero. As rochas básicas estão localizadas entre a área urbana e o rio Atibaia, na parte setentrional do município. No extremo meridional há uma extensa área de sedimentação mais recente, composta por areias e cascalhos.

Na Figura 4.5 apresenta-se um mapa com informações sobre a geologia de Campinas.

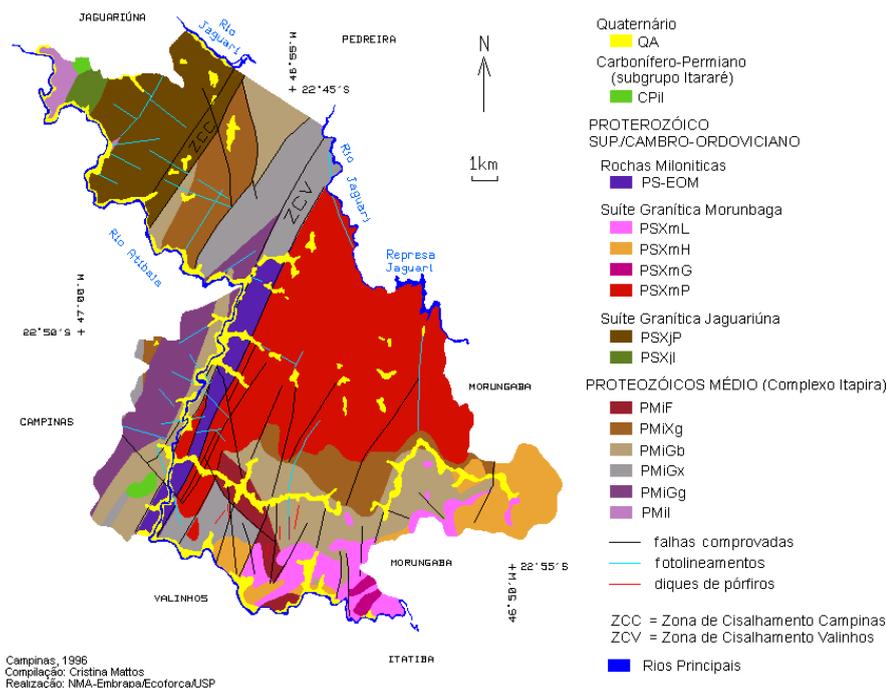


Figura 4.5 – Geologia de Campinas (NMA-Embrapa/Ecoforça/USP, 1996).

O subsolo da região é formado por migmatitos básicos, ocorrendo rochas intrusivas básicas da Formação Serra Geral (diabásio), perfazendo 98 Km<sup>2</sup> da região de Campinas, cerca de 14% de sua área total. Corpos de diabásio também são encontrados encaixados na Formação Itararé e no Complexo Cristalino, sob formas de “sills” e diques, ALBUQUERQUE (2001).

O perfil do Campo Experimental é constituído por solo residual de diabásio, apresentando uma camada superficial de aproximadamente 6,5 m de espessura, constituída por argila silto-arenosa de alta porosidade, seguida de uma camada de silte argilo-arenoso até 19,0 m; o nível d’água é encontrado a 17,7 m, mas pode variar, dependendo da época do ano. Pode-se dizer que a primeira camada é constituída de um solo maduro, que sofreu intenso processo de intemperização. O fenômeno da lixiviação pode explicar a porosidade, devido ao carregamento dos finos para o horizonte mais profundo. A segunda camada é composta por um solo residual jovem, que guarda características herdadas da rocha de origem, ALBUQUERQUE (2001).

A Figura 4.6 apresenta uma secção geológica típica da região de Campinas e, na Foto 4.5, a localização do campo experimental na Unicamp, onde se executou uma estaca tipo hélice segmentada, submetida à prova de carga estática.

As Figuras 4.7 e 4.8 apresentam valores do  $N_{SPT}$  e do torque, medidos em furos de sondagem localizados próximos à estaca ensaiada.

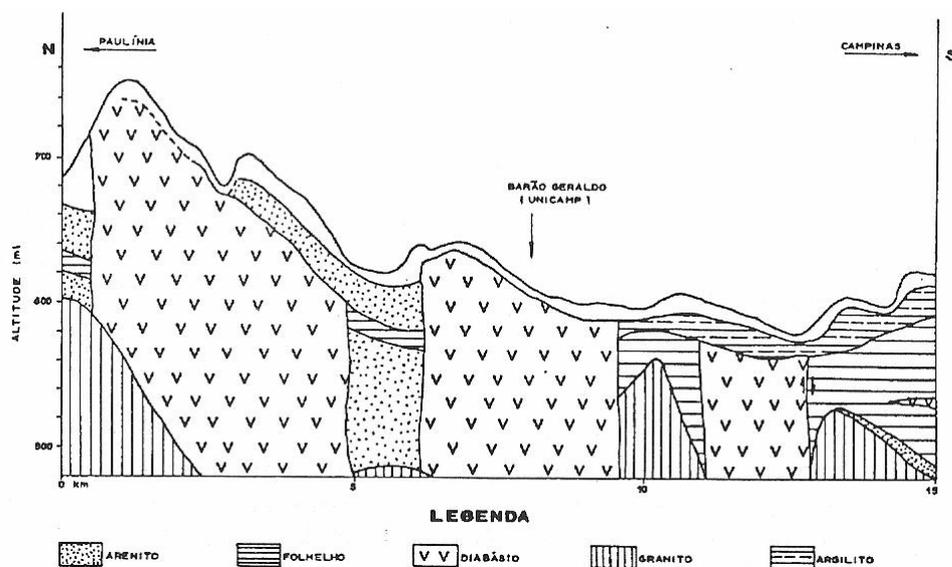


Figura 4.6 – Perfil geológico do da região de Campinas, (ZUQUETTE, 1987, apud ALBUQUERQUE, 2001).

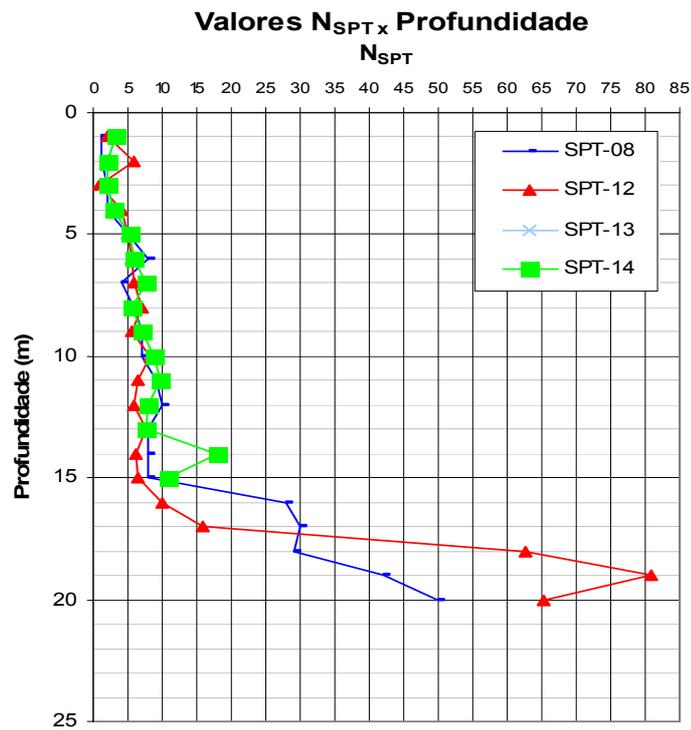


Figura 4.7 – Valores de  $N_{SPT}$ . (CARVALHO et al., 2004).

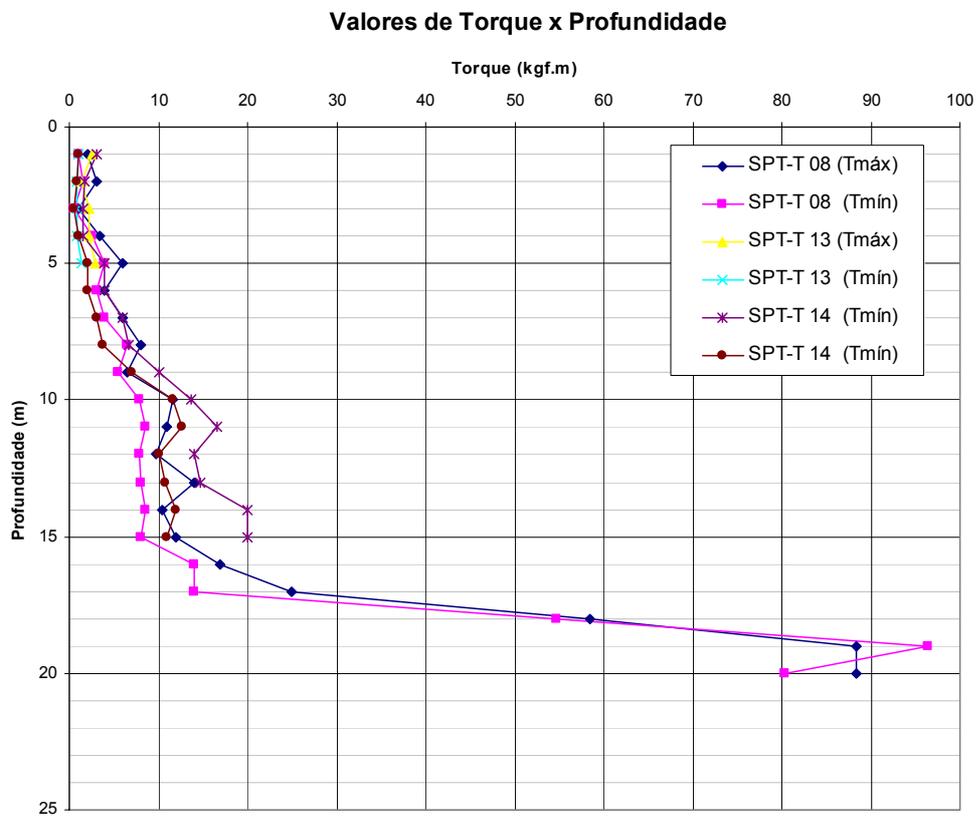


Figura 4.8 – Valores de  $T_{máx}$  e  $T_{mín}$  (CARVALHO et al., 2004).



Foto 4.5 – Localização do Campo Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da Unicamp – Campinas – SP (GOOGLE, 2007).

### **4.3. Desenvolvimento da pesquisa**

#### **4.3.1. Verificação de integridade – Região de São Bernardo do Campo – SP**

Neste capítulo apresenta-se a análise dos ensaios de integridade (PIT) realizados em 10 estacas tipo hélice segmentada em São Bernardo do Campo - SP. As estacas foram executadas com particularidades executivas diferenciadas, em terrenos propícios e não propícios à ocorrência de problemas na integridade do fuste das estacas.

Este estudo objetivou estabelecer padrões de boa e má execução para o processo executivo, avaliando-se os dados do sistema de monitoração da perfuratriz e os ensaios de integridade (PIT).

Para o estudo, utilizaram-se as características executivas impostas na realização das estacas, o tipo de solo, o gráfico gerado pelo sistema de monitoração durante a execução e as curvas tempo x velocidade do ensaio de integridade (PIT).

As estacas em estudo apresentam-se com diâmetro nominal de 30 cm e comprimentos variando de 8,8 a 15,0 m. No fuste das estacas não se utilizou armadura,

foram inseridas e distribuídas uniformemente sobre a secção da estaca 3 barras de aço CA-50, de diâmetro 12,5 mm e comprimento de 2 metros.

#### 4.3.1.1. Localização das estacas executadas

Apresenta-se na Figura 4.9 a localização de 4 estacas executadas próximas ao furo de sondagem SP-01, que pode ser visualizado na secção geológica apresentada na Figura 4.4. A região apresenta uma camada de 10 m argila orgânica, de consistência muito mole, visível na Foto 4.6.

Na Figura 4.10, mostra-se a localização de 6 estacas executadas na região do furo de sondagem SP-04, sem a presença de argila orgânica, como ilustra a Foto 4.7.

Elas foram posicionadas de forma a não interferir nas estacas do prédio que seria executado futuramente. Procurou-se também executar as estacas o mais próximo possível dos furos de sondagem SP-01 e SP-04.

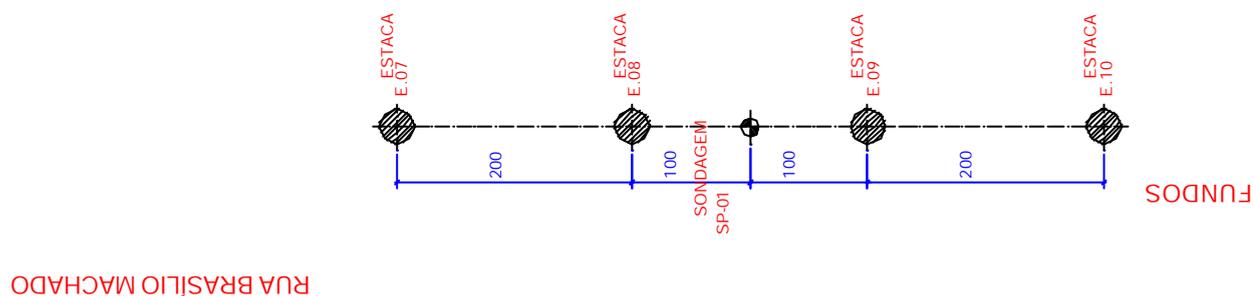


Figura 4.9 – Estacas executadas na região da sondagem SP-01.

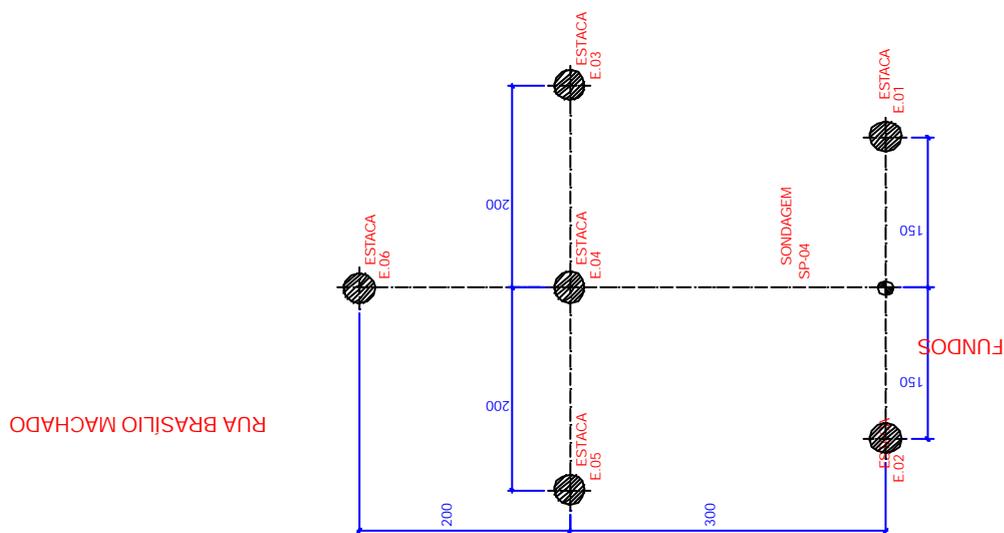


Figura 4.10 – Estacas executadas na região da sondagem SP-04.



Foto 4.6 – Estacas executadas na região da sondagem SP-01.



Foto 4.7 – Estacas executadas na região da sondagem SP-04.

### **4.3.1.2. Características executivas das estacas**

#### **4.3.1.2.1. Estacas executadas “com” e “sem” o levantamento do trado**

No decorrer do texto são utilizados os termos “com o levantamento” e “sem o levantamento” do trado, que correspondem à principal característica e ou risco executivo da estaca hélice segmentada, dependendo ainda das características do terreno.

Em terrenos argilosos muito moles e em areias fofas, a atenção durante a concretagem das estacas hélice contínua ou hélice segmentada é primordial; caso ocorra um descuido operacional (queda de pressão da injeção e ou levantamento de forma abrupta do trado) pode haver o comprometimento da integridade da estaca.

A Foto 4.8 mostra as partes da perfuratriz utilizada para a execução das estacas.

Para a perfuração é necessário que os segmentos de hélice (trados) sejam interligados por suas extremidades. A ligação é feita através de acoplamentos de aço com cavidades e extremidades hexagonais que se fixam com a colocação de dois pinos também de aço.

Durante a concretagem da estaca, a extração da hélice do terreno é feita simultaneamente ao bombeamento do concreto, até o limite imposto pelo comprimento do segmento de hélice. Paralisada a concretagem, procede-se o desligamento e remoção do segmento; o processo é repetido até a remoção do último segmento. Note-se que a cada paralisação do bombeamento todo o tubo central da hélice permanece preenchido com concreto.

O desligamento do segmento extraído do terreno é feito pela remoção dos pinos de aço e, quando desconectado, todo o concreto contido no tubo é extravasado por gravidade, desde a curva metálica. Quando isso acontece, classifica-se a operação como sendo “sem o levantamento” do trado, pois o desligamento do segmento foi realizado com a ponta da hélice no mesmo local onde se paralisou o bombeamento do concreto.

É comum nas empresas executoras o aproveitamento do concreto que seria desperdiçado pelo desligamento das hélices. Para isso, basta o “levantamento” do trado após a paralisação do bombeamento, sem extrair os pinos de aço; ato contínuo, o concreto, que se encontra desde a curva metálica até o acoplamento a ser desligado, é levado para o fuste da estaca por gravidade, sem a ação da pressão de injeção.

O levantamento do trado varia em função do seu comprimento e diâmetro interno do tubo central. Apresenta-se na Tabela 4.3 a quantidade de concreto contido em um

segmento de hélice de 4,5 m de comprimento, assim como o comprimento preenchido por esta quantidade nos diâmetros de 25, 30 e 35 cm.

<i>Diâmetro da Hélice (cm)</i>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>
Volume de concreto por metro de estaca (l)	49,1	70,7	96,2
Ø interno do tubo central da hélice (mm)	76,2	76,2	76,2
Volume de concreto no tubo central de 4,5 m de comprimento (l)	20,5	20,5	20,5
Trecho preenchido da estaca com o levantamento do trado (cm)	42	29	21

Tabela 4.3 – Concreto no tubo central da hélice.

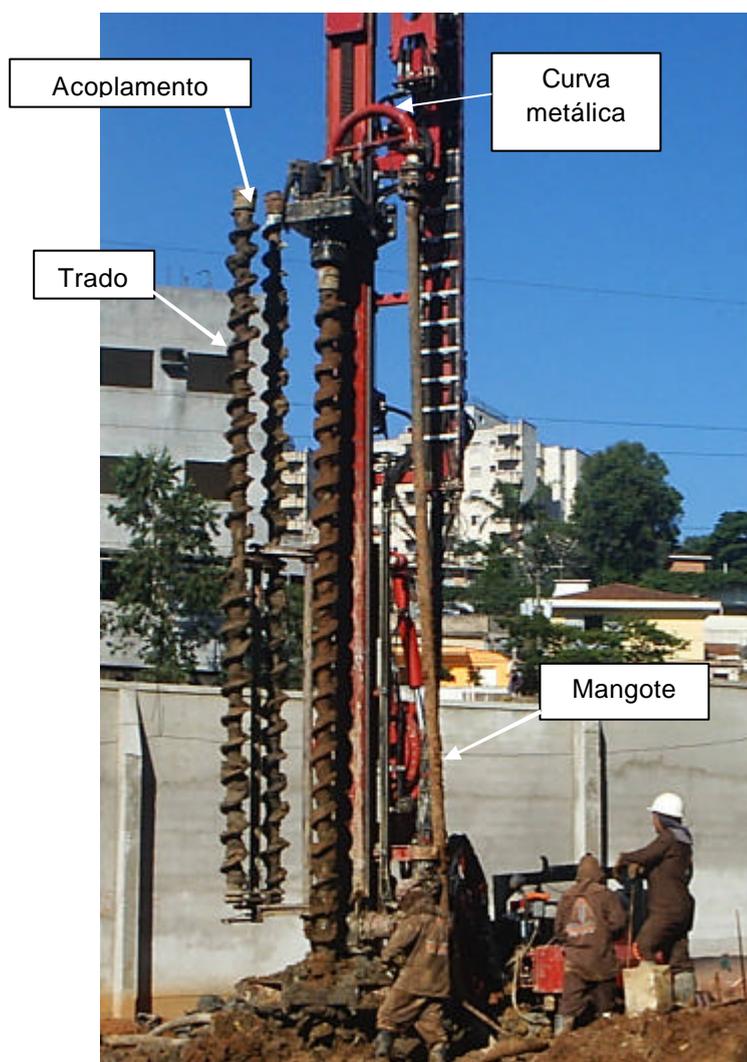


Foto 4.8 – Perfuratriz MD-3000.

#### 4.3.1.2.2. Particularidade executiva das estacas

Apresenta-se na Tabela 4.4 as particularidades executivas das estacas hélice segmentadas em estudo. As estacas n.º 01, 02, 03, 04, 05 e 06 foram executadas na região do furo de sondagem SP-04 e as estacas 07, 08, 09 e 10, na região do furo SP-01.

Na região do furo de sondagem SP-04, utilizou-se em cinco das seis estacas executadas a característica “com o levantamento do trado”, pois é a característica principal suscetível a ocorrência de problemas no fuste, já que a hélice é levantada por um trecho sem a injeção do concreto sob pressão, para o aproveitamento do mesmo. Acrescenta-se ainda, outras três características, desconfinamento do fuste da estaca durante a perfuração da estaca e a utilização de baixa e alta pressão de injeção do concreto, no intuito de verificar alterações no ensaio de integridade (PIT).

Na outra região, no furo de sondagem SP-01, executou-se quatro estacas com a mesma ordem de comprimento e procurou-se verificar o risco do processo executivo “com o levantamento do trado” em uma camada de argila orgânica de 10 m de comprimento. Durante a concretagem da estaca a velocidade de subida do trado foi feita de forma abrupta em alguns trechos, procurando-se assim, certificar-se se o “provável perfil” da estaca, registrado pela monitoração da perfuratriz, são consistentes com os resultados diagnosticados pelos ensaios de integridade (PIT).

Na região do furo de sondagem SP- 04 foram executados 73,4 m de estaca e utilizado 1 caminhão betoneira de concreto, com o volume de 7,0 m<sup>3</sup>. Considerando-se que para o preenchimento do “cocho” da bomba de concreto e da rede de concreto utilizou-se cerca de 1,0 m<sup>3</sup>, obteve-se um sobreconsumo de concreto da ordem de 16%, valor este, próximo ao medido pela monitoração da perfuratriz, confirmando-se a boa calibração do sistema.

Nas estacas próximas à região do furo de sondagem SP-01, executaram-se 58,5 m de estaca e obteve-se um sobreconsumo de concreto da ordem de 69%, devido ao solo de baixa resistência.

Região	N.º da estaca	Comprimento útil (m)	Perímetro do topo "in-loco" (cm)	Diâmetro do topo em função do perímetro (cm)	Comprimento equivalente ao diâmetro (vezes)	Característica da concretagem	Características adicionais
Sondagem SP-04	1	11,6	95,0	30,2	38,4	Sem o levantamento do trado	-
	2	11,6	96,0	30,6	38,0	Com o levantamento do trado	-
	3	13,1	95,0	30,2	43,3	Com o levantamento do trado	Desconfinamento da perfuração
	4	11,6	95,0	30,2	38,4	Com o levantamento do trado	Baixa pressão na injeção do concreto
	5	14,7	97,0	30,9	47,4	Com o levantamento do trado	Alta pressão na injeção do concreto
	6	8,6	97,0	30,9	27,8	Com o levantamento do trado	-
Sondagem SP-01	7	14,7	100,0	31,8	46,2	Sem o levantamento do trado	-
	8	13,6	103,0	32,8	41,5	Com o levantamento do trado	-
	9	14,1	97,0	30,9	45,7	Sem o levantamento do trado	-
	10	14,6	102,0	32,5	45,0	Com o levantamento do trado	-

Tabela 4.4 – Principais características das estacas.

#### 4.3.1.3. Relatório gerado pela monitoração da perfuratriz

Apresenta-se nas Figuras 4.11 A à J os gráficos gerados pela monitoração da perfuratriz.

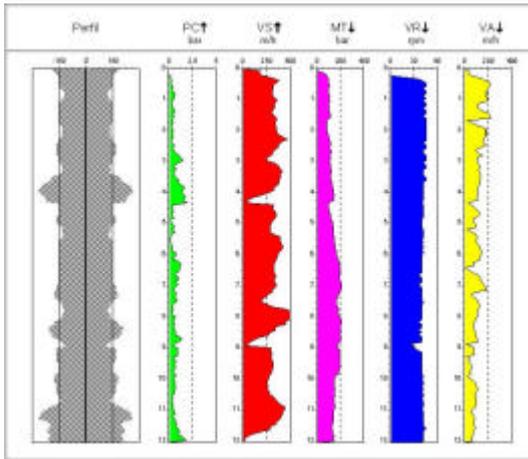
Os gráficos A, B, C, D, E e F representam as estacas executadas na região do furo de sondagem SP-04 e, os gráficos G, H, I e J, na região do SP-01. Ainda nestes gráficos, encontram-se os seguintes termos abreviados:

- *Perfil* – Provável perfil da estaca;
- *PC* – Pressão de injeção do concreto;
- *VS* – Velocidade de subida da hélice durante a concretagem;
- *MT* – Medida de torque;
- *VR* – Velocidade de rotação da hélice, e;
- *VA* – Velocidade de avanço da hélice durante a perfuração.

A análise destes resultados será feita mais adiante no item 4.4.

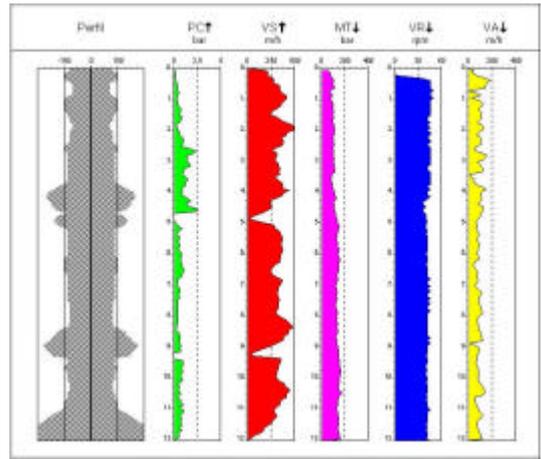
A.

Estaca 01		Perfuração		Concretagem	
Diâmetro:	30 cm	Data de início:	19/6/2006	Data de início:	19/6/2006
Passo:	8 cm	Data de término:	19/6/2006	Data de término:	19/6/2006
Inclinação XY:	0,0°/0,1°	Hora de início:	11:08:00	Hora de início:	11:21:00
Profundidade:	12,01	Hora de término:	11:20:00	Hora de término:	11:29:00
Superconsumo:	21%	Duração:	00:07:55	Duração:	00:03:06
Volume:	1027 l				



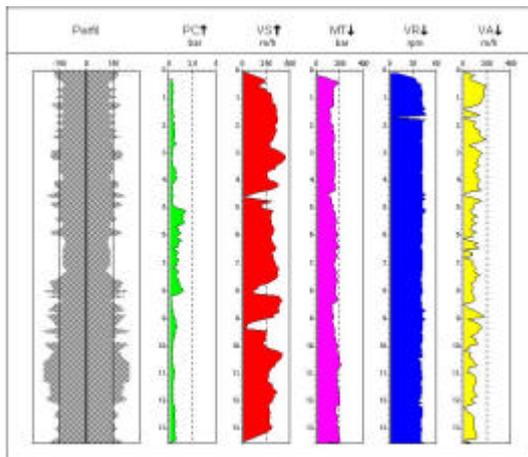
B.

Estaca 02		Perfuração		Concretagem	
Diâmetro:	30 cm	Data de início:	19/6/2006	Data de início:	19/6/2006
Passo:	8 cm	Data de término:	19/6/2006	Data de término:	19/6/2006
Inclinação XY:	0,0°/0,2°	Hora de início:	11:36:00	Hora de início:	11:49:00
Profundidade:	12,04	Hora de término:	11:49:00	Hora de término:	11:57:00
Superconsumo:	15%	Duração:	00:08:31	Duração:	00:03:07
Volume:	987 l				



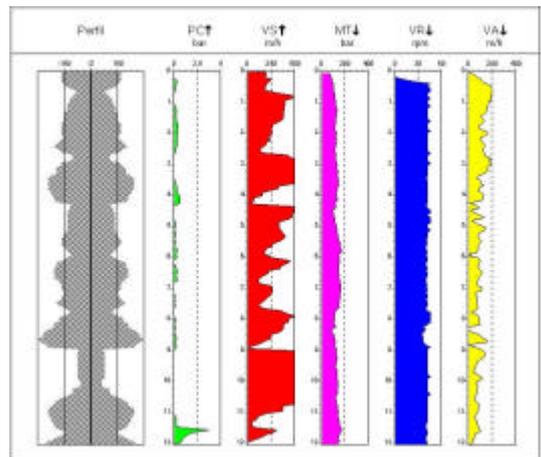
C.

Estaca 03		Perfuração		Concretagem	
Diâmetro:	30 cm	Data de início:	19/6/2006	Data de início:	19/6/2006
Passo:	8 cm	Data de término:	19/6/2006	Data de término:	19/6/2006
Inclinação XY:	0,0°/0,1°	Hora de início:	10:31:00	Hora de início:	10:52:00
Profundidade:	13,52	Hora de término:	10:51:00	Hora de término:	11:00:00
Superconsumo:	18%	Duração:	00:11:05	Duração:	00:03:24
Volume:	1127 l				



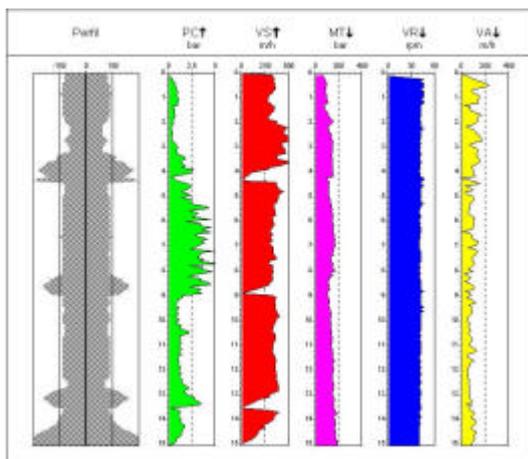
D.

Estaca 04		Perfuração		Concretagem	
Diâmetro:	30 cm	Data de início:	19/6/2006	Data de início:	19/6/2006
Passo:	8 cm	Data de término:	19/6/2006	Data de término:	19/6/2006
Inclinação XY:	0,2°/0,1°	Hora de início:	12:06:00	Hora de início:	12:19:00
Profundidade:	12,04	Hora de término:	12:19:00	Hora de término:	12:25:00
Superconsumo:	12%	Duração:	00:09:03	Duração:	00:02:40
Volume:	960 l				



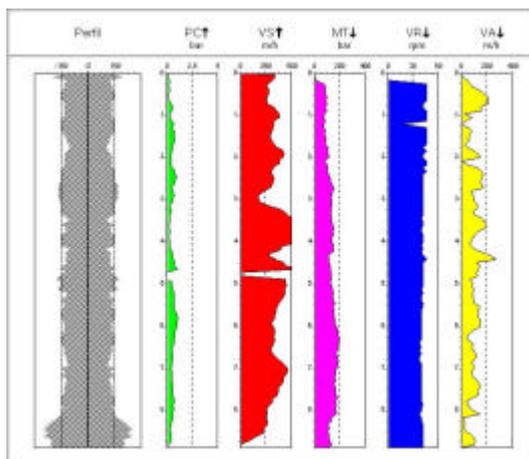
E.

Estaca 05		Perfuração		Concretagem	
Diâmetro:	30 cm	Data de início:	19/6/2006	Data de início:	19/6/2006
Passo:	8 cm	Data de término:	19/6/2006	Data de término:	19/6/2006
Inclinação X/Y:	0,1°/0,1°	Hora de início:	12:30:00	Hora de início:	12:47:00
Profundidade:	15,05	Hora de término:	12:47:00	Hora de término:	12:58:00
Superconsumo:	14%	Duração:	00:11:04	Duração:	00:04:57
Volume:	1212 l				



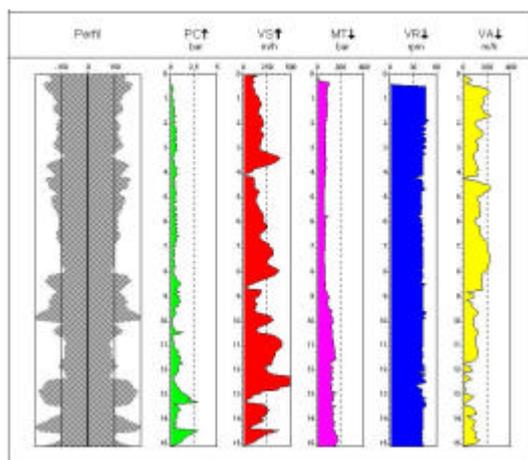
F.

Estaca 06		Perfuração		Concretagem	
Diâmetro:	30 cm	Data de início:	19/6/2006	Data de início:	19/6/2006
Passo:	8 cm	Data de término:	19/6/2006	Data de término:	19/6/2006
Inclinação X/Y:	0,1°/0,1°	Hora de início:	13:06:00	Hora de início:	13:15:00
Profundidade:	8,88	Hora de término:	11:14:00	Hora de término:	13:18:00
Superconsumo:	11%	Duração:	00:06:21	Duração:	00:02:05
Volume:	700 l				



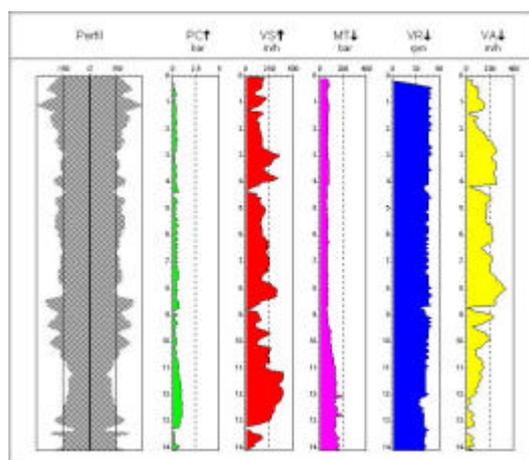
G.

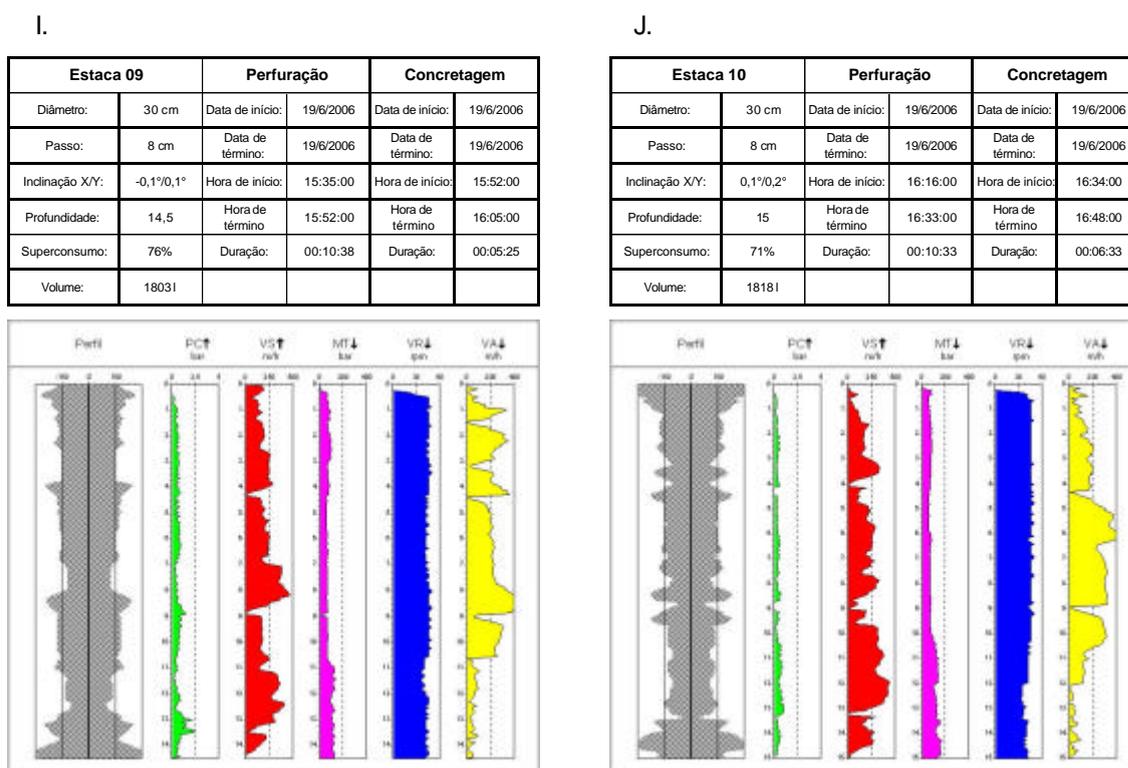
Estaca 07		Perfuração		Concretagem	
Diâmetro:	30 cm	Data de início:	19/6/2006	Data de início:	19/6/2006
Passo:	8 cm	Data de término:	19/6/2006	Data de término:	19/6/2006
Inclinação X/Y:	0,2°/0,0°	Hora de início:	14:13:00	Hora de início:	14:37:00
Profundidade:	15,08	Hora de término:	14:37:00	Hora de término:	14:50:00
Superconsumo:	75%	Duração:	00:13:01	Duração:	00:05:43
Volume:	1865 l				



H.

Estaca 08		Perfuração		Concretagem	
Diâmetro:	30 cm	Data de início:	19/6/2006	Data de início:	19/6/2006
Passo:	8 cm	Data de término:	19/6/2006	Data de término:	19/6/2006
Inclinação X/Y:	0,0°/0,1°	Hora de início:	15:04:00	Hora de início:	15:20:00
Profundidade:	14,09	Hora de término:	15:20:00	Hora de término:	15:30:00
Superconsumo:	64%	Duração:	00:10:16	Duração:	00:04:40
Volume:	1633 l				





Figuras 4.11 A à J – Gráficos gerados pela monitoração da perfuratriz.

#### 4.3.1.4. Execução dos ensaios de integridade (PIT)

Para realização dos ensaios de integridade (PIT), preparou-se às estacas conforme recomendações do item 4.1.1.6 do presente trabalho.

Procurou-se tomar todos os cuidados necessários quanto a superfície do topo das estacas, na fixação do acelerômetro e a aplicação do golpe do martelo, pois ambos influenciam diretamente na qualidade do sinal obtido (Foto 4.9).

Para realização e interpretação dos ensaios PIT, contratou-se a empresa GEOMEC – Engenheiros Consultores S/C Ltda, sediada na cidade de Belo Horizonte – MG.

Apresenta-se nas Fotos 4.10 A e B, os locais de execução de ensaios.



Foto 4.9 – Execução dos ensaios de integridade (PIT).



Fotos 4.10 A e B – Regiões de execução dos ensaios de integridade (PIT).

#### 4.3.2. Prova de carga instrumentada – Região de Campinas – SP

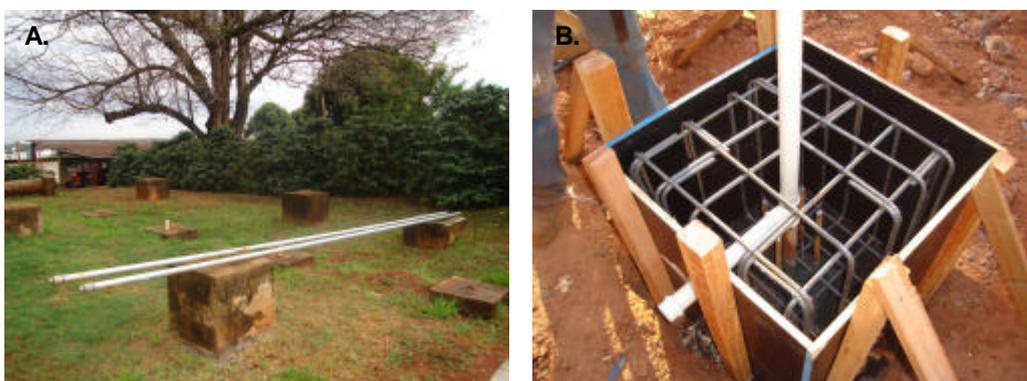
Para a realização de uma prova de carga instrumentada foi executada uma estaca tipo hélice segmentada de 0,30 m de diâmetro e 12 m de profundidade. A armadura da estaca, em aço CA-50, constituiu-se de 4 barras longitudinais de  $\varnothing$  16 mm com 4 m de comprimento; os estribos consistiam de barras de diâmetro de 6,3 mm a cada 20 cm.

A perfuratriz utilizada para execução da estaca foi a modelo SD-45 (Foto 4.11) da fabricante Solodril; suas características foram apresentadas na tabela 2.1.2.2 do presente trabalho.



Foto 4.11 – Perfuratriz SD-45 no Campo Experimental da UNICAMP.

No centro da estaca ensaiada à compressão foi colocado um tubo de aço galvanizado, com diâmetros interno e externo de 42,3 mm e 50,8 mm (Fotos 4.12 A e B), sendo introduzido imediatamente após a concretagem da estaca.



Fotos 4.12 A e B – Detalhe do tubo galvanizado e do prolongamento no bloco de coroamento.

O concreto utilizado nas estacas seguiu as seguintes especificações:  $f_{ck} = 20$  MPa, consumo de 400 kg de cimento por  $m^3$ , areia natural, pedrisco e abatimento entre  $22 \pm 2$  cm.

Na Foto 4.13 apresenta-se uma vista do campo experimental após a execução do bloco de coroamento da estaca teste.



Foto 4.13 – Vista do bloco de coroamento.

#### 4.3.2.1. Localização da estaca teste executada

Na Figura 4.12 apresenta-se o alinhamento e a distância utilizada entre a estaca ensaiada (E.PC) e as estacas de reação (E.R1 e E.R2). Estabeleceu-se a distância entre as estacas mediante a dimensão da viga de reação e as prescrições da NBR-12.131/06. As características da viga serão apresentadas no item 4.3.2.3.1, assim como, as informações sobre as estacas de reação.

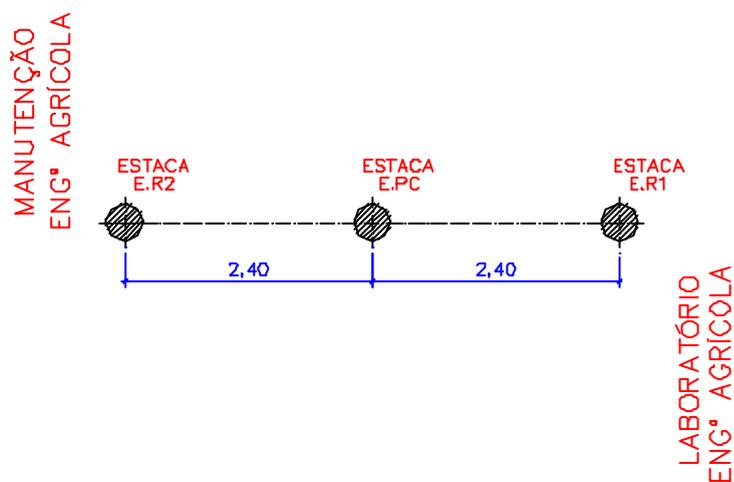


Figura 4.12 – Alinhamento das estacas.



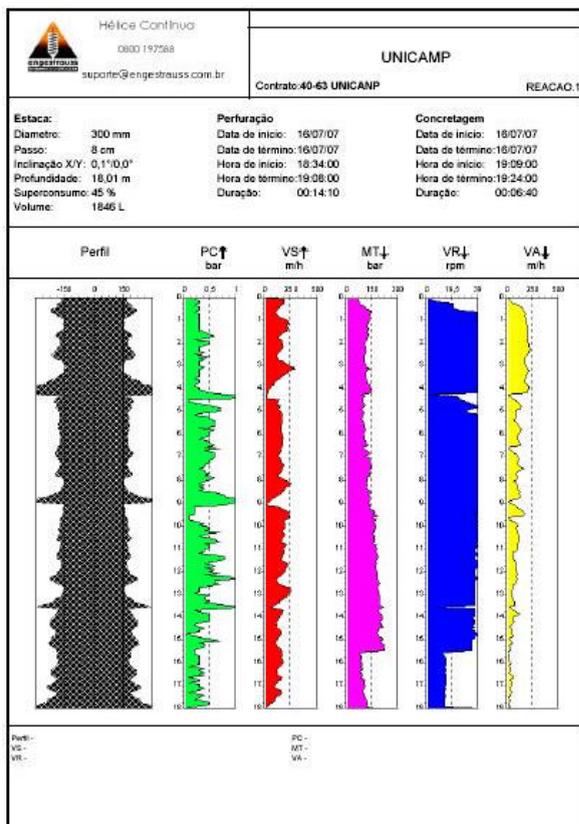


Figura 4.14 – Gráfico executivo da estaca de reação 1.

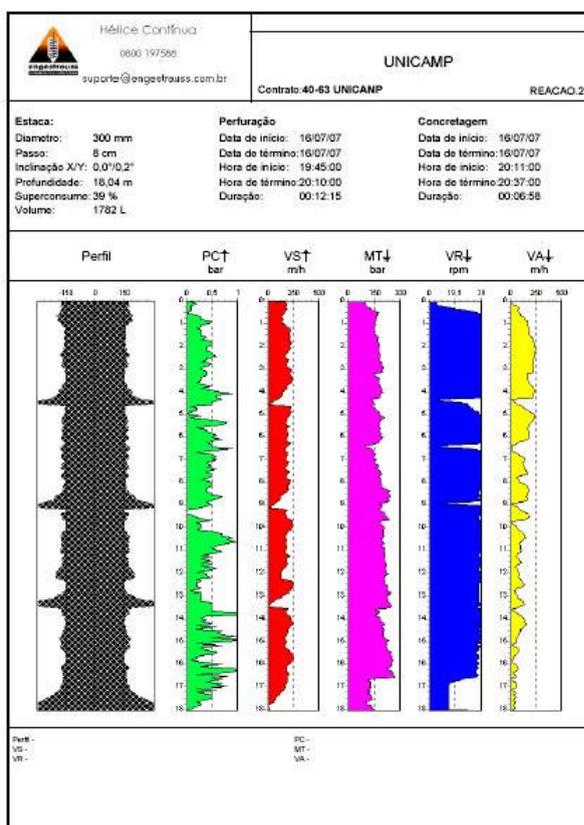


Figura 4.15 – Gráfico executivo da estaca de reação 2.

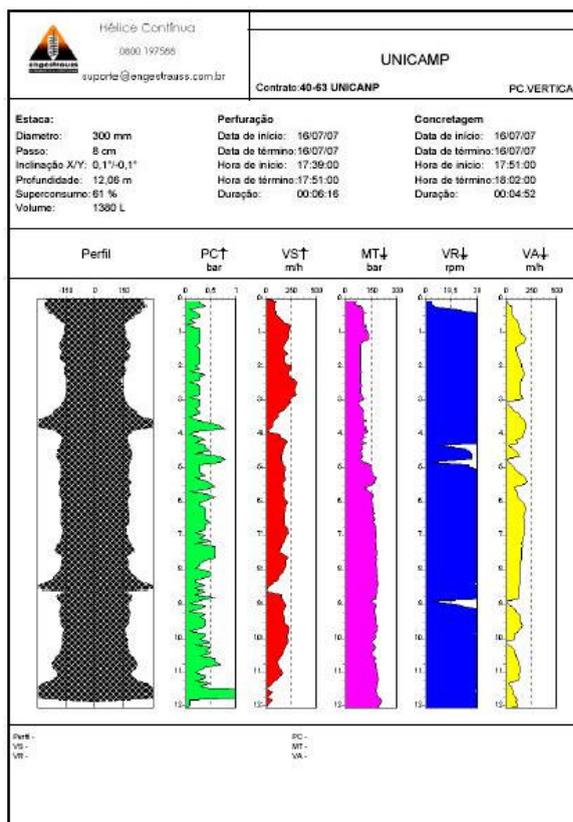


Figura 4.16 – Gráfico executivo da estaca submetida ao carregamento vertical.

Verifica-se nas Figuras 4.14 e 4.15, correspondentes às estacas de reação, que durante a perfuração, quando atingida a profundidade de 16,5 m, houve uma queda no valor do torque (MT), devido à redução da velocidade de rotação da hélice (VR) e da velocidade de avanço (VA). Tal procedimento fêz-se necessário para evitar problemas de travamento da hélice durante a extração da mesma do subsolo. Nota-se também, no provável perfil da estaca (Perfil), três secções graficamente alargadas, que se referem às paralisações e retomadas da concretagem.

Na Figura 4.16 não acontece a redução do valor de torque (MT), pois, para a profundidade de 12,0 m, verificou-se que não haveria problemas para a extração da hélice do subsolo. Mais adiante, no item 4.5.2.2.2, será comentada a secção alargada no provável perfil da concretagem (Perfil), na profundidade de 3,7 m.

O sobreconsumo de concreto para as estacas não puderam ser confirmados com o volume de concreto contido nas betoneiras, pois, devido a problemas operacionais, não foi possível a utilização completa do concreto de cada betoneira. O sensor de concreto da perfuratriz registrou os seguintes sobreconsumos: 45% para a estaca de reação 1 (E.R1),

39% para a estaca de reação 2 (E.R2) e 61% para a estaca submetida ao carregamento (E.PC).

#### 4.3.2.3. Instrumentação da estaca teste

No que segue, serão apresentados os dispositivos de medidas utilizados, que foram preparados e instalados com o apoio do Prof.º Dr. Paulo José Rocha de Albuquerque, da UNICAMP.

##### 4.3.2.3.1. Dispositivo de aplicação de carga

Para a aplicação de carga utiliza-se um macaco hidráulico alimentado por uma bomba manual, equipada com manômetro, que indica a magnitude da carga aplicada (Foto 4.14).



Foto 4.14 – Conjunto bomba-macaco hidráulico.

O sistema de reação para prova de carga à compressão pode ser de dois tipos: tirantes ancorados no terreno, com inclinação de  $15^\circ$ , ou estacas de reação (Figura 4.17), de forma que o conjunto permaneça estável sob as cargas máximas do ensaio.

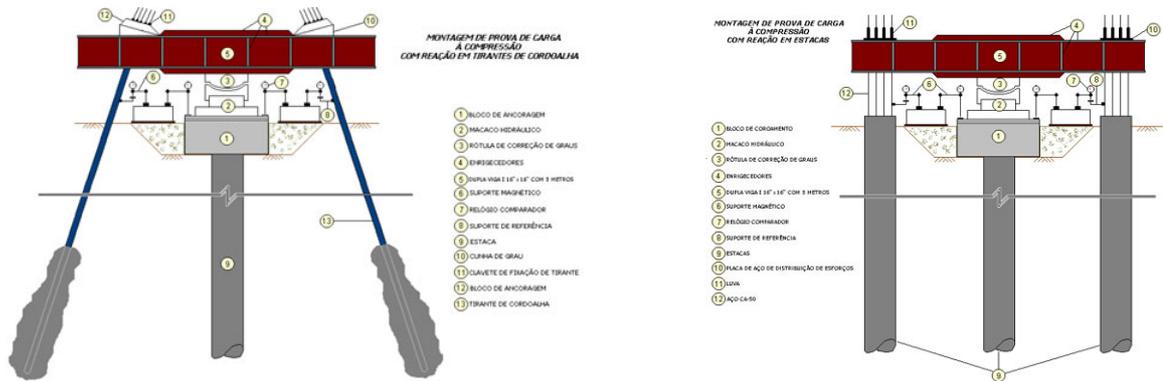


Figura 4.17 – Prova de carga estática à compressão com reação em tirantes ancorados e estacas (FUNDSOLO, 2007).

Neste trabalho, o sistema de reação foi composto de viga de reação, sistema de atirantamento Incotep e estacas de reação (Figura 4.18), o mesmo esquema utilizado por ALBUQUERQUE (2001).

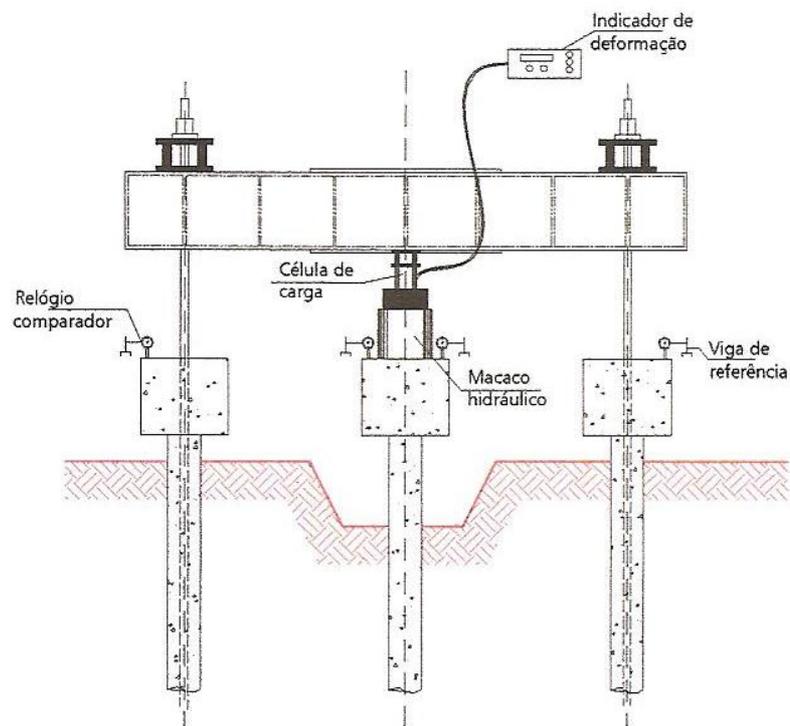


Figura 4.18 – Esquema do sistema de reação (ALBUQUERQUE, 2001).

Dados do sistema de reação:

- a. Para a estaca teste ensaiada existiram duas estacas de reação alinhadas e espaçadas a 2,4 m (8Ø) da estaca teste. Estas estacas eram do tipo hélice segmentada, com 0,30 m

de diâmetro e 18 m de comprimento; foram colocadas armaduras de aço CA-50 com 3 m de comprimento, constituídas por 4 barras de 16,0 mm de diâmetro (longitudinal), e estribos de 6,3 mm de diâmetro a cada 20 cm (transversal).

- b. A viga de reação, perfil duplo “I”, com largura total de 0,80 m, altura de 0,75m, comprimento de 5,30 m e massa total de 31 kN, foi projetada para suportar cargas aplicadas em seu centro, de até 1.500 kN.
- c. O sistema de atirantamento foi composto por barras especiais de aço (Incotep) INCO 35D, com 40,0 mm de diâmetro e capacidade de carga de 684 kN (escoamento) e 821 kN (ruptura), porcas, placas e luvas de aço, todos fabricados com o mesmo material empregado nos tirantes, do tipo Incotep. No interior de cada estaca de reação foi colocada uma barra de 18 m de comprimento, imediatamente após a sua execução (Foto 4.15).



Foto 4.15 – Instalação do tirante imediatamente após a concretagem da estaca.

#### 4.3.2.3.2. Dispositivos de medida

Para registro dos deslocamentos do topo da estaca foram utilizados relógios comparadores (Foto 4.16), com precisão de 0,01 mm, fixados em vigas de referência paralelas ao bloco de coroamento, com suas extremidades fixadas a 3,0 m do eixo da estaca ensaiada e 3,6 m das estacas de reação.



Foto 4.16 – Detalhe do relógio comparador.

As cargas aplicadas nas provas de carga foram mensuradas por um transdutor de força, denominado célula de carga, que é indicado na Foto 4.17.

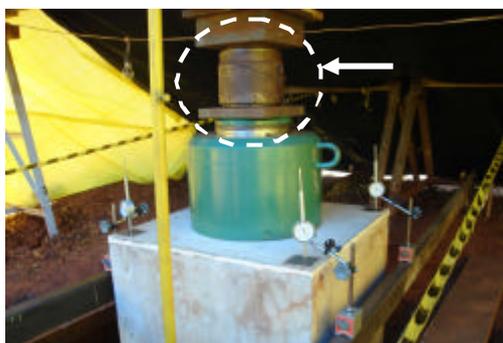
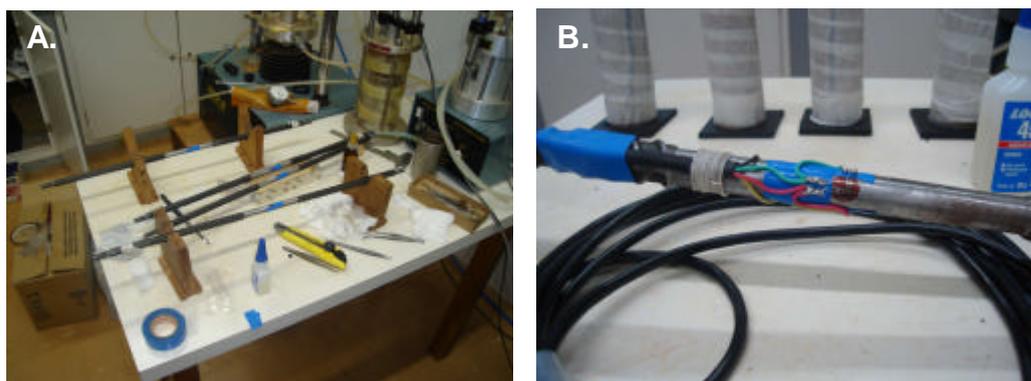


Foto 4.17 – Célula de carga.

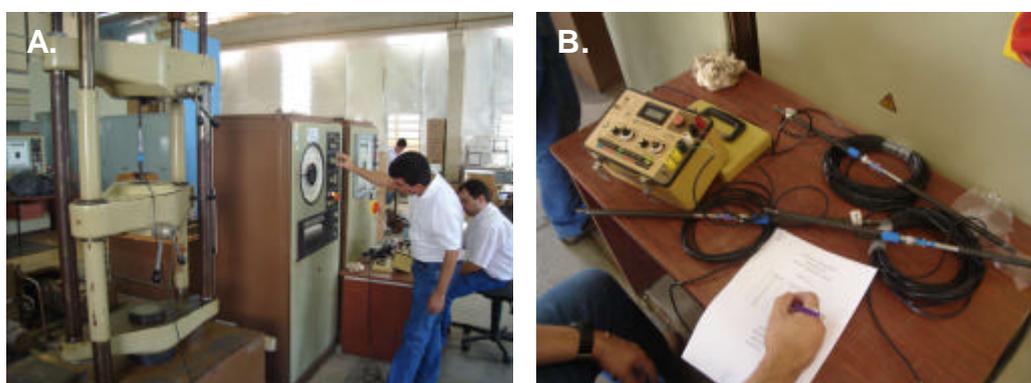
Para obter informações relativas à transferência de carga em profundidade, confeccionaram-se barras de aço tipo CA-50, com 12,5 mm de diâmetro e 0,60 m de comprimento, para a colagem dos extensômetros elétricos “strain-gages” (Fotos 4.18 A e B).

Os strain-gages utilizados, especiais para aço (KFG-2-120-D16-11, Kyowa Electronic Instruments), foram colados em ponte completa com adesivo instantâneo especial (Loctite 493), após limpeza da barra com tetracloreto de carbono (agente desengordurante). Completada a colagem, todas as barras foram levadas ao laboratório para calibração, verificando-se assim o seu perfeito funcionamento (Fotos 4.19 A e B).

Após a calibração das barras, realizou-se a proteção contra umidade e choque mecânico, através da aplicação de resina de silicone, borracha de silicone e resina para isolamento elétrico (Scotchcast – 3M).



Fotos 4.18 A e B – Colagem dos strain-gages.



Fotos 4.19 A e B – Calibração e verificação do funcionamento dos strain-gages.

Para a emenda das barras foram usadas luvas roqueadas, que foram posteriormente unidas e instaladas dentro do tubo galvanizado, em posição pré-definida, até formarem uma barra contínua (Foto 4.20). Detalhes sobre o tubo galvanizado será mostrado adiante.



Foto 4.20. – Instalação da barra instrumentada no tubo galvanizado.

A instrumentação foi instalada a 0,40 m da cota de arrasamento da estaca (seção de referência) e nos níveis 5,0 m, 11,1m e 11,7 m de profundidade ao longo do fuste da estaca.

Para leitura da carga aplicada e das deformações ocorridas utilizou-se um leitor de deformações (Strain Indicator, modelo P3500, Measurements Group, Instruments Division) ligado a uma caixa seletora (Modelo CS23T, Transdutec), (Foto 4.21).



Foto 4.21 – Leitor de deformações e caixa seletora.

#### 4.3.2.4. Execução da prova de carga

A execução de provas de cargas comuns em estacas visa fornecer elementos para avaliar seu comportamento, em termos carga x deslocamento, e estimar suas características de capacidade de carga.

A prova de carga estática pode ser definida como a aplicação de sucessivos estágios de carga à fundação, de forma controlada, conjuntamente com a leitura dos recalques correspondentes. Para aplicar a carga é preciso utilizar um sistema de reação, possibilitando efetuar o carregamento (ALBUQUERQUE, 2001). Neste trabalho, as provas de cargas serão do tipo carga controlada e a primeira prova de carga com carregamento lento e a segunda com carregamento rápido.

Os ensaios de carregamento lento e rápido foram executados seguindo as prescrições da NBR 12131/06 (Estacas - Prova de Carga Estática – Método de Ensaio). Apresenta-se uma descrição sucinta sobre como realizar os ensaios.

## a) Prova de carga lenta

- o carregamento é feito em estágios iguais e sucessivos sendo que a carga aplicada em cada estágio não deve ser superior a 20% da carga de trabalho prevista para a estaca ensaiada. Em cada estágio, a carga deve ser mantida até a estabilização dos deslocamentos e no mínimo por 30 min.
- em cada estágio, os deslocamentos devem ser lidos imediatamente após a aplicação da carga correspondente, seguindo-se leituras decorridos 2 min, 4 min, 8 min, 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, etc., contados a partir do início do estágio, até se atingir a estabilização.
- a estabilização dos deslocamentos estará atendida quando a diferença entre duas leituras consecutivas corresponder a no máximo 5% do deslocamento havido no mesmo estágio (entre o deslocamento da estabilização do estágio anterior e o atual).
- não sendo atingida a ruptura da estaca, a carga máxima do ensaio deve ser mantida durante um tempo mínimo de 12 h entre a estabilização dos recalques e o início do descarregamento.
- o descarregamento deve ser feito em no mínimo quatro estágios. Cada estágio é mantido até a estabilização, estabelecendo os mesmos critérios de carregamento. O tempo mínimo de cada estágio é de 15 min.
- após o descarregamento total, as leituras dos deslocamentos devem continuar até a sua estabilização.

## b) Prova de carga rápida

- o carregamento é feito em estágios iguais e sucessivos sendo que a carga aplicada em cada estágio não deve ser superior a 10% da carga de trabalho prevista para a estaca ensaiada. Em cada estágio, a carga deve ser mantida durante 10 min, independentemente da estabilização dos deslocamentos.
- em cada estágio os deslocamentos devem ser lidos obrigatoriamente no início e no final do estágio.
- atingida a carga máxima do ensaio, devem ser feitas cinco leituras: a 10 min, 30 min, 60 min, 90 min e 120 min, neste estágio. A seguir procede-se ao descarregamento, que deve ser feito em cinco ou mais estágios, cada um mantido por 10 min, com a leitura dos respectivos deslocamentos.

- após os dez minutos do descarregamento total, devem ser feitas mais duas leituras adicionais a 30 min e 60 min.

#### **4.4. Análise dos resultados do PIT – Verificação da integridade**

Apresenta-se neste item, as análises dos resultados dos ensaios de integridade (PIT), realizados nas 10 estacas hélice segmentada na cidade de São Bernardo do Campo – SP, levando-se em conta as características executivas induzidas, apresentadas no item 4.3.3.2. do presente trabalho, e o tipo de solo, que foi apresentado no item 4.2.1.

Comparam-se também, os resultados do ensaio de integridade (PIT) com os gráficos gerados pela monitoração da perfuratriz, no intuito de verificar a compatibilidade e a confiabilidade dos resultados.

Como fecho desta análise, procurou-se estabelecer diretrizes para padrões de boa e má execução para as estacas hélice segmentada.

##### **4.4.1. Agrupamento e análise dos dados**

Apresenta-se na Figura 4.19, gráfico com as curvas velocidade x tempo obtidos nos 10 ensaios de integridade (PIT).

Na Tabela 4.5 apresenta-se o parecer técnico fornecido pela empresa executora do ensaio e, na Tabela 4.6, mostra-se os pontos de paralisação e retomada das concretagens registradas “in-loco”, durante a execução das estacas hélice segmentada. Considerou-se importante o dado destes pontos, pois é na concretagem que as estacas são suscetíveis à ocorrência de estreitamentos ou abaulamentos do fuste.

Nas Figuras 4.20 A e B a 4.29 A e B apresenta-se, para cada estaca, o gráfico de velocidade x tempo dos ensaios de integridade (PIT), junto com o provável perfil da estaca, gerado pela monitoração da perfuratriz. Ainda nestas figuras são adicionadas as informações da profundidade da paralisação e retomada das concretagens (linhas tracejadas em vermelho).

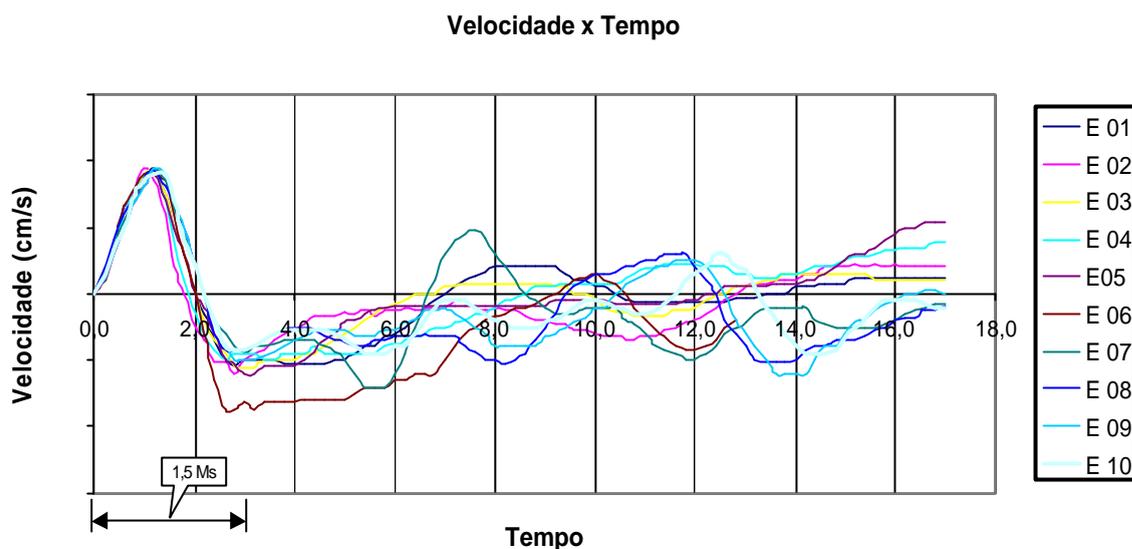


Figura 4.19 – Formato das curvas “velocidade x tempo” dos ensaios de integridade (PIT).

Região	Estaca n.º	Diagnóstico	Parecer
Sondagem SP-04	E 01	Alargamento de seção até 5 m. Amortecimento de sinal de velocidade, provavelmente pela ação do atrito.	Ponta não visível
	E 02	Sinal indica menor atrito que a estaca 1.	Estaca íntegra
	E 03	Sinal indica menor atrito que a estaca 1. Sinal parecido com a estaca 2.	Estaca íntegra
	E 04	Estaca alargada como um todo e com bastante atrito.	Estaca íntegra
	E 05	Estaca alargada e com atrito, porém em menor intensidade que a estaca 4.	Estaca íntegra
	E 06	Estaca alargada e com atrito.	Estaca íntegra
Sondagem SP-01	E 07	Alargamento de seção até 6 m de profundidade seguido de estreitamento significativo neste ponto. Retornando a seção nominal ou menor que a nominal.	Estaca com estreitamento
	E 08	Alargamento de seção seguido de estreitamento de seção a 8 m de profundidade.	Estaca com estreitamento
	E 09	Alargamento de seção seguido de estreitamento de seção a 8 m de profundidade. Sinais mais bem definidos.	Estaca com estreitamento
	E 10	Alargamento até 6 m seguido de estreitamento (seção nominal). Novo estreitamento a 11,20 m (provavelmente menor que a seção nominal). Ponta visível.	Estaca íntegra

Tabela 4.5 – Parecer técnico fornecido pela empresa executora do ensaio de integridade (PIT).

Estaca n.º	1ª Paralisação e retomada de concretagem	2ª Paralisação e retomada de concretagem	3ª Paralisação e retomada de concretagem
E 01	8,87 m	4,41 m	-
E 02	8,84 m	4,71 m	-
E 03	9,41 m	4,77 m	-
E 04	8,99 m	4,60 m	-
E 05	13,56 m	8,90 m	4,35 m
E 06	4,29 m	-	-
E 07	13,34 m	8,68 m	4,15 m
E 08	13,23 m	8,66 m	4,12 m
E 09	13,35 m	8,90 m	4,34 m
E 10	13,39 m	8,73 m	4,10 m

Tabela 4.6 – Profundidade da paralisação e retomada das concretagens.

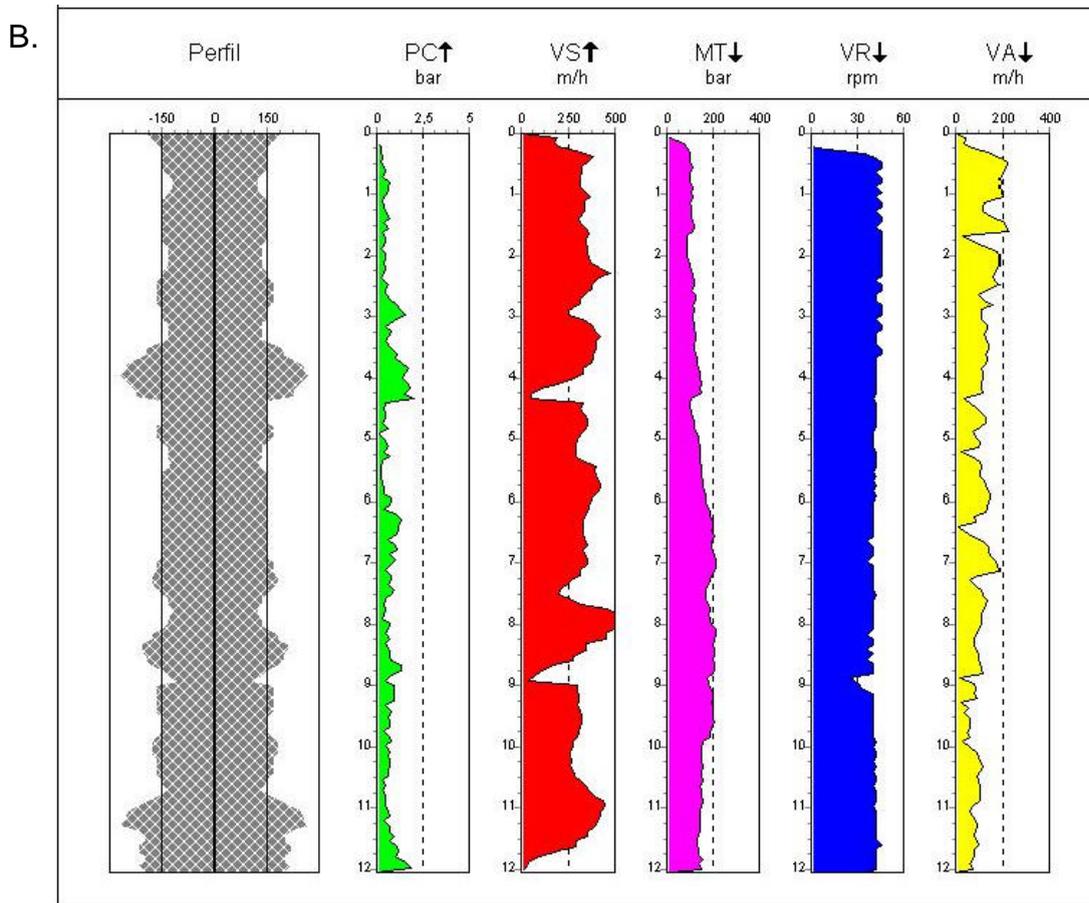
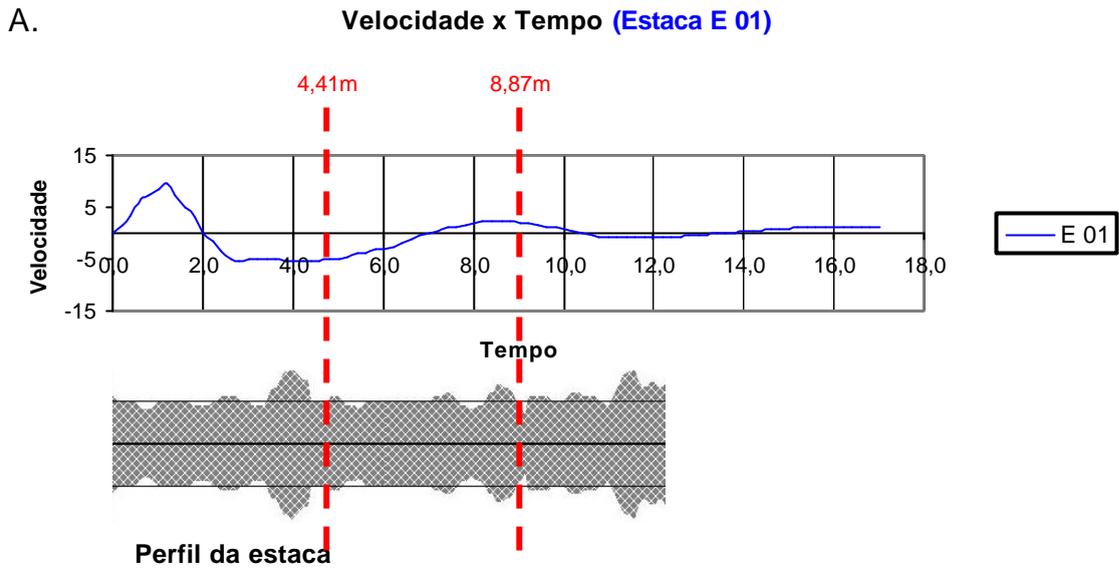


Figura 4.20 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 01.

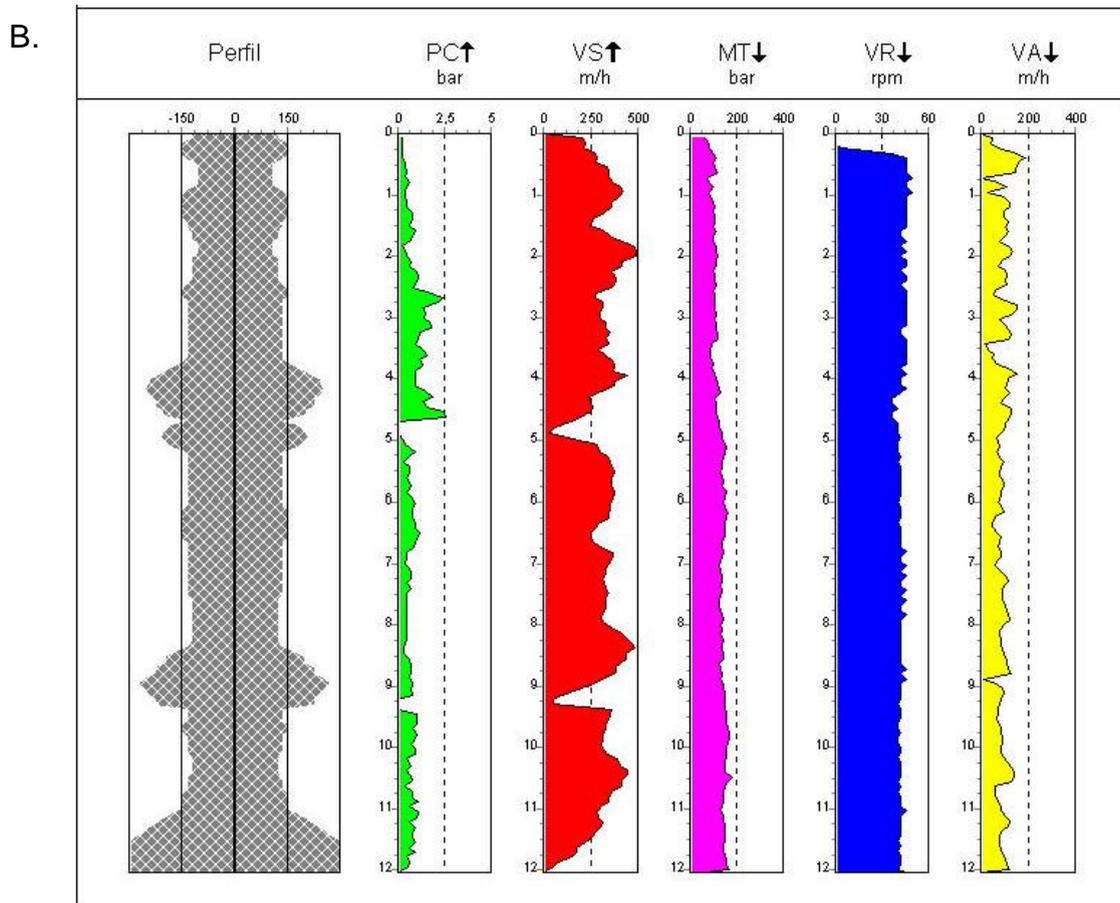
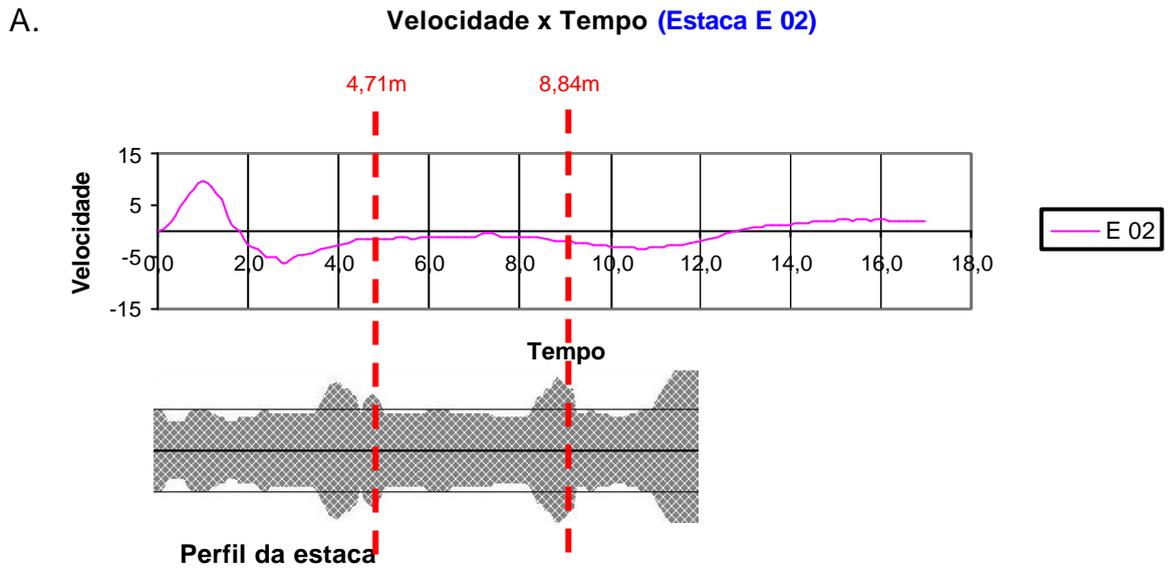


Figura 4.21 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 02.

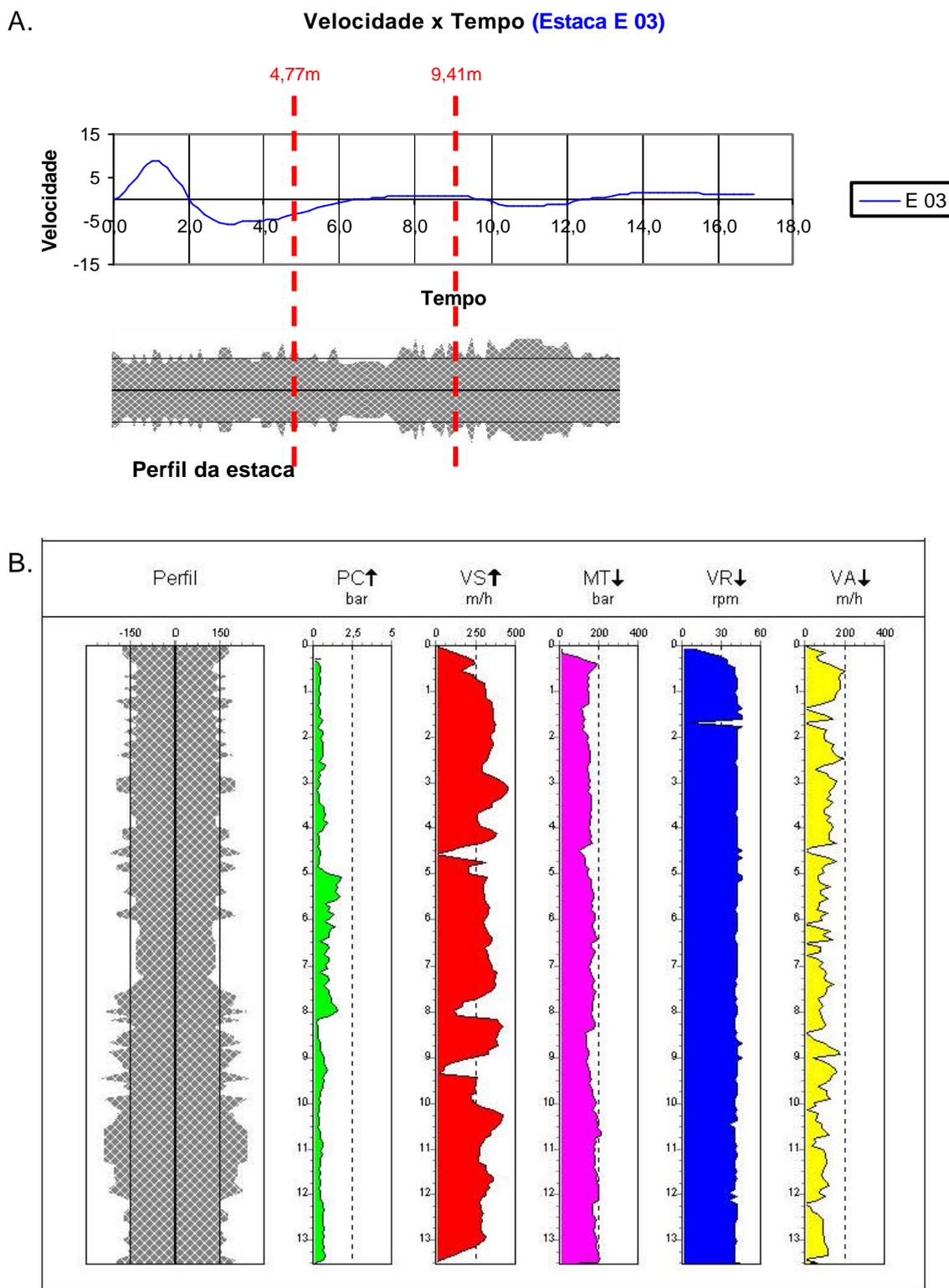


Figura 4.22 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 03.

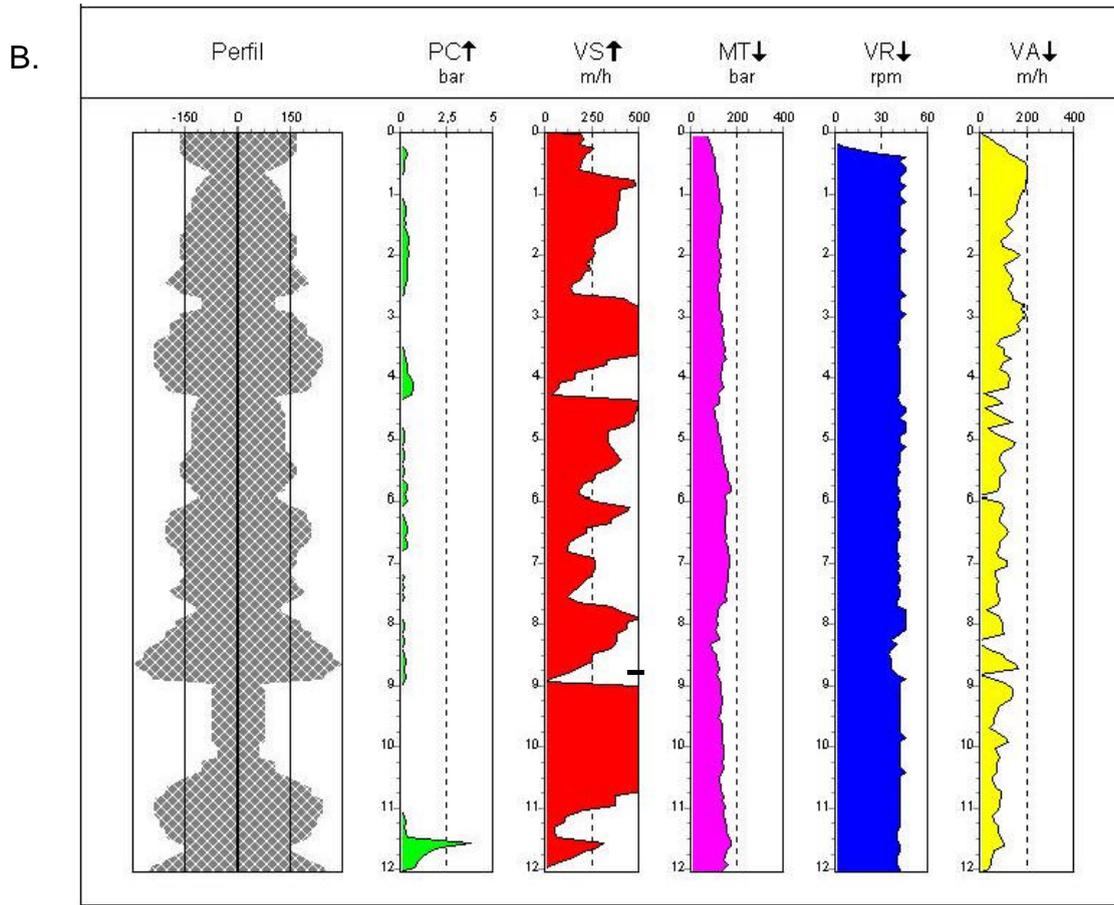
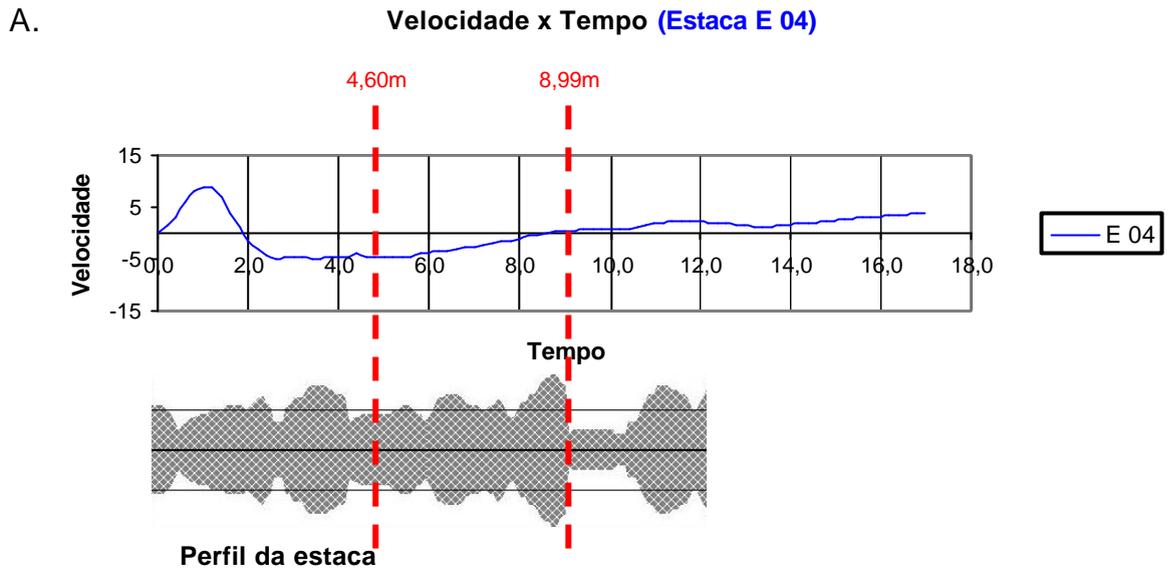
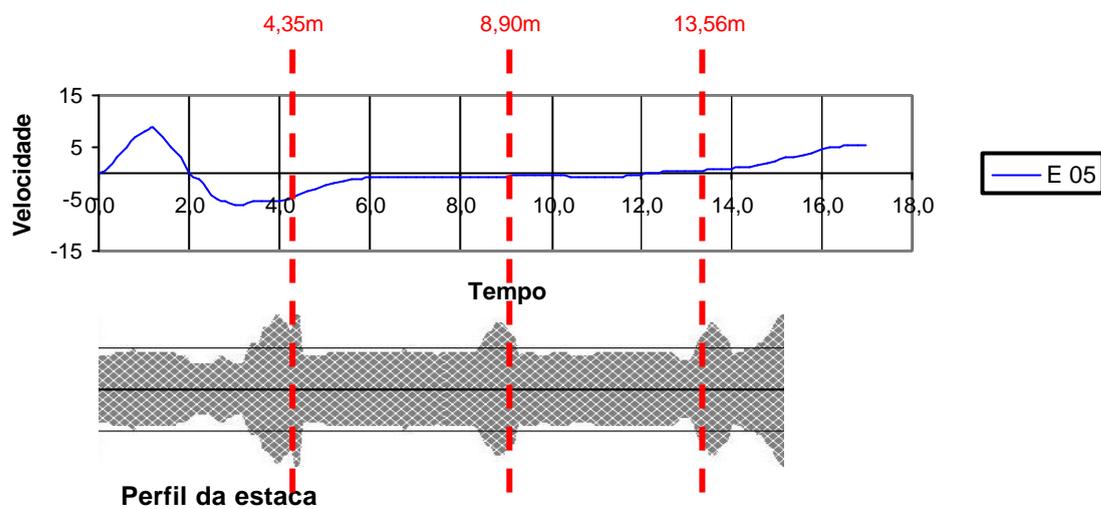


Figura 4.23 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 04.

A.

## Velocidade x Tempo (Estaca E 05)



B.

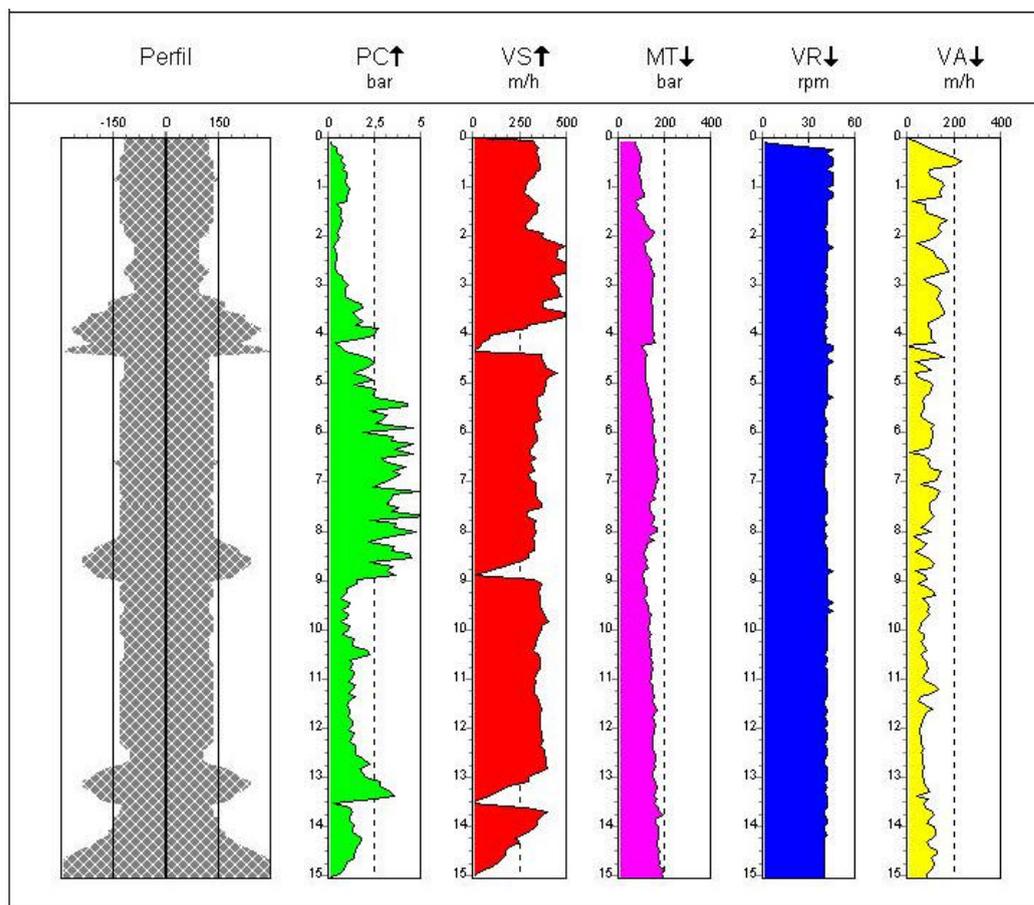
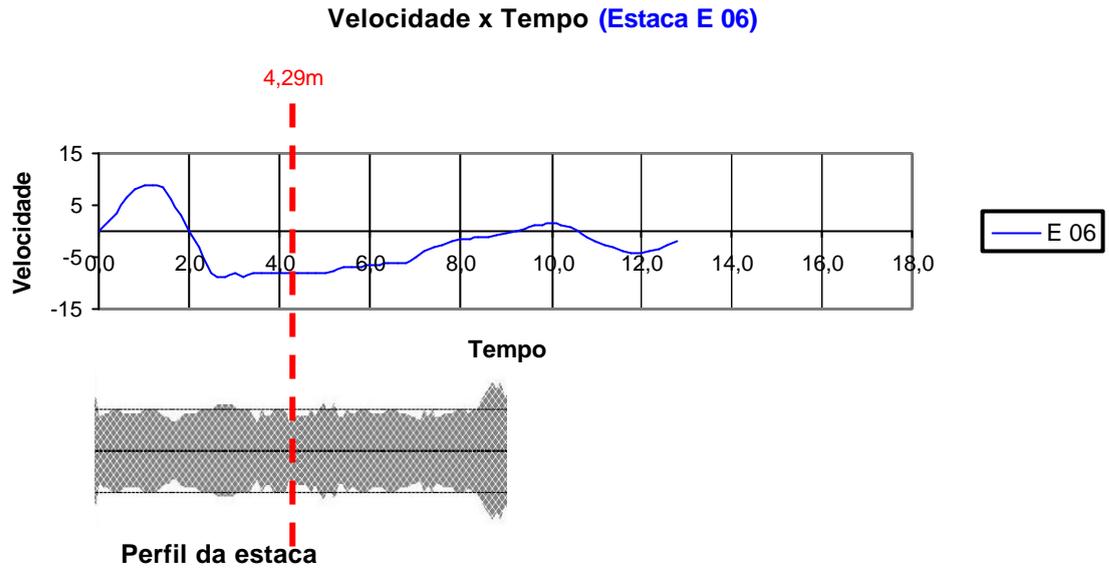


Figura 4.24 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 05.

A.



B.

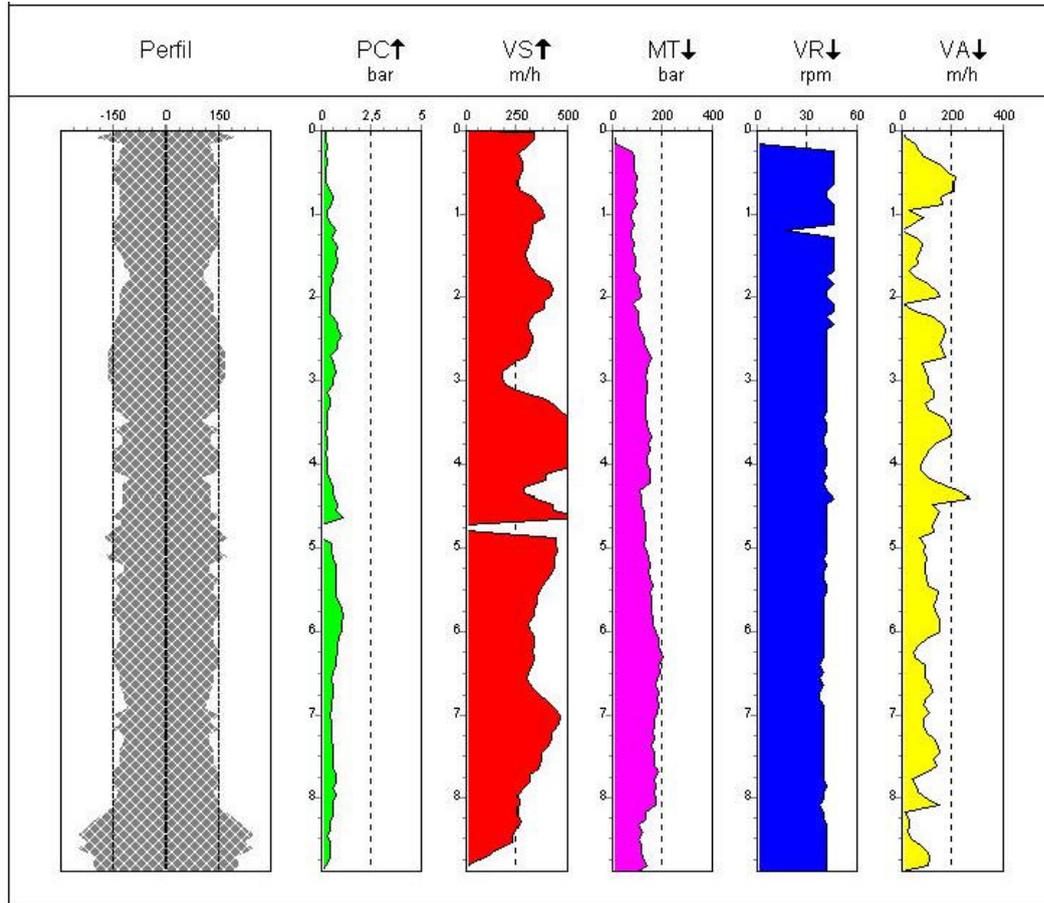


Figura 4.25 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 06.

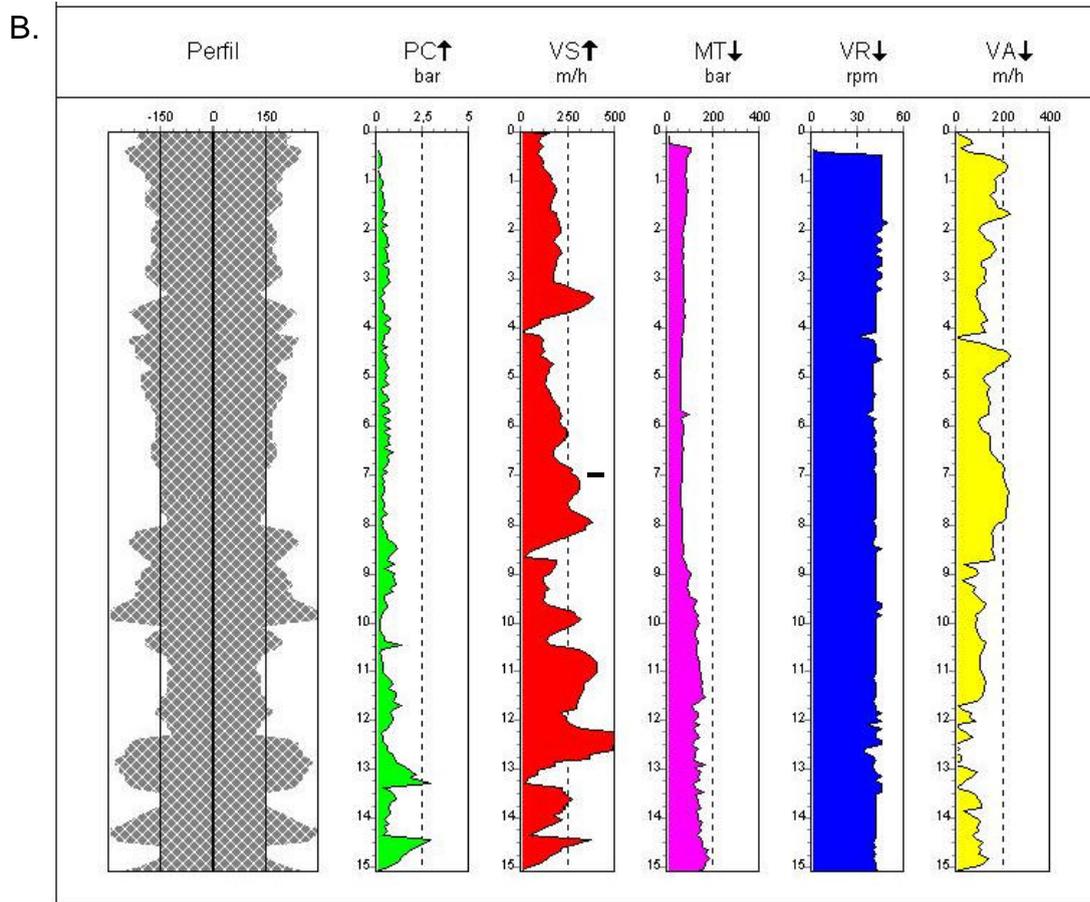
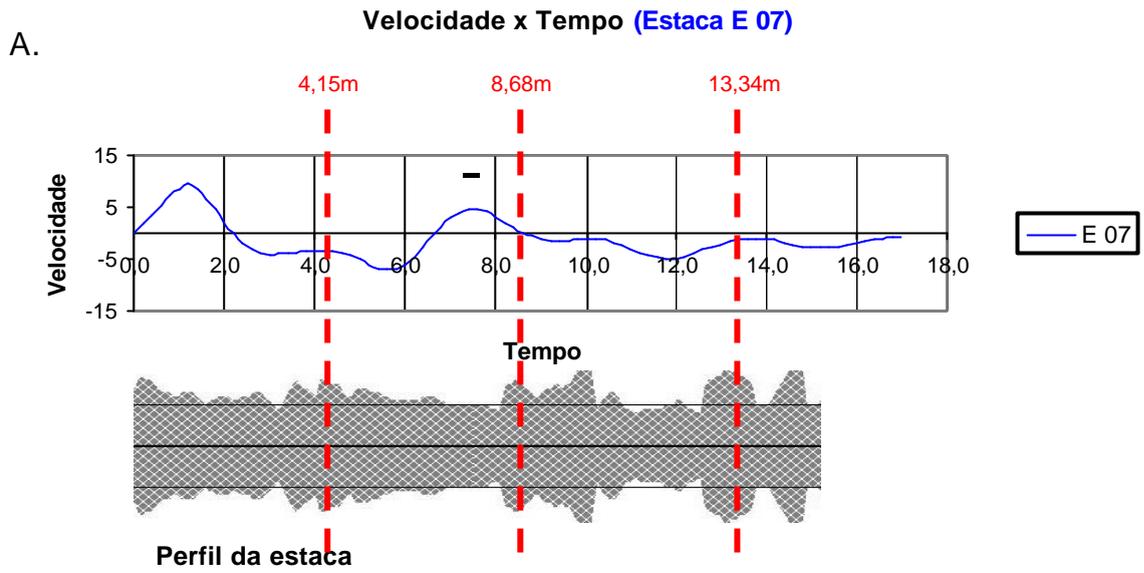


Figura 4.26 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 07.

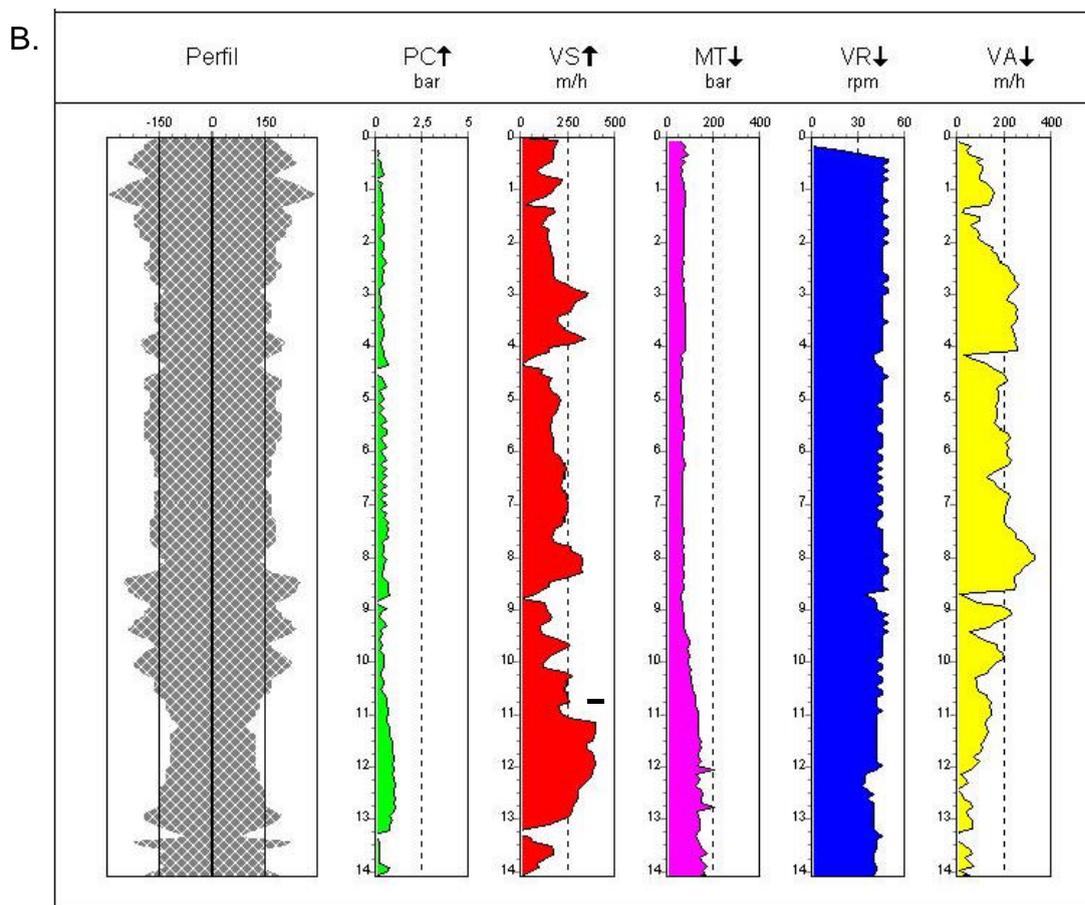
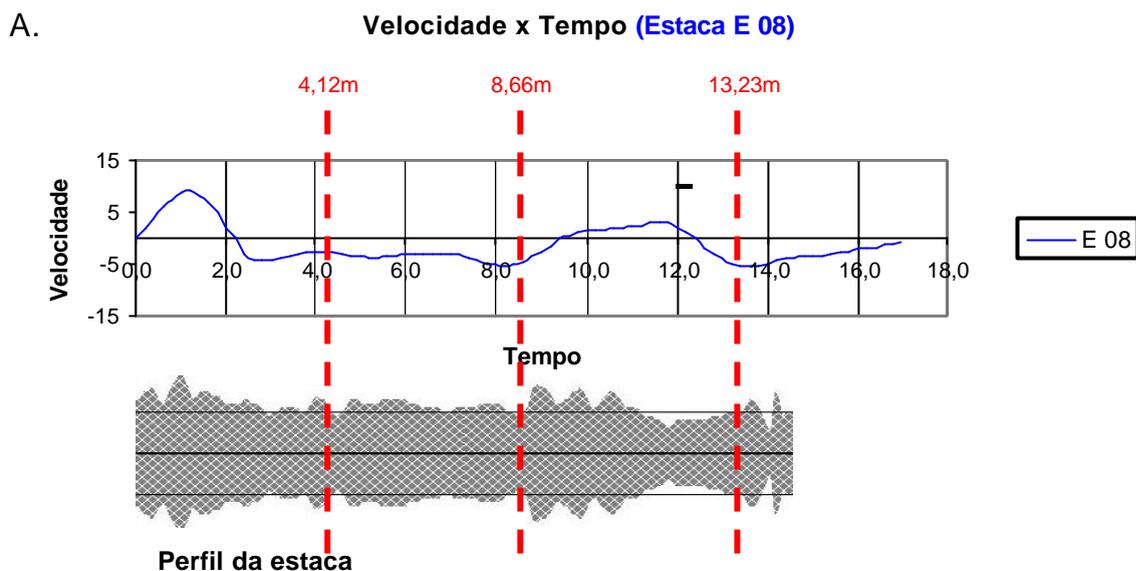


Figura 4.27 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 08.

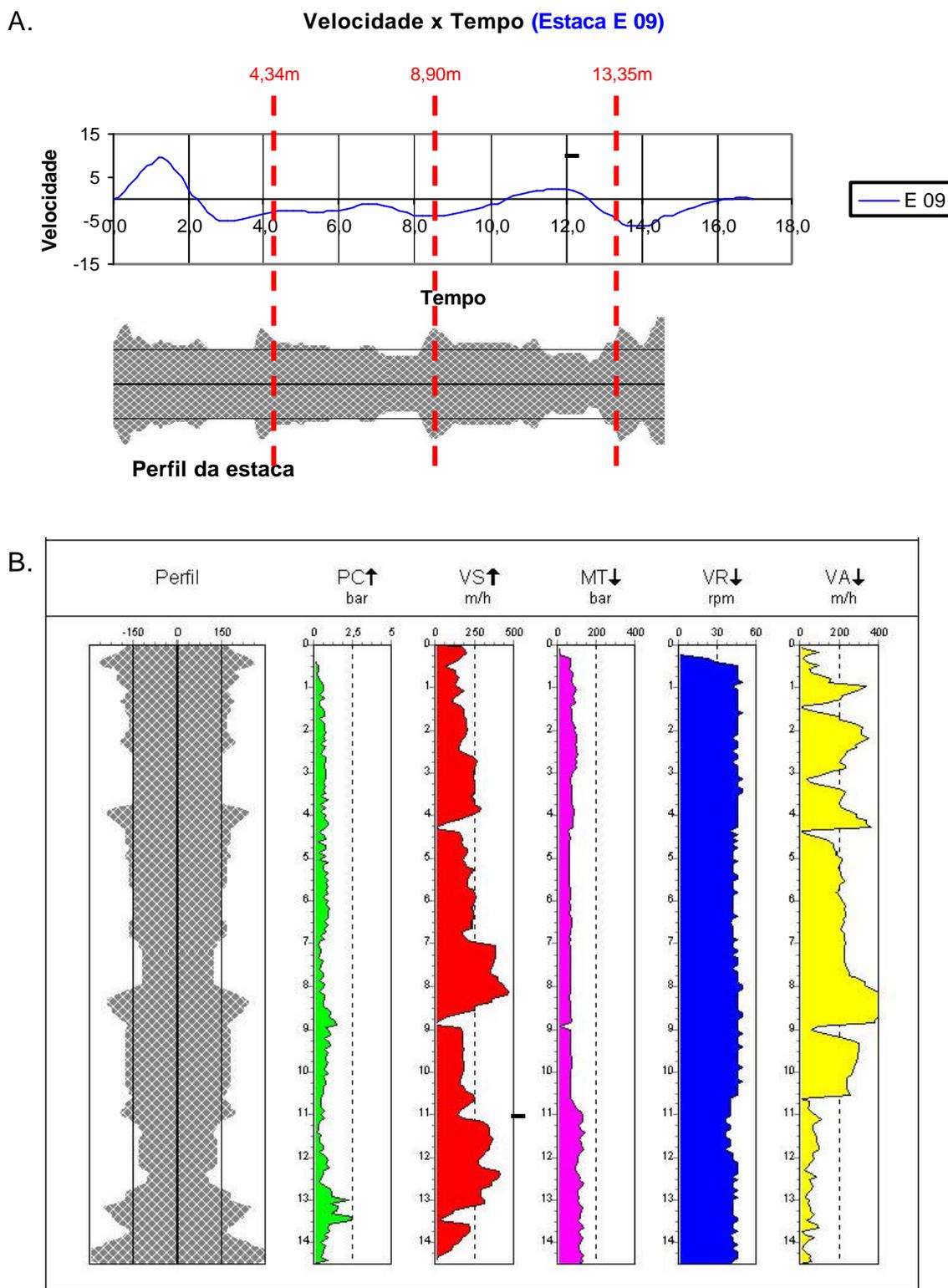


Figura 4.28 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 09.

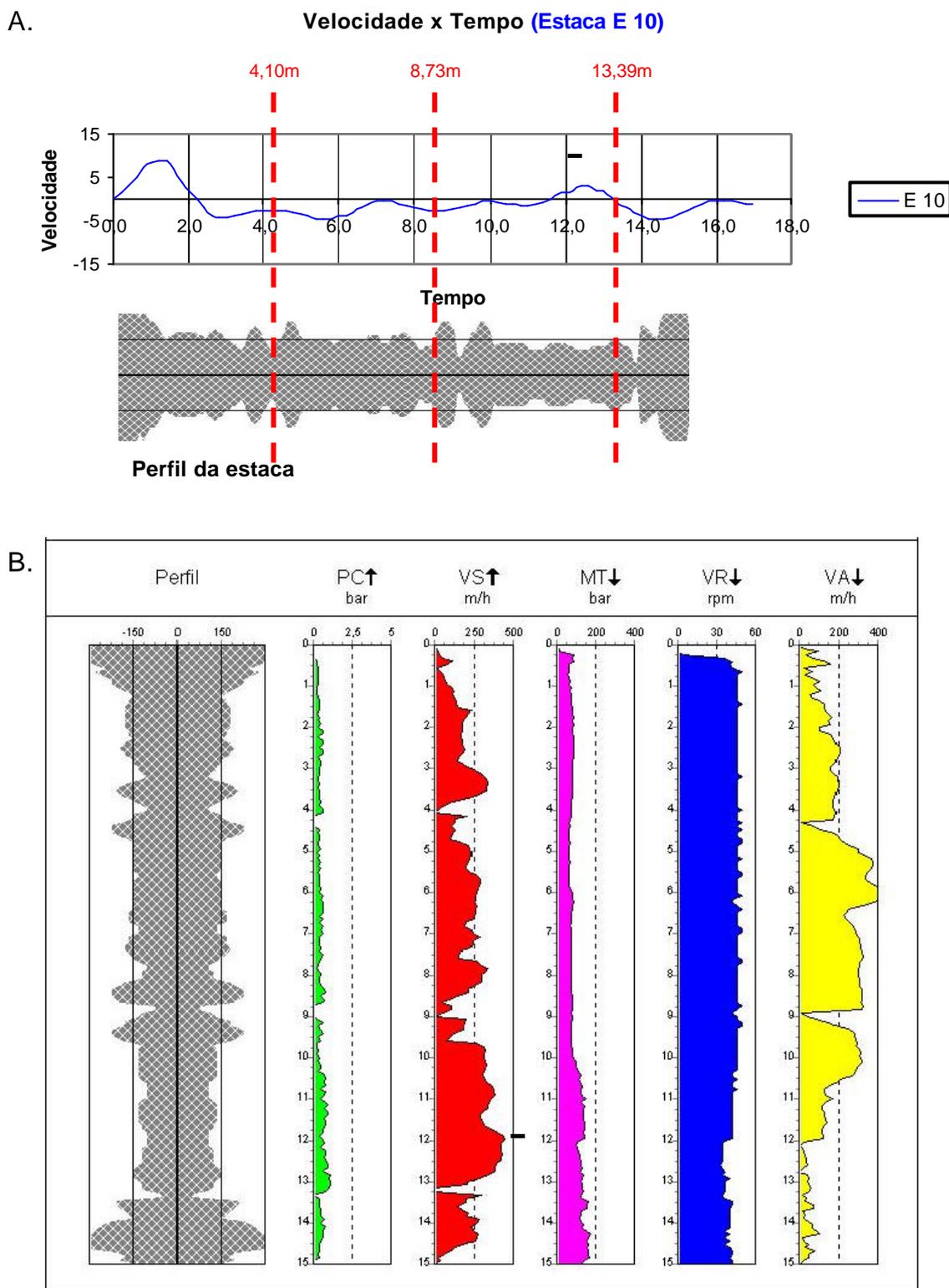


Figura 4.29 A e B – Formato da curva “velocidade x tempo” e perfil da estaca E 10.

Dentre os 10 perfis gerados pela monitoração da perfuratriz, verifica-se que, entre 24 paralisações e retomadas de concretagem, 17 apresentam abaulamento no fuste da estaca pelo gráfico de monitoração. Isso ocorre porque o sistema de injeção do concreto é despressurizado quando o segmento de hélice é removido e, retomando-se o bombeamento do concreto faz-se necessário aguardar a pressurização sem que haja o levantamento da hélice. Como o fluxo de concreto é registrado primeiramente pelo sensor antes de chegar ao fuste da estaca, a interpretação do sistema é que o concreto já está ocupando o fuste da estaca, quando na verdade, ainda está se conduzindo até ele.

No que diz respeito ao método executivo “com” ou “sem” o levantamento do trado, não se verificou a ocorrência de estreitamentos ou falhas no fuste com os ensaios de integridade (PIT), o que não era esperado para as estacas E08 e E10 executadas na região do furo de sondagem SP-01, onde ocorria uma camada de 10 m de argila orgânica.

Reportando-se à Tabela 4.5, e analisando-se as Figuras 4.20 A e B à 4.29 A e B, verifica-se que para as estacas E07 a E10, executadas nesta região, os estreitamentos identificados pelo ensaio de integridade (PIT) iniciam-se quando a direção da curva de velocidade se volta para cima. É possível identificar no gráfico de monitoração de execução da estaca estreitamentos que são compatíveis com as curvas de velocidade do ensaio de integridade (PIT), (linhas tracejadas em preto).

Para as estacas E01 a E06, executadas na região do furo de sondagem SP-04, verifica-se que os resultados dos ensaios não apresentaram problemas quanto à integridade das estacas. As características adicionais de desconfinamento do fuste durante a perfuração, alta pressão de injeção do concreto e baixa pressão de injeção, não refletiram alterações no diagnóstico do ensaio de integridade (PIT).

Verifica-se no gráfico de monitoração da estaca E04, na profundidade entre 9 e 10 metros, a ocorrência do estreitamento do fuste da estaca devido à subida do trado de forma abrupta. Reportando-se ao diagnóstico dos ensaios de integridade (PIT) verifica-se que tal ocorrência não é registrada. Estes casos, quando ocorrem em obras, causam sérios problemas, o que confirma a recomendação de que a avaliação dos ensaios de integridade (PIT) e dos gráficos da monitoração da perfuratriz sejam realizados por engenheiros especializados no assunto.

A seguir são feitas algumas observações e recomendações quanto à qualidade deste tipo de estaca, com base na presente pesquisa e na experiência no acompanhamento de obras:

- as estacas devem sempre ser realizadas “sem” o levantamento do trado, independentemente da característica do terreno, apesar da presente pesquisa não ter comprovado problemas nas estacas analisadas;
- o processo executivo das estacas hélices segmentadas conduz a um maior sobreconsumo de concreto se comparado com as hélices contínuas convencionais. Pelo acompanhamento de obras, observou-se que em locais onde se executaram estacas hélice contínua e hélice segmentada de mesmo diâmetro, o aumento do sobreconsumo de concreto foi da ordem de 15%;
- o rendimento e a potência da bomba de concreto utilizada refletem na qualidade da estaca e no sobreconsumo de concreto. Para estacas tipo hélice segmentada deve-se utilizar bombas com o rendimento da ordem de 20 m<sup>3</sup> por hora; bombas com rendimentos superiores apresentam sobreconsumo de concreto muito alto, principalmente para as estacas de pequenos diâmetros;
- a velocidade de rotação da hélice das perfuratrizes hélice segmentada podem atingir velocidades da ordem de 2 a 3 vezes superiores aos equipamentos de estacas hélice convencionais, quando em execução. Deve-se atentar ao fato da velocidade de avanço imposta à hélice durante a perfuração, poder causar o aumento do sobreconsumo de concreto e cresce o risco de imperfeições no fuste da estaca, principalmente para solos não coesivos; e
- verifica-se que o abatimento do concreto e suas características são fundamentais para o sucesso do processo. Os mangotes e o tubo central da hélice, que conduzem o concreto para o fuste da estaca, apresentam diâmetros internos inferiores aos das estacas hélice contínua convencionais, sendo, portanto, mais suscetível à ocorrência de entupimentos.

De modo geral, verifica-se que os ensaios de integridade (PIT) realizados em São Bernardo do Campo, apresentaram coerência com os gráficos gerados pela monitoração da perfuratriz. Estreitamentos e alargamentos puderam ser identificados nos gráficos, demonstrando a eficácia do ensaio para as características dos solos em estudo.

O ensaio de integridade (PIT) foi usado em estacas com comprimentos da ordem de 30 a 50 vezes o diâmetro. Ele mostrou-se eficiente para estes comprimentos.

#### **4.5. Análise dos resultados da prova de carga instrumentada – Estudo do comportamento**

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos das provas de carga lenta e rápida realizadas em estaca tipo hélice segmentada no CE Unicamp nos dias 17/07/08 e 22/07/08. Os ensaios foram realizados com o subsolo nas condições naturais de umidade e em condições climáticas similares aos ensaios realizados por ALBUQUERQUE (2001). Com base nos ensaios obtiveram-se:

- a) as cargas e os deslocamentos do topo;
- b) o módulo de elasticidade do concreto da estaca;
- c) as cargas nos vários níveis instrumentados, ao longo do fuste;
- d) os diagramas de transferência de carga; e
- e) as variações do atrito lateral unitário e da resistência de ponta com o deslocamento do topo.

Mostra-se na Tabela 4.7 a característica geométrica da estaca ensaiada. Observa-se que o diâmetro do topo da estaca apresentou aumento de 15% do diâmetro nominal. Este valor, adotado nos cálculos subseqüentes, é compatível com o sobreconsumo de concreto, registrado pela monitoração da perfuratriz (ver Figura 4.16). Mais adiante, este valor será confirmado, ao se comparar com resultados de provas de carga em estacas hélice contínua, executadas por ALBUQUERQUE (2001).

##### **4.5.1. Resultados obtidos com a instrumentação no topo da estaca**

A Figura 4.30 apresenta as curvas carga x deslocamento no topo obtidas nas provas de carga lenta e rápida. Nota-se o esgotamento da resistência do sistema estaca-solo, chegando-se a recalques da ordem de 14,1% do diâmetro nominal da estaca para o carregamento lento e 11,4% para o carregamento rápido, num deslocamento total de 76,4 mm. Verifica-se também que a estaca atingiu a ruptura com deslocamentos da ordem de 2,44 mm para o carregamento lento e 2,07 mm para o carregamento rápido, o que representa uma média de 0,75% do diâmetro nominal da estaca.

<i>Estaca</i>	<i>Diâmetro nominal da estaca (m)</i>	<i>Diâmetro adotado (m)</i>	<i>Comprimento (m)</i>
Hélice segmentada	0,300	0,345	12,00

Tabela 4.7 – Característica geométrica da estaca.

A Tabela 4.8 resume estas informações e mostra que houve uma queda de cerca de 13% na capacidade de carga do ensaio rápido em relação ao lento.

<i>Carregamento</i>	<i>Carga máxima ou de ruptura (kN)</i>	<i>Deslocamento máximo (mm)</i>
Lento	796	42,2
Rápido	695	34,2

Tabela 4.8 – Valores de carga e deslocamento máximos obtidos nas provas de carga.

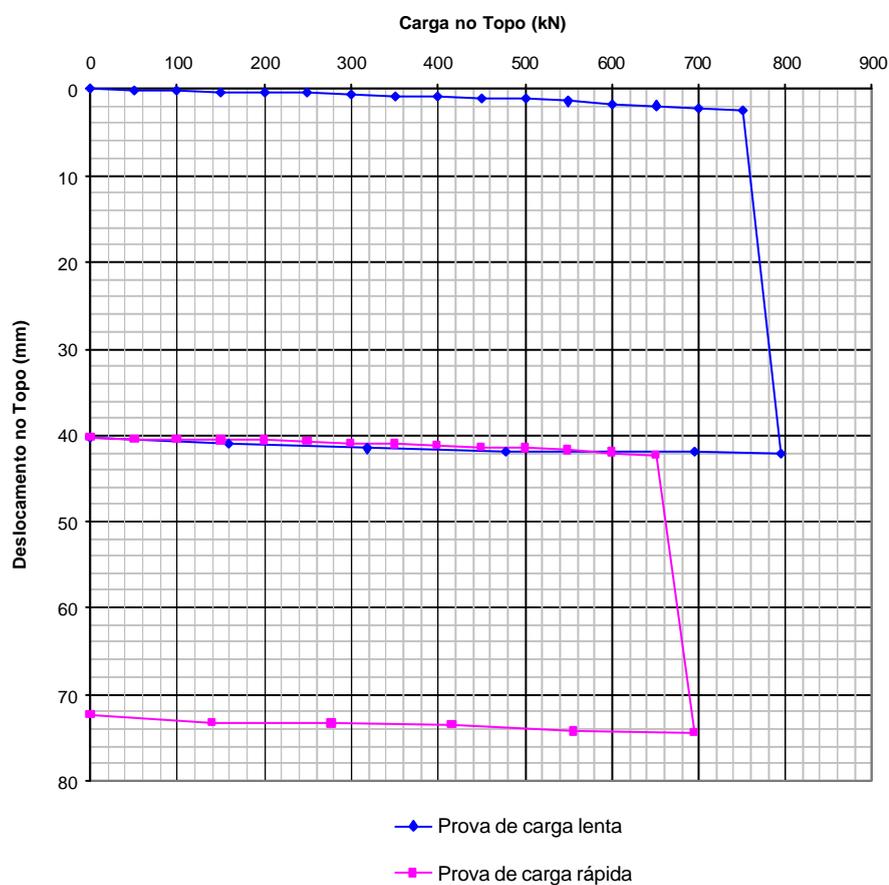


Figura 4.30 – Curvas carga x deslocamento no topo.

#### 4.5.2. Resultados obtidos com a instrumentação em profundidade

A estaca foi instrumentada ao longo do fuste nas seguintes profundidades: 0,40 m (secção de referência), 5,0 m, 11,1 m e 11,7 m.

Para manipular os dados desta instrumentação é necessário, em primeiro lugar, estimar o módulo de elasticidade do concreto e, se possível, avaliar eventuais alterações no diâmetro da estaca ao longo do fuste.

##### 4.5.2.1. Propriedades dos materiais da estaca

Para obtenção do módulo de elasticidade (E) da estaca fez-se uso de um trecho abaixo do bloco de coroamento, onde foi posicionado um instrumento de medida (Fotos 4.22 A e B). Neste trecho escavou-se o solo em sua volta para que não houvesse sua influência nas leituras dos instrumentos (Foto 4.23). Este trecho é a secção de referência, citada acima.

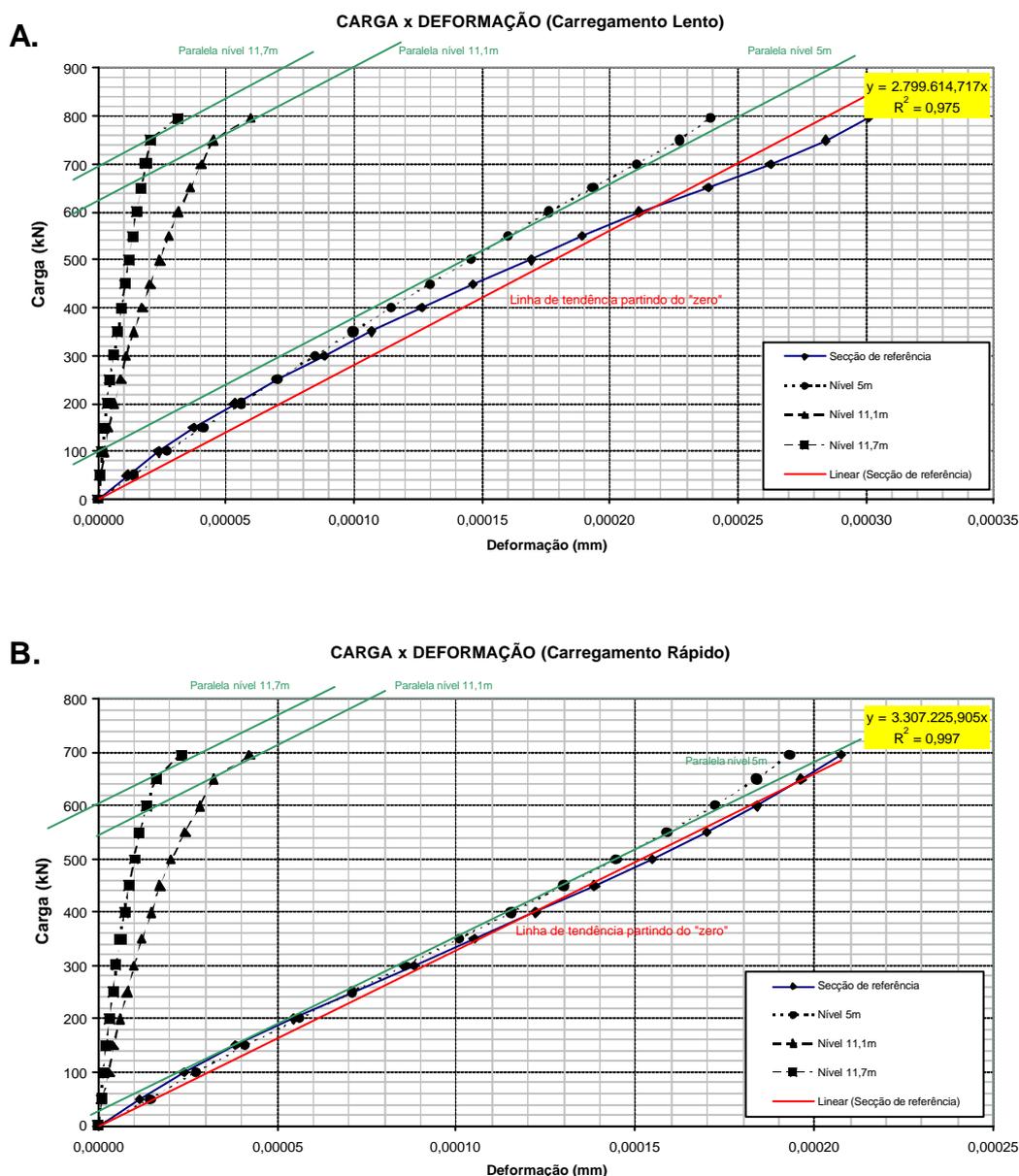


Fotos 4.22 A e B – Instalação da instrumentação em profundidade.



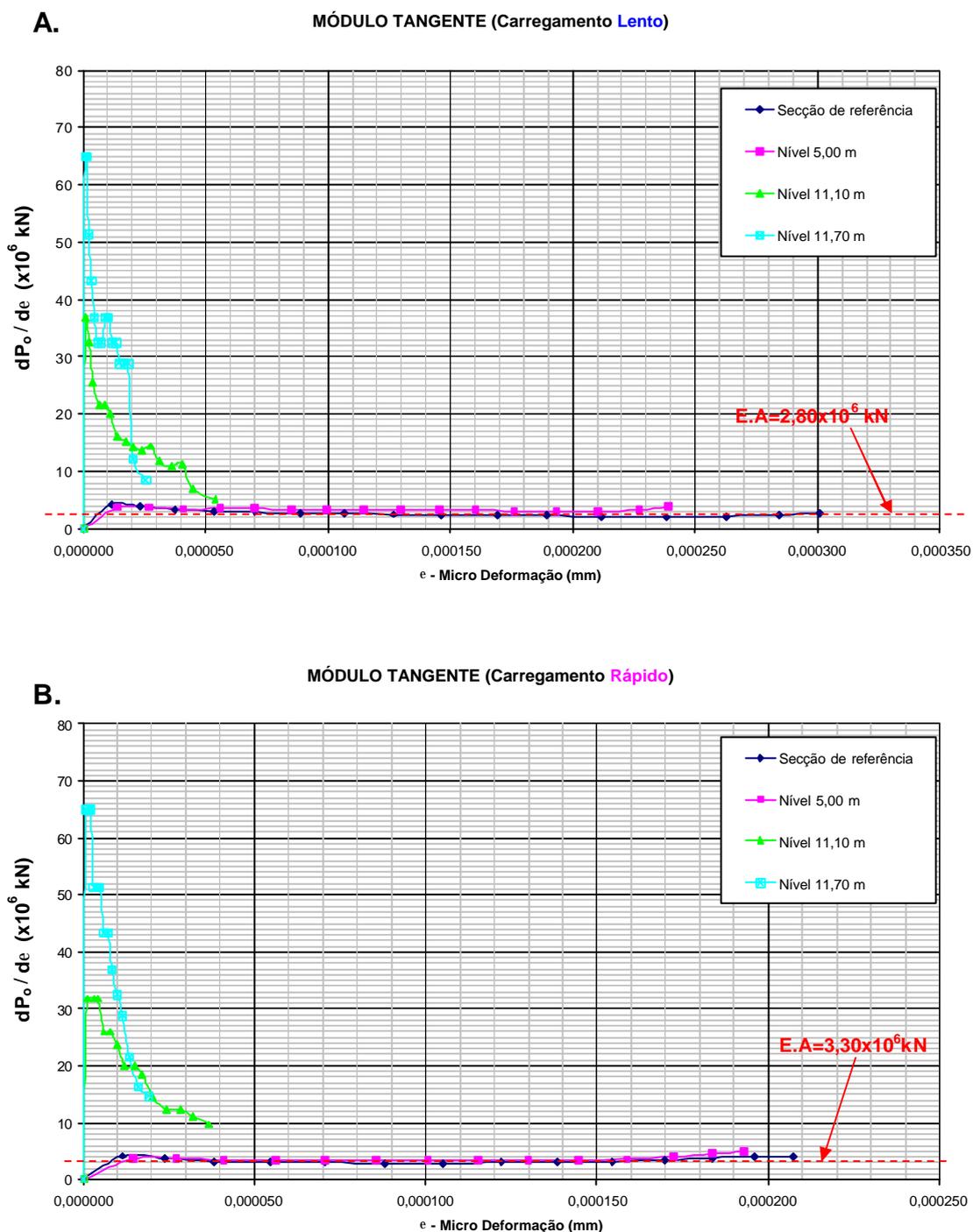
Foto 4.23 – Escavação ao redor do bloco de coroamento.

Para confirmar o módulo de elasticidade, assim determinado, utilizou-se o Método do Módulo Tangente proposto por FELLENIUS (1989). Para tanto foi preparado o gráfico carga x deformação (Figuras 4.31 A e B) e traçada uma linha de tendência partindo da origem “zero” na curva correspondente à secção de referência. Nota-se que, é possível ajustar retas paralelas a esta linha, passando pelos trechos de ruptura das demais curvas carga x deformação dos níveis 5, 11,1 e 11,7 m. A inclinação destas retas é o produto E.A, isto é, módulo de elasticidade multiplicado pela área da seção transversal da estaca.



Figuras 4.31 A e B– Curvas carga x deformação nos níveis instrumentados.

As Figuras 4.32 A e B mostram a validade dos cálculos feitos acima. Note-se que para o nível 11,7 os últimos pontos não coincidem com as retas tracejadas, face à aproximação feita nas Figuras 4.31 A e B, quanto ao referido paralelismo.



Figuras 4.32 A e B – Gráfico do Módulo Tangente.

Na Tabela 4.9 apresentam-se os valores obtidos do módulo de elasticidade para cada carregamento. A diferença entre valores das duas provas de carga pode ser atribuída à recarga do concreto. Como em outros materiais, o módulo  $E$  varia com a repetição da carga.

<i>Prova de carga lenta</i>		<i>Prova de carga rápida</i>	
E (GPa)	R <sup>2</sup>	E (GPa)	R <sup>2</sup>
29,9	0,975	35,3	0,997

Tabela 4.9 – Módulo de elasticidade da estaca.

#### 4.5.2.2. Manipulação dos dados da instrumentação em profundidade

Com base nestes valores de  $E$  foi possível obter:

- a transferência de carga ao longo da profundidade;
- o atrito lateral em cada nível instrumentado;
- a reação de ponta em função do deslocamento do topo e;
- o atrito lateral médio ao longo do fuste em função do deslocamento no topo.

As cargas nos vários níveis instrumentados foram determinadas através da expressão:

$$P = E \cdot A \cdot e \quad (3)$$

No qual:  $P$  é a carga,  $E$  o módulo de elasticidade da estaca,  $A$  a área da secção transversal da estaca e  $e$  a deformação da estaca.

Já os valores do atrito lateral entre dois níveis consecutivos de instrumentação foi calculado através da fórmula:

$$f = -\frac{\partial P}{\partial z} \cdot \frac{1}{p \cdot D} \quad (4)$$

Em que:  $z$  é a profundidade e  $D$  o diâmetro adotado da estaca.

Na Figura 4.33 apresenta-se o gráfico de transferência de carga: carregamento lento e carregamento rápido. São mostrados nas Tabelas 4.10 A e B, os valores de carga em cada nível instrumentado e as porcentagens de carga na ponta. As cargas na ponta foram obtidas por extrapolação dos valores de carga dos dois níveis mais profundos (11,10 e 11,70 m).

A - Prova de carga lenta

Carga no topo (kN)	Carga no nível (kN)				Ponta (%)
	5,0 m	11,1 m	11,7 m	Ponta*	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
50	39,84	3,23	2,15	1,62	3,23%
100	75,37	7,54	4,31	2,69	2,69%
150	115,21	11,84	6,46	3,77	2,51%
200	157,21	18,31	9,69	5,38	2,69%
250	195,97	24,77	12,92	7,00	2,80%
300	237,97	31,23	17,23	10,23	3,41%
350	278,88	38,76	21,54	12,92	3,69%
400	320,88	48,45	25,84	14,54	3,63%
450	362,87	57,07	29,07	15,07	3,35%
500	408,10	67,84	33,38	16,15	3,23%
550	449,02	77,53	37,69	17,77	3,23%
600	493,16	87,22	41,99	19,38	3,23%
650	541,62	101,22	47,38	20,46	3,15%
700	589,00	113,06	51,69	21,00	3,00%
750	636,37	125,98	57,07	22,61	3,01%
796	669,75	166,90	87,22	47,38	5,95%

\* Valor extrapolado

B - Prova de carga rápida

Carga no topo (kN)	Carga no nível (kN)				Ponta (%)
	5,0 m	11,1 m	11,7 m	Ponta*	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
50	48,29	3,81	2,54	1,91	3,81%
100	90,23	10,17	5,08	2,54	2,54%
150	135,98	13,98	7,63	4,45	2,97%
200	185,54	20,33	10,17	5,08	2,54%
250	233,84	26,69	13,98	7,63	3,05%
300	283,40	33,04	16,52	8,26	2,75%
350	332,96	40,67	20,33	10,17	2,90%
400	381,26	49,56	24,15	11,44	2,86%
450	429,55	57,19	27,96	13,34	2,97%
500	477,84	67,36	33,04	15,89	3,18%
550	524,86	80,06	38,13	17,16	3,12%
600	569,34	94,04	44,48	19,70	3,28%
650	607,47	106,75	53,38	26,69	4,11%
695	637,97	139,79	76,25	44,48	6,40%

\* Valor extrapolado

Tabelas 4.10 A e B – Valores de carga no topo, nos níveis instrumentados e porcentagem de ponta, carregamento lento e rápido.

Analisando-se as Tabelas 4.10 A e B, verifica-se que a estaca hélice segmentada, absorvem a maior parte da carga por atrito lateral, ficando esta parcela, em média cerca de 94% tanto para o carregamento lento quanto para o carregamento rápido. ALBUQUERQUE (2001) encontrou valores de 93% de atrito lateral para o carregamento lento e 94% para o carregamento rápido em estacas tipo hélice contínua.

#### 4.5.2.2.1. Reação de ponta

Na Figura 4.34, apresenta-se o gráfico de variação da reação de ponta x deslocamento no topo. Mostra-se que, em termos práticos houve ruptura da ponta, com resistência praticamente constante, independentemente do carregamento ser lento ou rápido.

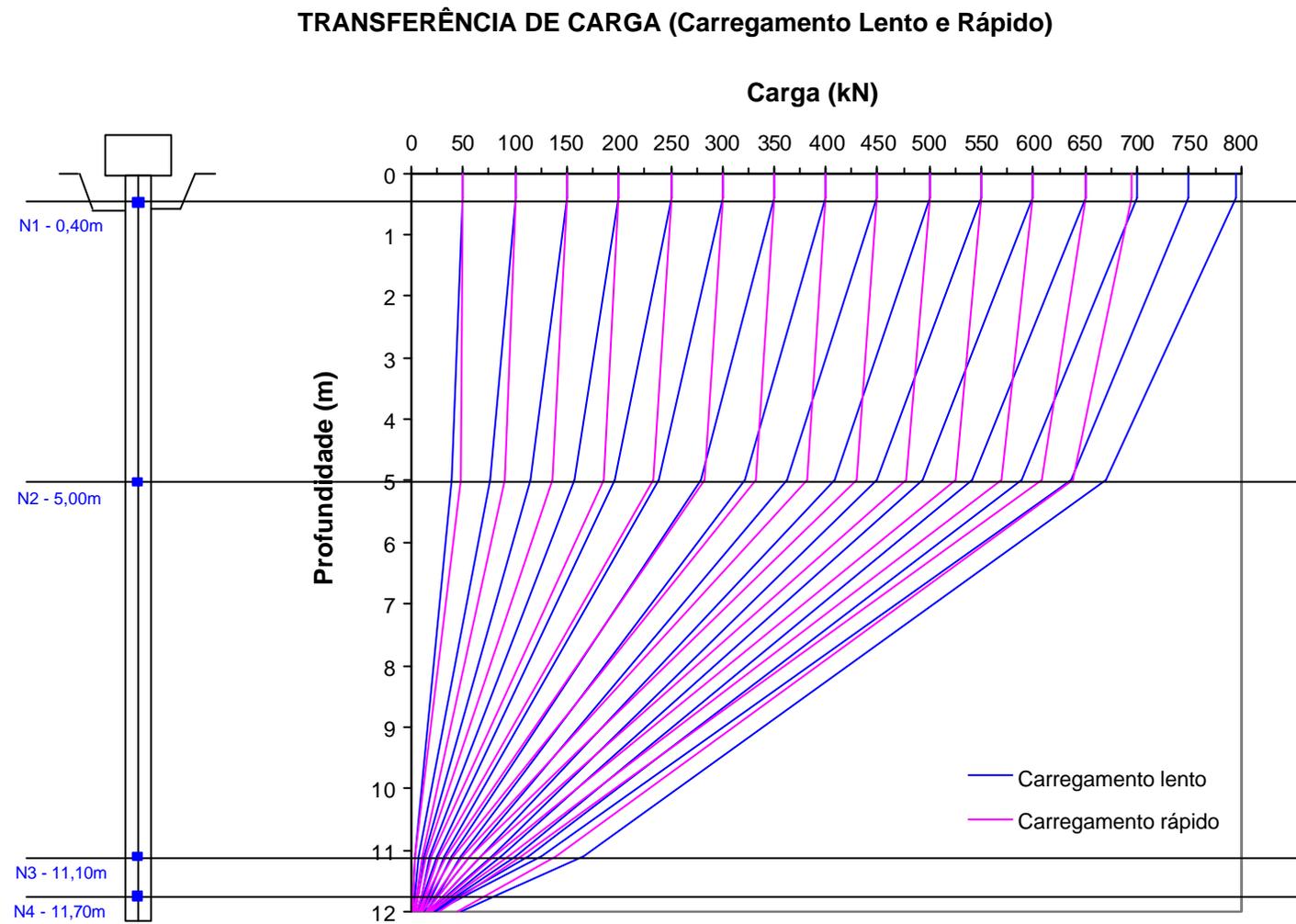


Figura 4.33 – Gráfico de transferência de carga, carregamento lento e rápido.

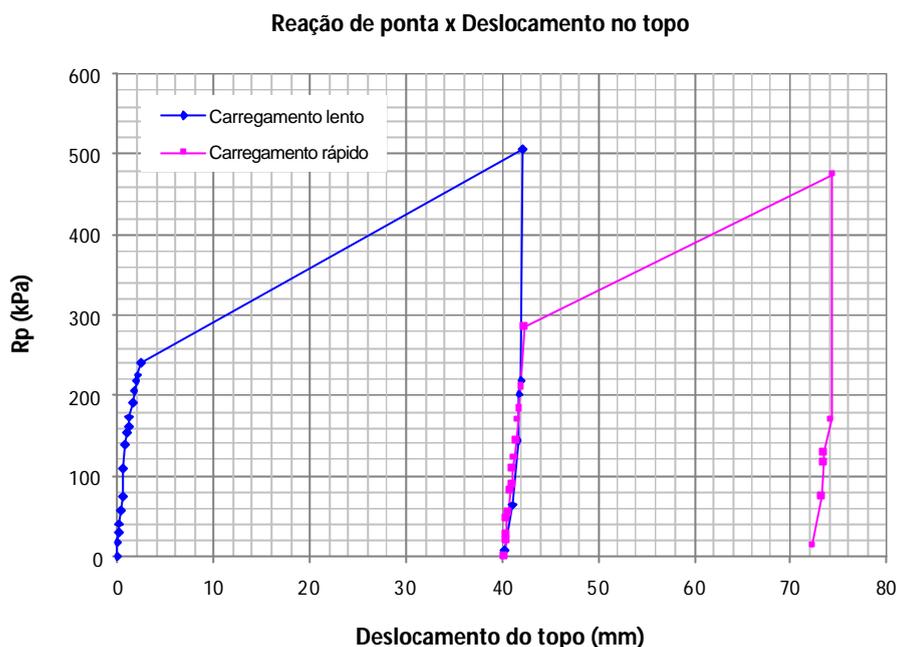


Figura 4.34 – Gráfico de reação de ponta x deslocamento acumulado no topo (Carregamento lento e rápido).

#### 4.5.2.2.2. Atrito lateral unitário

Apresentam-se nas Figuras 4.35 a 4.37 os gráficos de atrito lateral unitário médio ao longo do fuste, nos trechos 0,4 a 12 m, 0,4 a 5 m e 5 a 12 m, em função do deslocamento no topo da estaca. Verifica-se que para os carregamentos lento e rápido, atingiu-se a ruptura. Usa-se o deslocamento do topo face à enorme rigidez da estaca ensaiada. A diferença entre os valores máximos dos atritos foi mais intensa no trecho 0,4 – 5,0 m, junto à superfície. Levanta-se, como hipótese, que a carga aplicada no topo da estaca, face a pequena e imperceptível excentricidade, tenha provocado fenômeno similar ao drapejamento de estacas cravadas no solo do CE\_UNICAMP, como mencionado por ALBUQUERQUE (2001). Com isto, deve ter havido um deslocamento do solo ao longo do fuste da estaca neste trecho superior, reduzindo o atrito lateral.

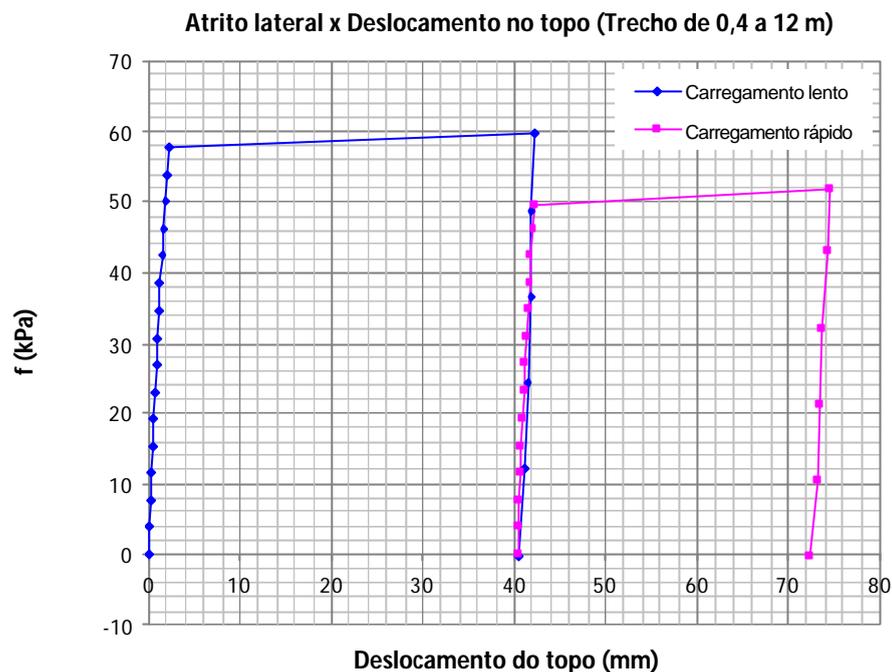


Figura 4.35 – Atrito lateral unitário médio ao longo do fuste em função do deslocamento no topo (Carregamento lento e rápido).

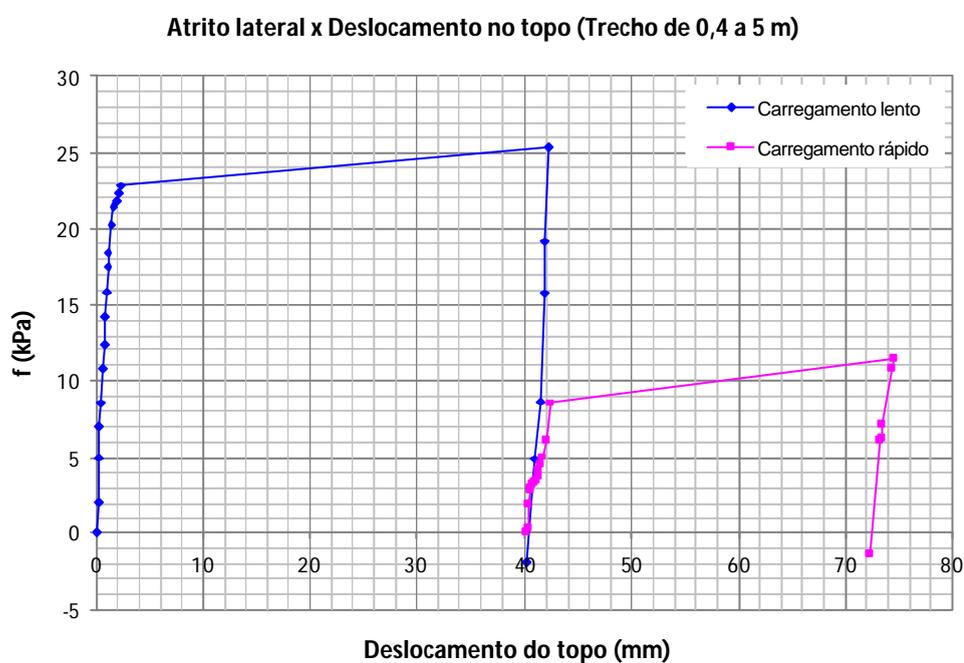


Figura 4.36 – Atrito lateral unitário no trecho 0,4 – 5,0 m em função do deslocamento no topo (Carregamento lento e rápido).

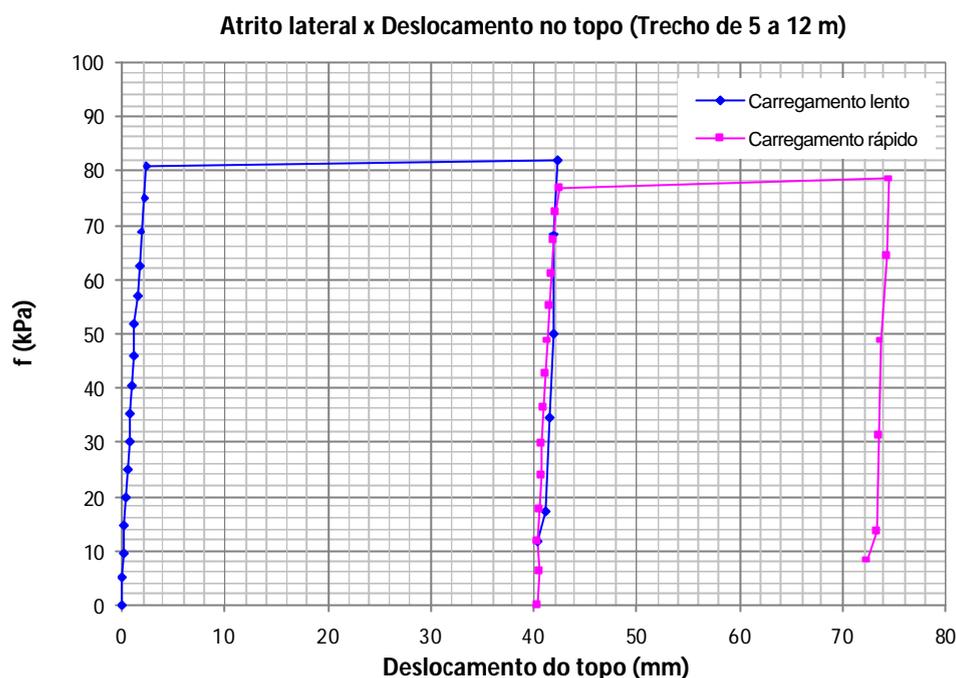


Figura 4.37 – Atrito lateral unitário no trecho 5,0 – 12,0 m em função do deslocamento no topo (Carregamento lento e rápido).

Nas Figuras 4.38 e 4.39 mostra-se os gráficos de distribuição de atrito lateral no ensaio lento e rápido. Observa-se que os valores de atrito apresentam-se inferiores na primeira camada de solo, como era esperado, pois o solo neste trecho apresenta menor resistência. Neste aspecto difere dos valores encontrados por ALBUQUERQUE (2001) nas estacas hélice contínua por ele ensaiada, devido ao abaulamento do fuste observado após a extração de uma estaca do subsolo. Tal fato é significativo, pois, mesmo com a paralisação e retomada da concretagem, na profundidade 3,7 m, como mostra na Figura 4.16, não ocorreu o referido abaulamento.

Na Tabela 4.11 apresentam-se os valores de atrito lateral na ruptura, obtidos nos carregamentos lento e rápido.

<i>Carregamento</i>	<i>Atrito lateral unitário máximo (kPa)</i>		
	<i>0,4 – 5,0 m</i>	<i>5,0 – 12,0 m</i>	<i>0,4 – 12,0 m</i>
Lento	25,3	82,0	59
Rápido	11,4	78,2	51

Tabela 4.11 – Valores de atrito lateral unitário máximo, obtido no ensaio lento e rápido.

## CARREGAMENTO LENTO

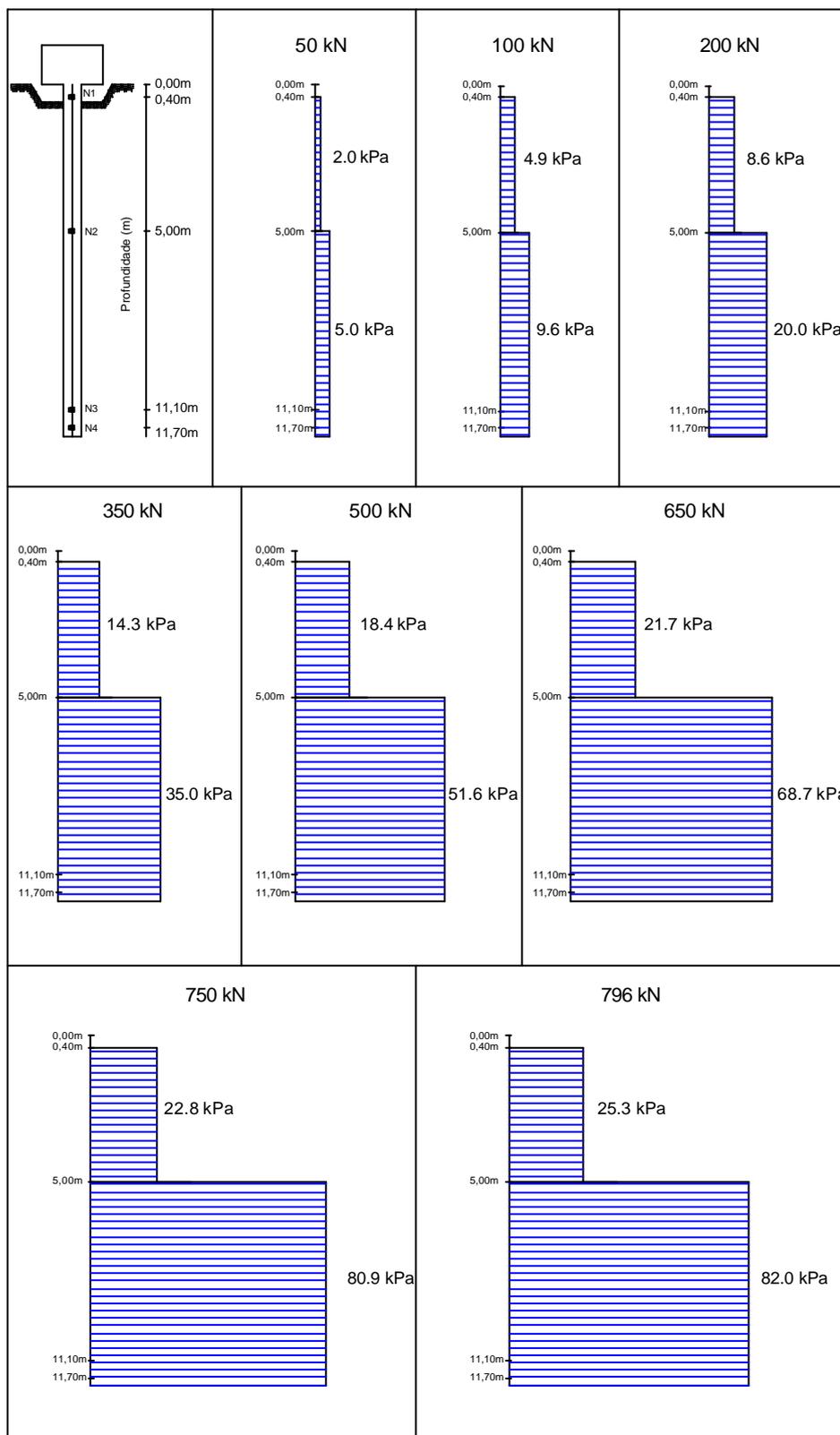


Figura 4.38 – Atrito lateral, carregamento lento.

## CARREGAMENTO RÁPIDO

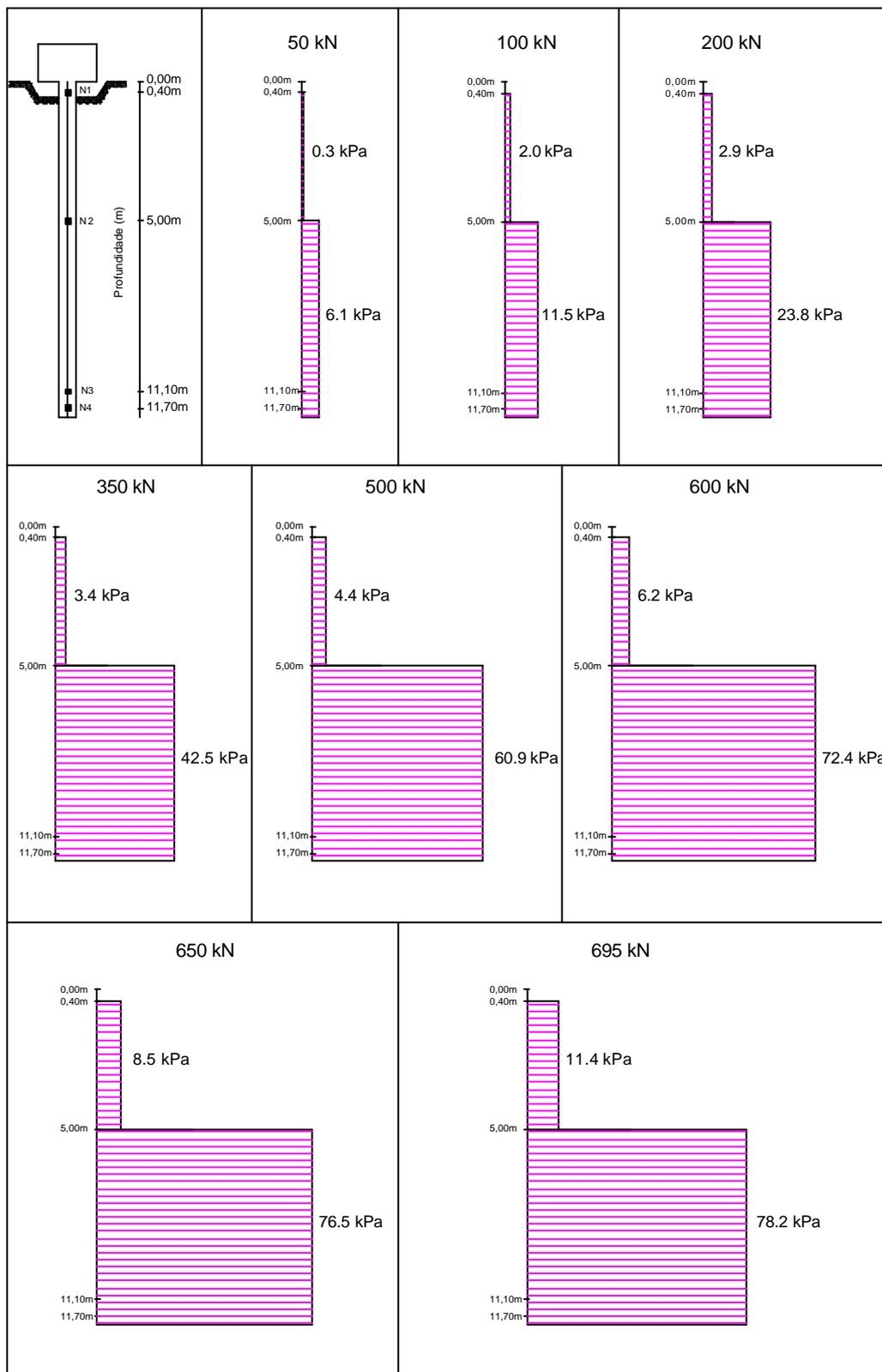


Figura 4.39 – Atrito lateral, carregamento rápido.

#### 4.5.3. Previsão da capacidade de carga

Apresenta-se na Tabela 4.12 os resultados da previsão da carga de ruptura, obtidos através dos Métodos de DÉCOURT & QUARESMA (1978), alterado por DÉCOURT (1996), e ALONSO (1996). Observa-se ainda nesta tabela a utilização de dois diâmetros diferenciados, o primeiro (30 cm) refere-se ao diâmetro nominal da estaca e o outro (34,5 cm) ao diâmetro medido no topo adotado para os cálculos do presente trabalho.

<i>Método</i>	<i>Previsão da carga de ruptura (kN)</i>	
	<i>Diâm. 30 cm (nominal)</i>	<i>Diâm. 34,5 cm (topo)</i>
DÉCOURT	353	410
ALONSO	361	427

Tabela 4.12 – Previsão da capacidade de carga.

Os métodos empíricos apresentaram valores inferiores aos encontrados nas provas de carga lenta e rápida, que atingiram, na ruptura da estaca, 796 kN e 695 kN respectivamente.

#### 4.5.4. Comparação de resultados entre Estacas Hélice Segmentada e Contínua

Neste item faz-se uma comparação entre os resultados obtidos nas provas de carga da estaca tipo hélice segmentada com os resultados referentes às estacas do tipo hélice contínua, ensaiadas por ALBUQUERQUE (2001) no mesmo local.

A Tabela 4.13 mostra que a rigidez da estaca hélice segmentada foi bem maior do que a rigidez das estacas hélice contínua. Como todas estas estacas são curtas, tal fato é irrelevante.

A Tabela 4.14 revela que a carga de ruptura das estacas tipo hélice segmentada foi cerca de 10% menor do que o correspondente valor das estacas tipo hélice contínua. Tal fato pode ser atribuído aos maiores diâmetros destas últimas.

Prova de carga	<i>Hélice Segmentada</i>		<i>Hélice Contínua</i>	
	<i>E (GPa)</i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>E (GPa)</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
Lenta	29,9	0,975	20,1	0,996
Rápida	35,3	0,997	18,8	0,998
<b><i>Média</i></b>	<b><i>32,6</i></b>	<b><i>0,986</i></b>	<b><i>19,5</i></b>	<b><i>0,997</i></b>

Tabela 4.13 – Módulo de elasticidade do concreto da estaca tipo hélice segmentada e das estacas hélice contínua.

<i>Estaca tipo</i>	<i>Dimensões</i>		<i>Prova de Carga Lenta</i>		<i>Prova de Carga Rápida</i>	
	<i>Ø (m)</i>	<i>L (m)</i>	<i>Ruptura (kN)</i>	<i>Deslocamento (mm)</i>	<i>Ruptura (kN)</i>	<i>Deslocamento (mm)</i>
Hélice segmentada	0,345	12,0	796	42,2	695	34,2
Hélice contínua (média de 3 estacas)	0,404	12,0	885	84,7	803	65,1

Tabela 4.14 – Comparativo da carga de ruptura e deslocamentos.

De fato, se a comparação for feita em termos de atrito lateral unitário máximo, em todo o fuste, e da reação de ponta, nota-se uma proximidade muito boa de valores como mostram as Tabelas 4.15 a 4.17. Esta última, inclusive, revela que o percentual de carga na ponta praticamente é o mesmo.

Conclui-se também que o diâmetro adotado de 0,345 m para a estaca hélice segmentada se justifica.

<i>Estaca tipo</i>	<i>Diâmetro (m)</i>	<i>Comprimento (m)</i>	<i>Atrito lateral unitário máximo (kPa)</i>
			<i>0,4 – 12,0 m</i>
Hélice segmentada	0,345	12	59
Hélice contínua (média de 3 estacas)	0,404	12	57

Tabela 4.15 – Comparativo dos valores de atrito lateral unitário máximo obtido nos ensaios lentos.

<i>Estaca tipo</i>	<i>Diâmetro (m)</i>	<i>Comprimento (m)</i>	<i>Atrito lateral unitário máximo (kPa)</i>
			<i>0,4 – 12,0 m</i>
Hélice segmentada	0,345	12	51
Hélice contínua (média de 3 estacas)	0,404	12	53

Tabela 4.16 – Comparativo dos valores de atrito lateral unitário máximo obtido nos ensaios rápidos.

<i>Estaca</i>	<i>Reação de ponta (kN)</i>		<i>Percentual de reação de ponta</i>	
	<i>Lenta</i>	<i>Rápida</i>	<i>Lenta</i>	<i>Rápida</i>
Hélice segmentada	47,4	44,5	6,0%	6,4%
Hélice contínua (média de 3 estacas)	65,3	50,1	7,0%	6,0%

Tabela 4.17 – Carga de ponta na ruptura das estacas tipo hélice segmentada e tipo hélice contínua.

## **CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA OUTRAS PESQUISAS**

### **5.1. Conclusões da Dissertação**

A pesquisa permitiu chegar a algumas conclusões, de interesse ao meio técnico quanto à confiabilidade do processo executivo e ao comportamento das estacas hélice segmentada.

O processo de acoplamento e desacoplamento da hélice segmentada não interfere na qualidade e integridade. As paralisações e retomadas das concretagens não apresentaram problemas de estreitamentos ou seccionamentos do fuste. Estas conclusões foram extraídas das análises de ensaios de integridade (PIT) e dos gráficos de monitoração da perfuratriz, de 10 estacas instaladas em São Bernardo do Campo – SP, em condições distintas quanto ao subsolo e particularidades executivas. Os ensaios de integridade (PIT) e os gráficos de monitoração apresentaram resultados satisfatórios quando analisados em conjunto, e para este caso, mostraram-se ferramentas importantes na avaliação da integridade de estacas.

A análise da prova de carga instrumentada, feita na estaca hélice segmentada, no CE\_UNICAMP, mostrou resultados próximos aos obtidos por ALBUQUERQUE (2001), que realizou ensaios em estacas hélice contínua no mesmo local. Os atritos laterais unitários máximos e as resistências de ponta foram muito próximas. A única diferença refere-se ao abaulamento da secção da estaca hélice contínua 2 de ALBUQUERQUE (2001), fato não observado na estaca hélice segmentada, mesmo com a paralisação e retomada da concretagem, verificada na profundidade de 3,7 m.

### **5.2. Sugestões para outras pesquisas**

Como sugestão para pesquisas futuras, seria interessante:

- a execução de estacas com particularidades executivas diversificadas, em solos não coesivos, saturados e não saturados, e a verificação da integridade destas estacas através do PIT;

- a extração de estacas do subsolo, executadas em solos de características variadas, verificando-se se a “forma” assumida pela estaca é compatível com o perfil gerado pela monitoração da perfuratriz, ampliando-se, assim, a base de conhecimento e a confiabilidade nos resultados expressos pelos gráficos de monitoração; e
- a execução de outras estacas tipo hélice contínua e hélice segmentada, de mesmas dimensões, próximas, e a realização de provas de carga estáticas à compressão e à tração, comparando-se os resultados.

## CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNICA. Research on foundation engineering. **Published on the occasion of the XII ICSMF**. 1989. São Paulo. 86p.

\_\_\_\_\_. **Manual de Especificações de Produtos e Procedimentos**. São Paulo, ABEF, 1ª ed., 1999. São Paulo. 282p.

ALBIERO, J. H.; CARVALHO, D.; LOBO, A. S. Fundações. **Solos do interior do Estado de São Paulo**. ABMS, 1993. São Paulo. cap. 9, p. 243-275.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e Execução de Fundações: NBR 6122/96**. ABNT. 1996. Rio de Janeiro. 33p.

\_\_\_\_\_. Estacas – Prova de Carga Estática – Método de Ensaio: NBR 12131/06. ABNT. 2006. Rio de Janeiro. 8p.

ALBUQUERQUE, P.J.R. **Estacas escavadas, hélice contínua e ômega: estudo do comportamento à compressão em solo residual de diabásio, através de provas de carga instrumentadas em profundidade**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2001. São Paulo. 260p.

ALMEIDA NETO, J.A. **Análise do desempenho de estacas hélice contínua e ômega – aspectos executivos**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2002. São Paulo. 187p.

\_\_\_\_\_. Análise comparativa do desempenho de estacas hélice contínua e ômega por meio de resultados de provas de carga. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE V, 5º, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2002. v. 1, p. 154-163.

\_\_\_\_\_.; KOCHEN, R. Efeitos da instalação de estacas ômega e hélice contínua no sistema estaca-solo. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE V, 5º, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2002. v. 1, p.165-173.

ALONSO, U.R. Interpretação de provas de carga axial em estacas hélice contínua monitoradas na execução. **Revista Solos e Rochas**, São Paulo, 1996(a), v. 19, n. 3, p. 233-242.

\_\_\_\_\_. Estacas hélice contínua com monitoração eletrônica – previsão da capacidade de carga através do ensaio SPT-T. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE III, 3º, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 1996(b), v. 2, p. 141-151.

\_\_\_\_\_. Prova de carga horizontal em estaca hélice contínua. **Revista Solos e Rochas**. São Paulo, 1998 (a), v. 21, n. 1, p. 51-57.

\_\_\_\_\_. Estacas hélice contínua monitorada – a experiência nos últimos dois anos. **Revista Engenharia**, São Paulo, 1998(b), n. 528, p. 34-41.

\_\_\_\_\_. Estacas hélice contínua carregadas transversalmente em solos com coeficiente de reação crescendo linearmente com a profundidade. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE IV, 4º, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2000(a), v. 2, p. 413-424.

\_\_\_\_\_. Reavaliação do método de capacidade de carga de estacas hélice contínua proposto por Alonso em 96 para duas regiões geotécnicas distintas. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE IV, 4º, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2000(b), v. 2, p. 425-429.

\_\_\_\_\_. Contribuição para a formação de um banco de dados de provas de carga em estacas hélice contínua. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE IV, 4º, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2000(c), v. 2, p. 430-450.

\_\_\_\_\_. DA SILVA, P.C.A.F. Curva de “recalque equivalente” do topo de uma estaca hélice contínua ensaiada com célula expansiva hidrodinâmica (Expancell). In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE IV, 4º, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2000, v. 2, p. 416-425.

\_\_\_\_\_. Reflexões sobre o comportamento de estacas hélice contínua e ômega executadas acima e abaixo do nível d’água In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA – XII COBRAMSEG, 12º, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2002(a). 7p.

\_\_\_\_\_. Desempenho de estacas hélice contínua executadas na cidade de Santos – SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA – XII COBRAMSEG, 12º, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2002(b). 7p.

\_\_\_\_\_. Complementação do banco de dados de provas de carga estática em estacas hélice contínua. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA – XII COBRAMSEG, 12º, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2002(c). 12p.

\_\_\_\_\_. Projeto e desempenho das fundações, retrospectiva da experiência brasileira. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE V, 5º, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2004, v. 1, p. 1-34.

\_\_\_\_\_. **Avaliação de Ensaio PIT nas estacas hélices contínuas.** Notícias e Artigos, ABEF, 2007, São Paulo. Disponível em: <<http://www.abef.org.br>>. Acessado em: 20 de out. 2008.

AMANN, K. A. P. Avaliação crítica de métodos semi-empíricos aplicados a estacas hélice contínua e ômega. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE V, 5º, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2004, v. 1, p. 308-318.

ANDREO, C. S.; GONÇALVES, C. BERNARDES, G. P. Avaliação da carga mobilizada em estacas tipo hélice contínua com base no ensaio de carregamento dinâmico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA – XII COBRAMSEG, 12º, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2002. 5p.

ANTUNES, W.R.; CABRAL, D.A. Capacidade de carga de estacas hélice contínua. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE III, 3º, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 1996, v. 2, p. 105-110.

\_\_\_\_\_, TARROZO, H. Estacas tipo hélice contínua. In: HACHICH, W. et al. **Fundações: Teoria e Prática**, 1996, São Paulo. Editora PINI, cap. 9, p. 345-348.

AOKI, N.; VELLOSO, D. Um método aproximado para cálculo da capacidade de carga de estacas. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 5 th, 1975, Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires, 1975, v. 1, p. 367-376.

BARRETO, G. W. Estaca hélice Segmentada. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE V, 5º, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2004, v. 1, p. 134-144.

\_\_\_\_\_. **Desenvolvimento de um equipamento para a execução de estacas hélice segmentada**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2005. São Carlos, 131 p.

BRANCO, C.J.M.C.; MIGUEL, M.C.; TEIXEIRA, R.S. Estudo do comportamento de estacas hélice contínua monitoradas em solo argiloso mediante provas de carga e métodos semi-empíricos. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS – SEFE IV, 4º, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2000, v. 1, p. 116-126.

BRONS, K.F.; KOOL, A.F. Methods to improve the quality of auger piles. In: INTERNATIONAL GEOTECHNICAL SEMINAR ON DEEP FOUNDATIONS ON

BORED AND AUGUER PILES, 3<sup>rd</sup>, 1998. Ghent-Belgium. **Proceedings...** Rotterdam: A.A. Balkema, 1998, p. 269-272.

BUSTAMANTE, M.; GIANESELLI, L. Installation parameter and capacity of screwed piles. In: INTERNATIONAL GEOTECHINICAL SEMINAR ON DEEP FOUNDATIONS ON BORED AND AUGUER PILES, 3<sup>rd</sup>, 1998, Ghent-Belgium. **Proceedings...** Rotterdam: A.A. Balkema, 1998, p. 95-108.

CAPUTO, A.N.; MANRUBIA, H. A estaca hélice contínua com monitoração eletrônica. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE III, 3<sup>o</sup>, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 1996, v. 2, p. 133-140.

\_\_\_\_\_.; TARROZO, H.; ALONSO, U.R.; ANTUNES, W.R. **Estacas hélice contínua: projeto execução e controle.** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 1997, São Paulo. ABMS, Núcleo Regional de São Paulo, 1997, 59 p.

CARVALHO, D.; ALBUQUERQUE, P. J. R.; NOGUEIRA, R. C. R.; FONTAINE, E. B. **Concurso para previsão do comportamento de estacas raiz** (ISBN 85-905375-2-8). 1. ed. Piracicaba: L. Queiroz, 2004. v. 1. 184 p.

CHERNAUSKAS, L. R.; PAIKOWSKY, S. G. **Deep foundations integrity testing: techniques & case histories.** Civil Engineering Practice Spring/Summer, 1999. Boston Society of Civil Engineers. Section/ASCE, 1999, vol. 14, n.º 1, p. 39-56.

COMPUGEO. **Manual técnico do SIMEhC**, 2004, 38 p.

CORRÊA, C. N. Acompanhamento de estacas hélice contínua monitorada. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE V, 5<sup>o</sup>, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2004, v. 1, p. 90-99.

COUTINHO, A. C. **Segmentação e classificação de imagens LANDSAT-TM para o mapeamento dos usos da terra na região de Campinas – SP**, 1997. São Paulo: USP-IB-DEG, 1997. 145p.

DERBYSHIRE, P.H.; TURNER, M.J.; WAIN, D.E. Recent developments in continuous flight auger piles. In: International Conference on Piling and Deep Foundations, 1989, London. **Proceedings...** London, 1989, v. 1.

DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 6<sup>th</sup>, 1978, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro, 1978. v.1, p.45-53.

DÉCOURT, L. Análise e Projeto de Fundações Profundas. Estacas. In: HACHICH, W., FALCONI, F., SAES, J. L., FROTA, R. G. Q., CARVALHO, C. S., NIYAMA, S. **Fundações Teoria e Prática e Prática**. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: Editora Pini Ltda, 1996. cap 8.1. p. 265 – 301.

DÉCOURT, L. Capacidade de carga de estacas executadas no Campo Experimental de Engenharia Geotécnica da U.E. de Londrina. Algumas ponderações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA – XII COBRAMSEG, 12<sup>o</sup>, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo, ABMS, 2002. 8p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Geologia de Campinas**. Campinas, 1996. Disponível em: <<http://www.apacampinas.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 10 set. 2008.

ENGESTRAUSS – **Arquivos fotográficos dos anos de 2002 a 2007**. Santo André – SP: Engestrauss.

FELLENIOUS, B. H. **Tangent modulus of piles determined from strain data**. The American Society of Civil Engineers, ASCE, Geotechnical Engineering Division. Foundation Congress, 1989. Edited by F. H. Kulhawy, v. 1, p. 500-510.

FIGUEIREDO, C. M. M. **Ensaio de integridade estrutural PIT: Fundamentos básicos, metodologias executivas e discussão de casos**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2003. São Paulo. 186 p.

FLEMING, W.G.K. **The understanding of continuous flight auger piling, its monitoring and control**. 1995. Proc. Isntn. Civ. Engers, Geotechnical Engineering. 113p.

FOTI, A. **Confiabilidade de estacas tipo strauss e sua viabilidade técnica em pequenas obras**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2001. São Paulo, 123 p.

FUNDESP. **Catálogo Técnico**, 2001. São Paulo: Fundesp.

FUNDSOLO SERVIÇOS GEOTÉCNICOS E FUNDAÇÕES LTDA (FUNDSOLO). **Prova de carga estática**. s/l, s/d. Disponível em: <<http://www.fundsolo.com.br/fund-provas.htm>>. Acesso em: 15 jun. 2007.

GEOFIX. Hélice contínua monitorada. **Catálogo Técnico**, 1998. São Paulo: Geofix.

GOTLIEB, M.; PENNA, A.S.D.; ROMANO JR., R.; RODRIGUES, L.H.B. (2000). Um método simples para a avaliação da tensão admissível no topo de estaca tipo hélice contínua. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE IV, 4º, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2004, v. 1, p. 312-319.

\_\_\_\_\_.; PENNA, A.S.D.; ROMANO JR., R.; RODRIGUES, L.H.B. Comprimentos adequados para as estacas “hélice contínua”. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA – XII COBRAMSEG, 12º, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2002. 7p.

GUIMARÃES, R. C.; MOTA, N. M. B.; ABREU, P. S. B.; PEREIRA, J. H. F.; DE CARVALHO, J. C. Prova de carga estática em estacas hélice contínua no DF: comparação com os métodos de previsão de capacidade de carga. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA – XII COBRAMSEG, 12º, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2002. 7p.

HARTIKAINEN, J., GAMBIN, M.P. Deep foundations with soil excavation: bored piles, root piles, CFA piles, slurry trench walls. In: PILE AND DEEP FOUNDATIONS. 4<sup>th</sup>

INTERNATIONAL CONFERENCE, 1991. Stresa-Italy. **Proceedings...** Stresa, 1991, v. 2.

JEAN LUTZ. **Manual Técnico do Taracord**. Jean Lutz, França, 1995. 32 p.

JEAN LUTZ. **Manual Técnico do Taralog**. Jean Lutz, França, 1997. 34p.

KAREZ, M.B.; ROCHA, E.A.C. Estacas hélice contínua – previsão da capacidade de carga. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE IV, 4º, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2000, v. 1, p. 274-278.

KORMANN, A.C.M.; CHAMECKI, P.R.; NASCIMENTO, N.A.; DYMINSKI. Loads tests on continuous flight auger piles in Guabirota formation. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING, 11º, 1999, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** Foz do Iguaçu: ABMS, 1999, v. 3, p. 1537-1544.

KORMANN, A.C.M.; CHAMECKI, P.R.; RUSSO NETO, L.; ANTONIUTTI NETTO, L.; BERNARDES, G.P. Estacas hélice contínua em argila sobreadensada: comportamento em provas de carga estáticas e dinâmicas. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE IV, 4º, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2000, v. 1, p. 58-70.

LÁZARO, A.A. **Estacas hélice contínua: correlações entre a monitoração e características dos solos**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2003. São Paulo. 256 p.

\_\_\_\_\_.; WOLLE, C. M. Estacas hélice contínua: correlações entre a monitoração e características dos solos In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE V, 5º, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2004, v. 1, p. 57-69.

MAIA, P. C. M.; BARROS, R. A.; SABOYA, F. A. Acompanhamento de recalques de fundação em estacas hélice na região de Campos dos Goytacazes. In: SEMINÁRIO DE

ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE V, 5º, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2004, v. 1, p. 441-449.

MASSAD, F. Notes of the interpretation of failure load from routine pile load tests. **Revista Solos e Rochas**, São Paulo, 1986, v. 9, n. 1, p. 33-36.

\_\_\_\_\_. **Comportamento de estacas tipo hélice contínua, quando submetidas a provas de carga – Mecanismo de transferência de carga.** Relatório técnico de convênio entre Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e a empresa Raiz Engenharia Fundações e Comércio Ltda, 1991(a). São Paulo, 1991, 112 p.

\_\_\_\_\_. Análise da transferência de carga em duas estacas instrumentadas, quando submetidas à compressão axial. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE II, 2º, 1991, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS. 1991(b), v. 1, p. 235-244.

\_\_\_\_\_. Estacas escavadas em compressão axial: comportamento e parâmetros visando a estimativa de recalques. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE II, 2º, 1991, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 1991(c), v. 1, p. 255-264.

\_\_\_\_\_. Sobre a interpretação de provas de carga em estacas, considerando as cargas residuais na ponta e a reversão do atrito lateral. Parte I: Solos relativamente homogêneos. **Revista Solos e Rochas**, 1992, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 103-115.

\_\_\_\_\_. Sobre a interpretação de provas de carga em estacas, considerando as cargas residuais na ponta e a reversão do atrito lateral. Parte II: Estaca embutida em camada mais resistente. **Revista Solos e Rochas**, 1993, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 93-112.

\_\_\_\_\_. Pile analysis taking into account soil rigidity and residual stresses. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 10<sup>th</sup>, 1995, Guadalajara, México. **Proceedings...** v. 2, p. 1199-1210.

\_\_\_\_\_.; LAZO, G. Método gráfico para interpretar a curva carga-recalque de provas de carga verticais em estacas rígidas ou curtas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, X, 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: ABMS, 1998, v. 3, p. 1407-1414.

\_\_\_\_\_.; WINZ, H.C. Capacidade de carga em estacas verticais: influência da velocidade de carregamento em provas de carga. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE IV, 4º, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2000, v. 1, p. 177-190.

PDI ENGENHARIA LTDA. **Ensaio de Integridade PIT**. s/l, s/d. Disponível em: <<http://www.pdi.com.br>> Acesso em: 19 set. 2007.

PENNA, A.S.D.; CAPUTO, AN.; MAIA, C.; PALERMO, G.; GOTLIEB, M.; PARAÍSO, S.C.; ALONSO, U.R. **A estaca hélice contínua – A experiência atual**. 1ª ed., 1999, São Paulo: FALCONI, F.F. & MARZIONNA, J.D. (Ed.). ABMS/ABEF/IE, 162 p.

RICCOMINI, C.; COIMBRA, A. Geologia da Bacia Sedimentar. In: NEGRO Jr. et al. **Solos da cidade de São Paulo**, 1992, São Paulo. NRSP/ABMS, p. 37-94.

SALES, M. M.; CUNHA, F. R. L.; PACHECO, R. T., FONSECA, A. L. E.; FLEURY, S. V. Prova de carga estática em solo residual de micaxisto In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA – XII COBRAMSEG, 12º, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2002. 8p.

SILVA, C. M.; SOARES, J. M.; CUNHA, R. P.; MOTA, N. M. Transferência de carga em estaca hélice contínua instrumentada e executada no Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA – XII COBRAMSEG, 12º, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2002. 8p.

SOLODRILL. **Fichário técnico**. São Paulo, 2008. 6p.

SOUZA, A. **Estaca piloto instrumentada: uma ferramenta para o estudo da capacidade de carga de estacas quando submetidas a esforços axiais de compressão.**

Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2001. São Paulo. 296p.

VELLOSO, D.A. Fundações: projetos, execução, patologia e reforço. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE IV, 4º, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2000, v. 2, p. 1-10.

VELLOSO, D. A.; ALONSO, U. R. Previsão, controle e desempenho de fundações. In: NEGRO Jr. et. al. Previsão de desempenho x Comportamento real. São Paulo: NRSP/ABMS, 2000. p.95-139.

VORCARO, M.C.; VELLOSO, D.A. Avaliação de carga última em estacas hélice contínua por regressão linear múltipla. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE IV, 4º, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2000, v. 2, p. 315-330.

WIKIPÉDIA A ENCICLOPÉDIA LIVRE. **Enciclopédia Eletrônica.** São Bernardo do Campo. s/l, s/d. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org>>. Acessado em: 20 set. 2008.

WINZ, H. C. **Provas de carga estáticas, lentas e rápidas, e dinâmicas em estacas.** Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1999. São Paulo. 103p.

ZACLIS, E.; FALCONI, F. Estacas hélice contínua – Comparação entre previsão de carga de ruptura e resultados de provas de carga. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS – SEFE III, 3º, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo, ABMS, 1996, v.2, p. 153-158.

ZAMMATARO, B. B. **Comportamento de estacas tipo escavada e hélice contínua, submetidas a esforços horizontais.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2007. Campinas – SP. 187 p.