

# SIMPÓSIO DE PCE, BIDIRECIONAL E ECD + CAMPO DE TESTE IE

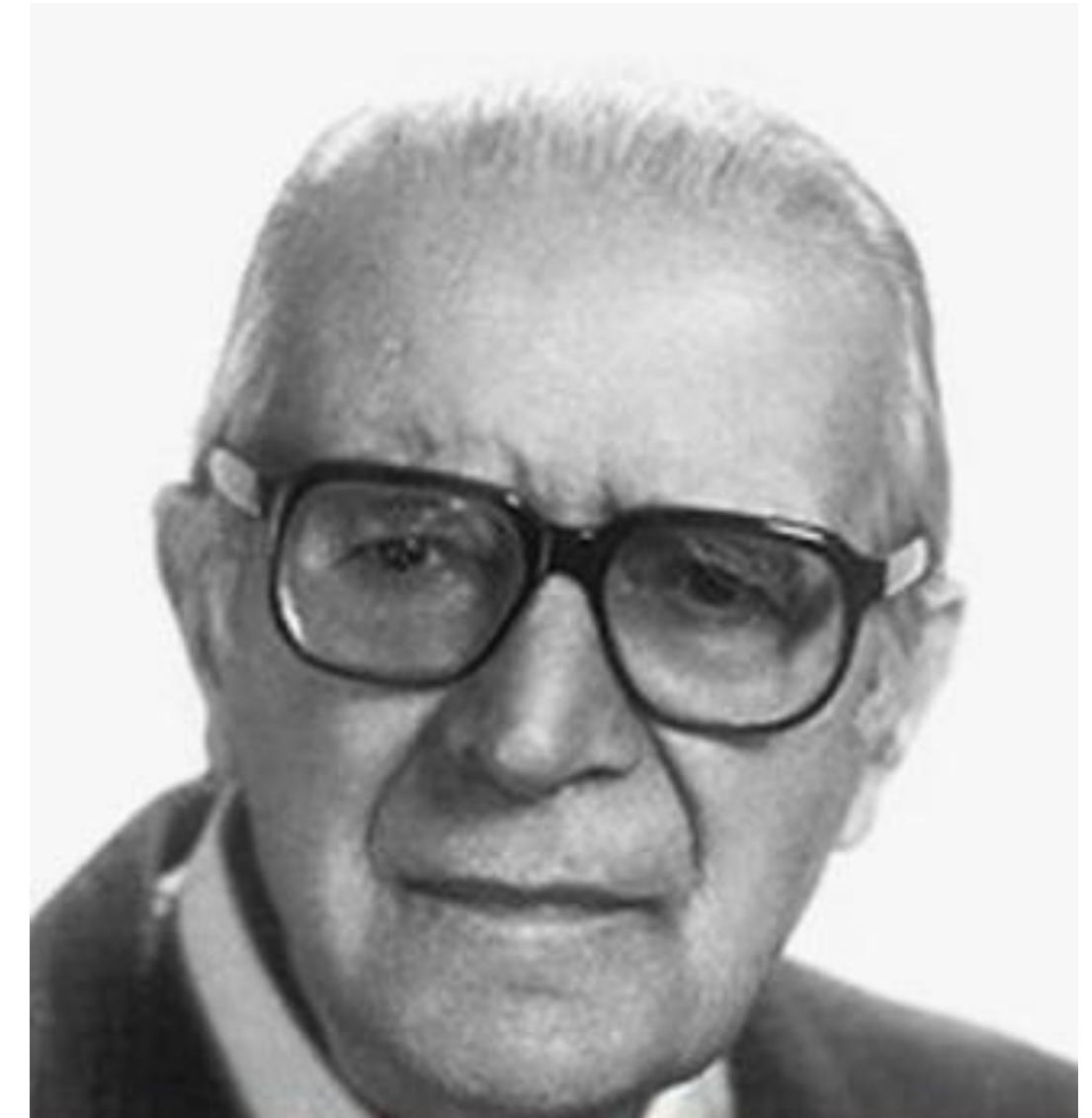


EXECUÇÃO DE ESTACAS RAIZ Ø400mm e Ø500mm  
ENG. CIVIL: MÁRCIO DOS SANTOS  
FUNDADOR E CEO - FUNDSOHO



## ESTACA RAIZ

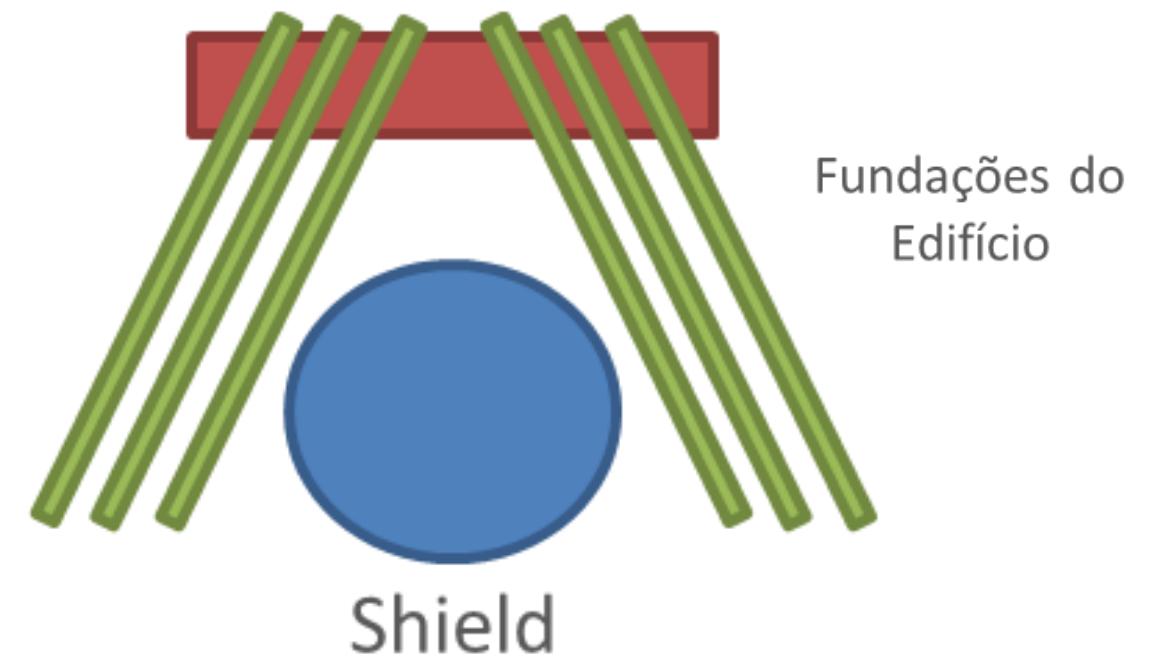
- A estaca raiz, criada pelo Eng. Fernando Lizzi na década de 50, com diâmetros de até 8", era conhecida como microestaca e, posteriormente, como pali radice.
- Inicialmente, era utilizada para reforçar fundações existentes em obras de restauração de monumentos e edifícios danificados.



*Fernando Lizzi, 1914-2003*

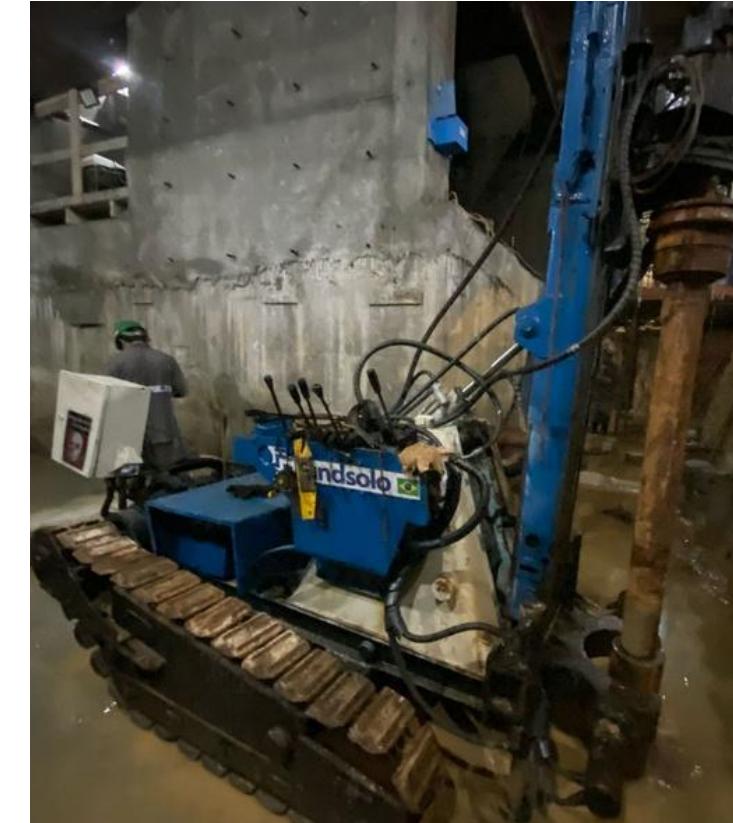
## • PALACETE RIACHUELO - 1977 - LINHA 3 VERMELHA, METRÔ SP

- Obra: Reforço de fundação do Edifício Palacete Riachuelo.
- Edifício tombado pelo patrimônio histórico, um dos primeiros edifícios de apartamentos da América Latina.
- Foi projetado e executado um radier com estacas raiz inclinadas, formando uma estrutura monolítica, além de injeções químicas de consolidação no teto do túnel para minimizar recalques.
- As estacas foram executadas com diâmetro de  $\varnothing 4"$ , utilizando sondas rotativas hidráulicas devido à logística, à altura limitada e ao espaço confinado no interior do edifício.
- Segundo o Eng. Jaime Marzionna (in memoriam), esta foi a primeira obra no Brasil a empregar a estaca raiz como fundação.



## ESTACA RAIZ

Com o passar dos anos e o avanço da tecnologia, tanto na técnica quanto nos equipamentos, passou a ser utilizada não apenas em reforços, mas também como fundações principais para edifícios, viadutos e outras estruturas, com plena confiabilidade técnica – principalmente no Brasil –, com diâmetros de até 18" (500 mm) e cargas de trabalho de até 250 tf.



Evolução dos equipamentos ao longo do tempo

## ESTACA RAIZ

- É uma estaca moldada in loco, com alta tensão de trabalho no fuste. Atravessa qualquer condição geológico-geotécnica adversa, tais como: rocha, blocos, matacões, pedregulhos e/ou material de consistência rochosa (SPT  $\geq 40$ ).
- Utiliza-se revestimento metálico de modo integral em solo, garantindo a estabilidade da perfuração, com redução apenas em rocha ou material de consistência rochosa (SPT  $\geq 40$ ).
- É integralmente armada e preenchida com argamassa por injeção ascensional sob pressão, com aplicação de golpes de ar comprimido.



# ETAPAS DE EXECUÇÃO DA ESTACA RAIZ

SONDAGEM

PROJETO

LOCAÇÃO/ACOMPANHAMENTO  
TOPOGRÁFICO

EXECUÇÃO

SOLO

PERFURAÇÃO

ROCHAS E MATERIAIS DE  
CONSISTÊNCIA ROCHOSA  
(SPT $\geq$ 40)

PERFURAÇÃO ROTATIVA

LIMPEZA DO FURO

PERFURAÇÃO  
ROTOPERCUSSIVA

- REVESTIMENTO METÁLICO
- SAPATAS DE WIDEAS
- BROCAS TRICÔNICAS
- ROLLERBITS

INSTALAÇÃO DA ARMADURA

- MARTELO DE FUNDO
- BITS
- ODEX/SYMMETRIX  
(CASING SYSTEM)
- TELESCOPAGEM

INJEÇÃO DE ARGAMASSA  
ASCENCIONAL

REMOÇÃO DE REVESTIMENTOS  
CONCOMITANTE A APLICAÇÃO  
DE GOLPE DE AR COMPRIMIDO

# TABELA DE ESTACA RAIZ

CARGA (tf)	Ø PERF (mm)	Ø ACABADO (mm)	CIMENTO (sc/m)	AREIA (l/m)	AÇO (kg/m)
10,00	101,60	120,00	0,17	13,00	3,50
15,00	101,60	120,00	0,17	13,00	5,50
20,00	101,60	120,00	0,17	13,00	6,50
25,00	141,30	160,00	0,30	23,00	6,50
35,00	141,30	160,00	0,30	23,00	7,50
50,00	168,30	200,00	0,47	35,00	12,50
70,00	219,15	250,00	0,75	55,00	12,50
100,00	273,00	310,00	1,13	85,00	17,50
120,00	323,80	350,00	1,47	110,00	17,50
130,00	355,60	410,00	1,89	145,00	21,00
180,00	406,40	450,00	2,03	180,00	25,00
250,00 (estimado)	457,00	500,00	2,87	220,00	40,00

1.) Ø da estaca [mm]	500	450	410	350	310	250	200	160	120
2.) Ø ext. tubo [mm]	457,00	406,40	355,60	323,80	273,00	219,10	168,30	141,30	101,60
3.) Ø int. tubo [mm]	409,34	363,52	317,50	288,84	242,82	193,70	146,36	122,24	97,18
4.) estribo	Ø6,3x20	Ø6,3x20	Ø6,3x20	Ø6,3x20	Ø6,3x20	Ø6,3x20	Ø5,0x20	Ø5,0x20	Ø5,0x20
5.) Ø ext. estribo [mm]	360,00	320,00	280,00	240,00	200,00	155,00	110,00	82,00	55,00
6.) Ø estaca – rocha [mm]	400,00	350,00	310,00	260,00	225,00	175,00	125,00	101,00	76,00
7.) dist. mín. eixos [cm]	150,00	135,00	130,00	110,00	100,00	80,00	70,00	60,00	60,00
8.) dist. mín. eixo-divisa [cm]	50,00	50,00	40,00	40,00	40,00	35,00	35,00	35,00	35,00

## EXECUÇÃO DE ESTACAS – CAMPO DE TESTE IEESP



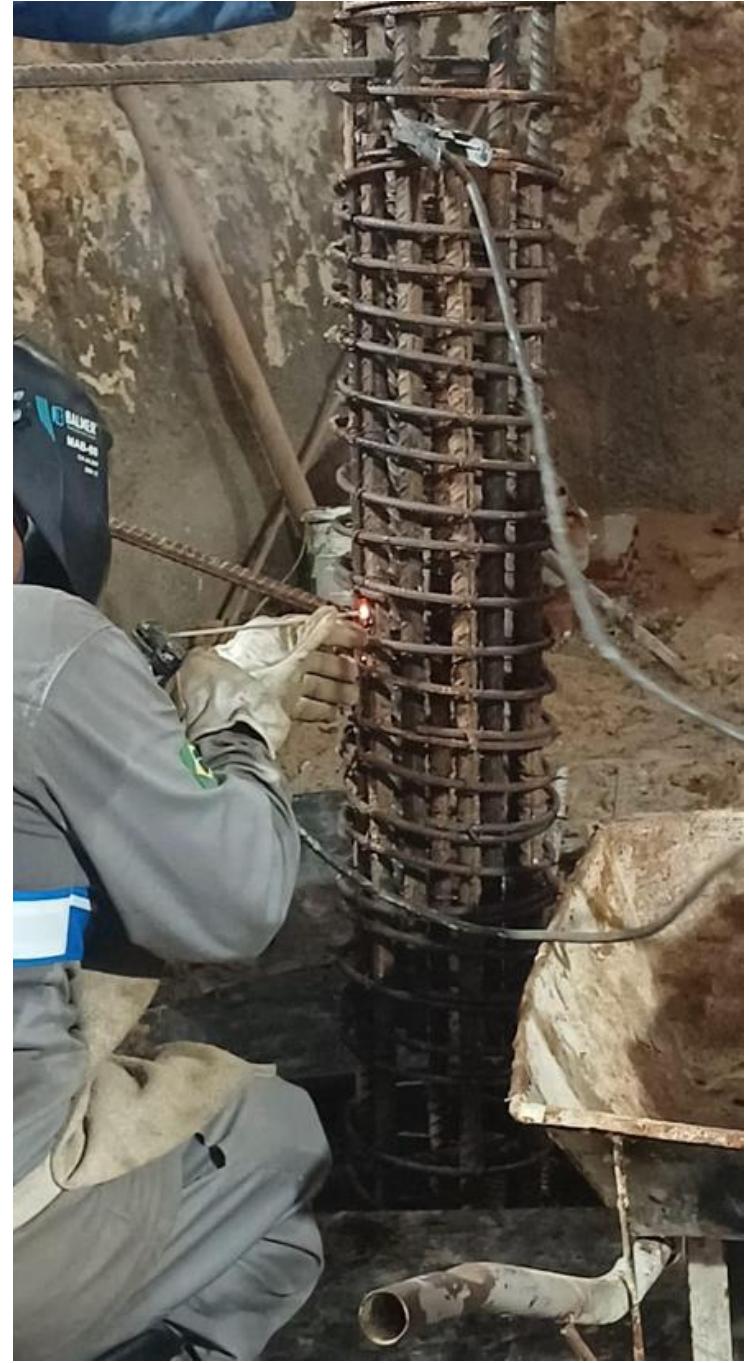
Para este experimento científico com estacas raiz, foram introduzidas as seguintes modificações em relação à metodologia tradicional: utilização de argamassa com  $f_{ck}$  50 MPa e armadura especial, composta por barras Rocsolo, que apresentaram resultados excelentes em dois empreendimentos recentes, executados pela Fundsolo e projetados pelo Eng. Prof. Luciano Decourt.

# MANSÃO WILDBERGER - 2014, SALVADOR-BA



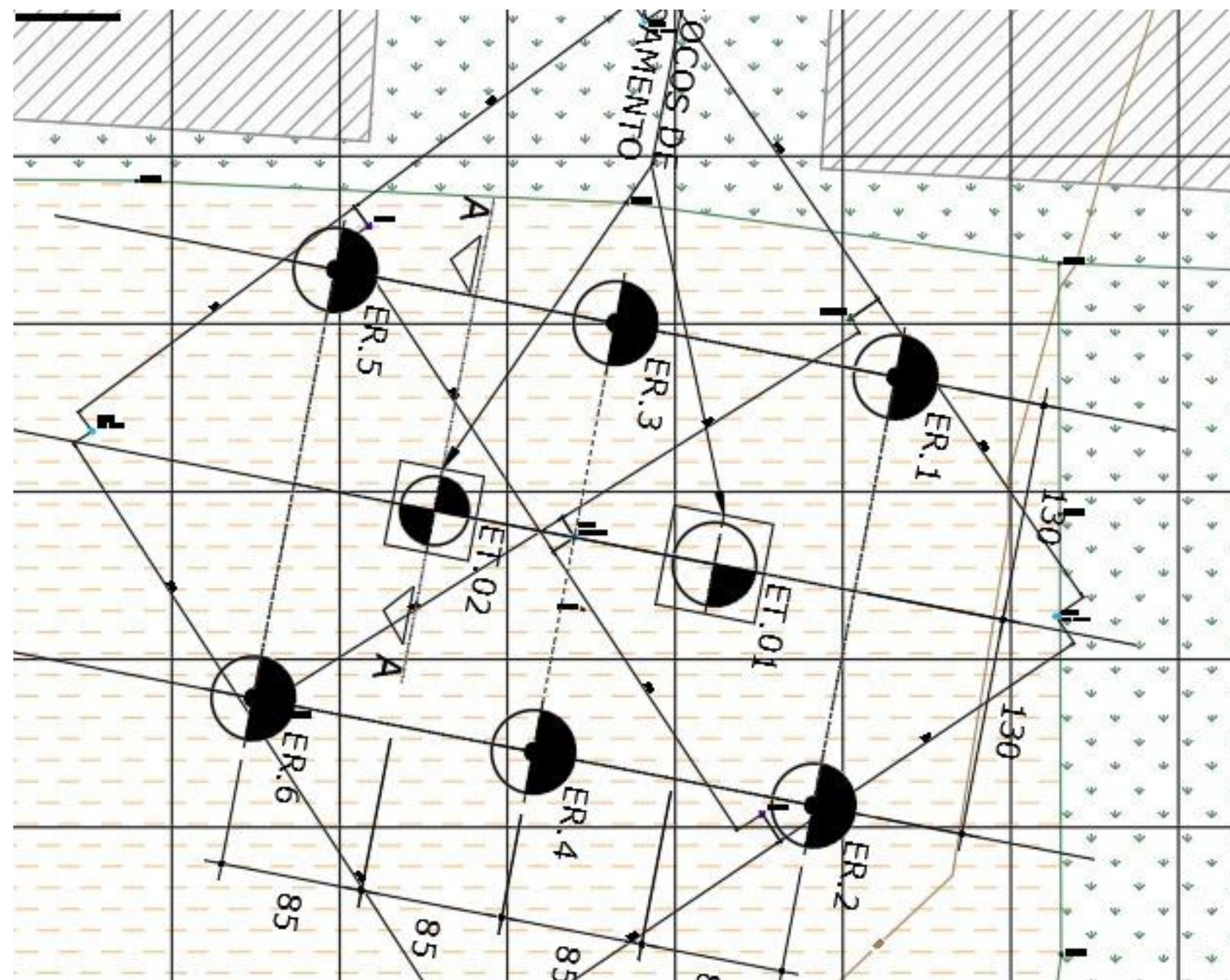
Estacas de  $\varnothing 5"$  para reforço de tubulão, com  $L = 22$  m, sendo 6 m em rocha e com armadura de barra Rocsolo de  $\varnothing 2"1/2$ . Prova de carga com resultado de 600 tf.

# EMPREENDIMENTO DC 360 - 2024, FORTALEZA, CE

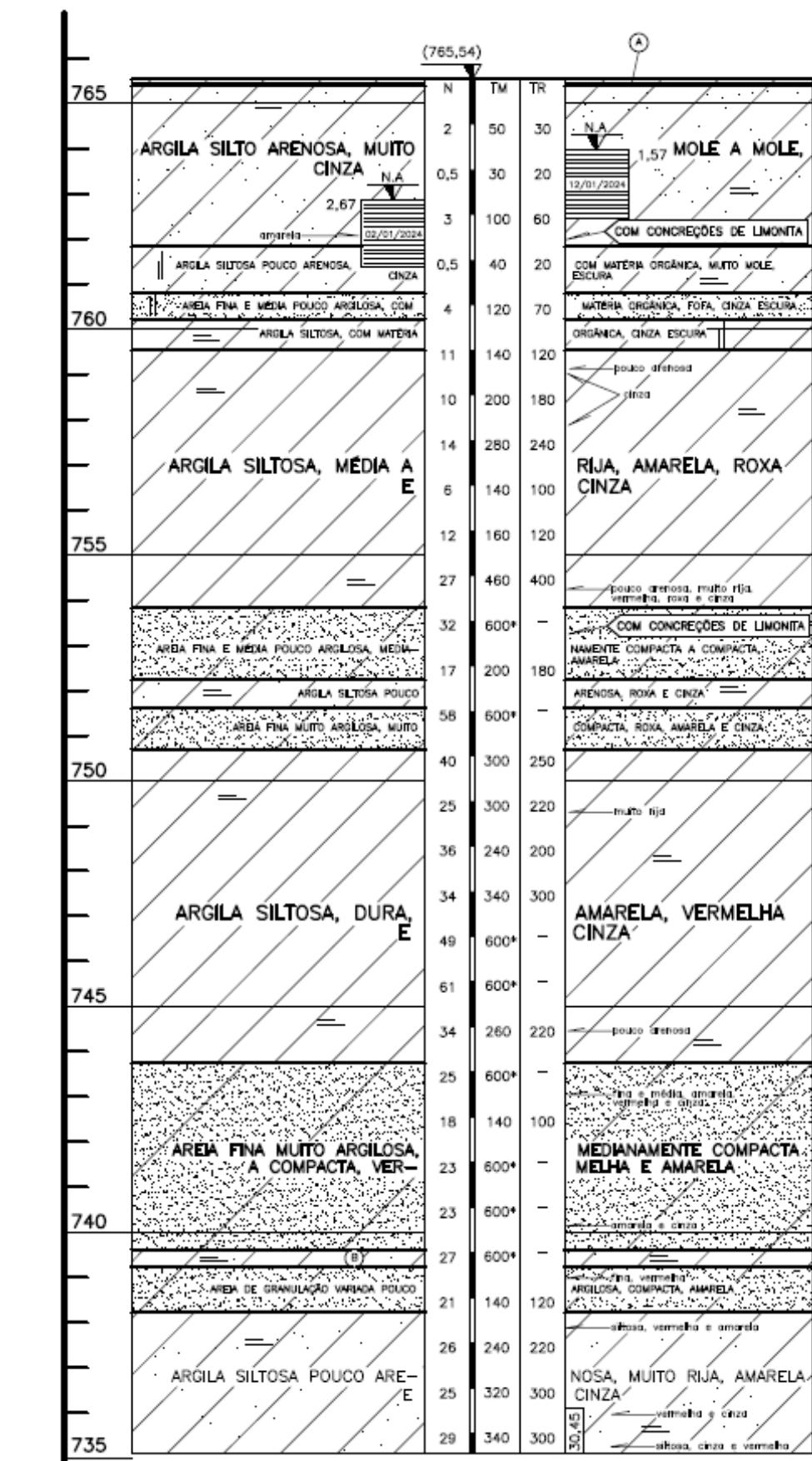


42 estacas raiz  $\varnothing$  410 mm, de 27,60 m a 30 m, sendo 10 m em rocha, com armadura + barras Rocsolo.

# SONDAGEM E LOCAÇÃO

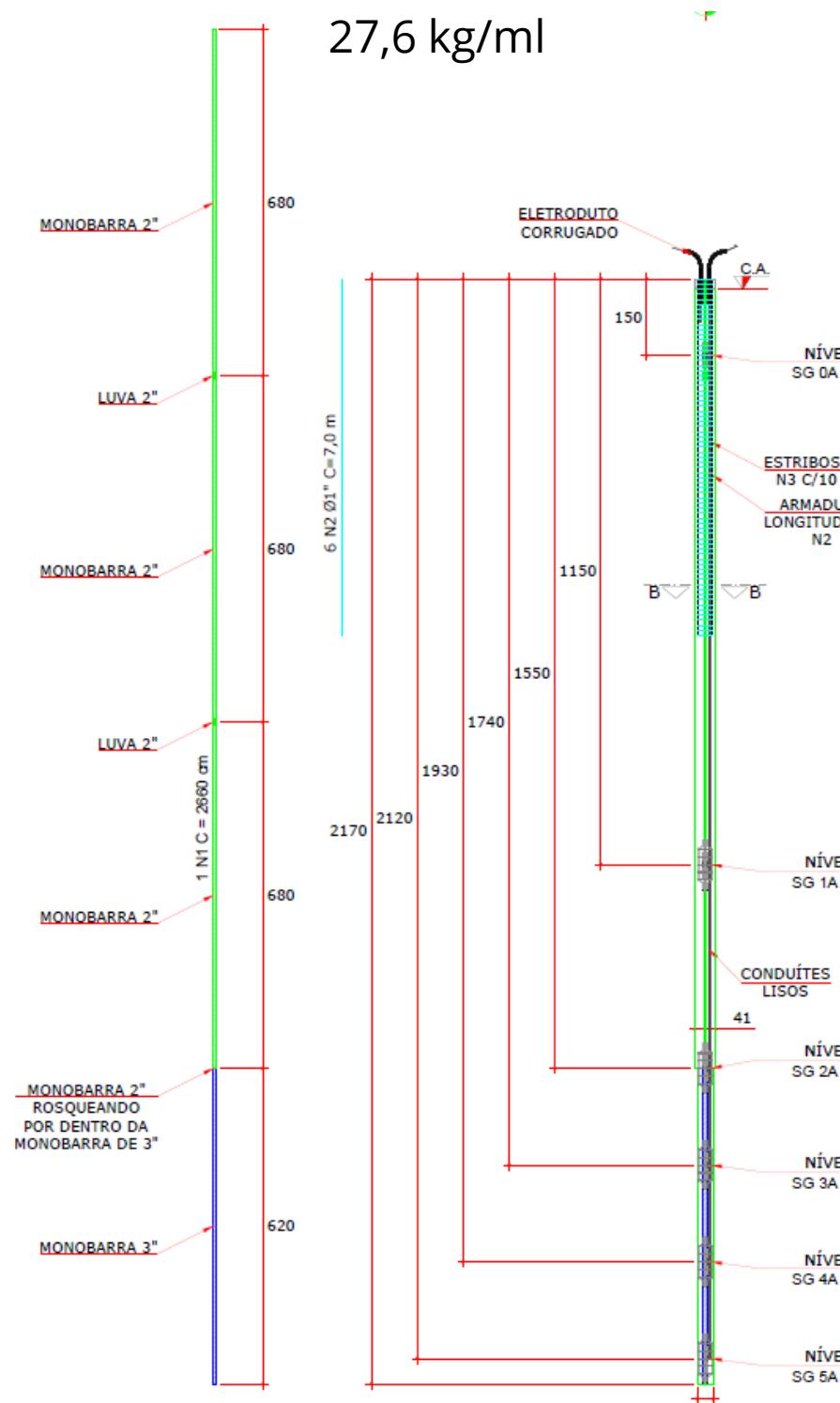


Neste experimento, o trecho mais resistente (profundidade de 15,50 m a 21,70 m) apresentou NSPT médio = 37.

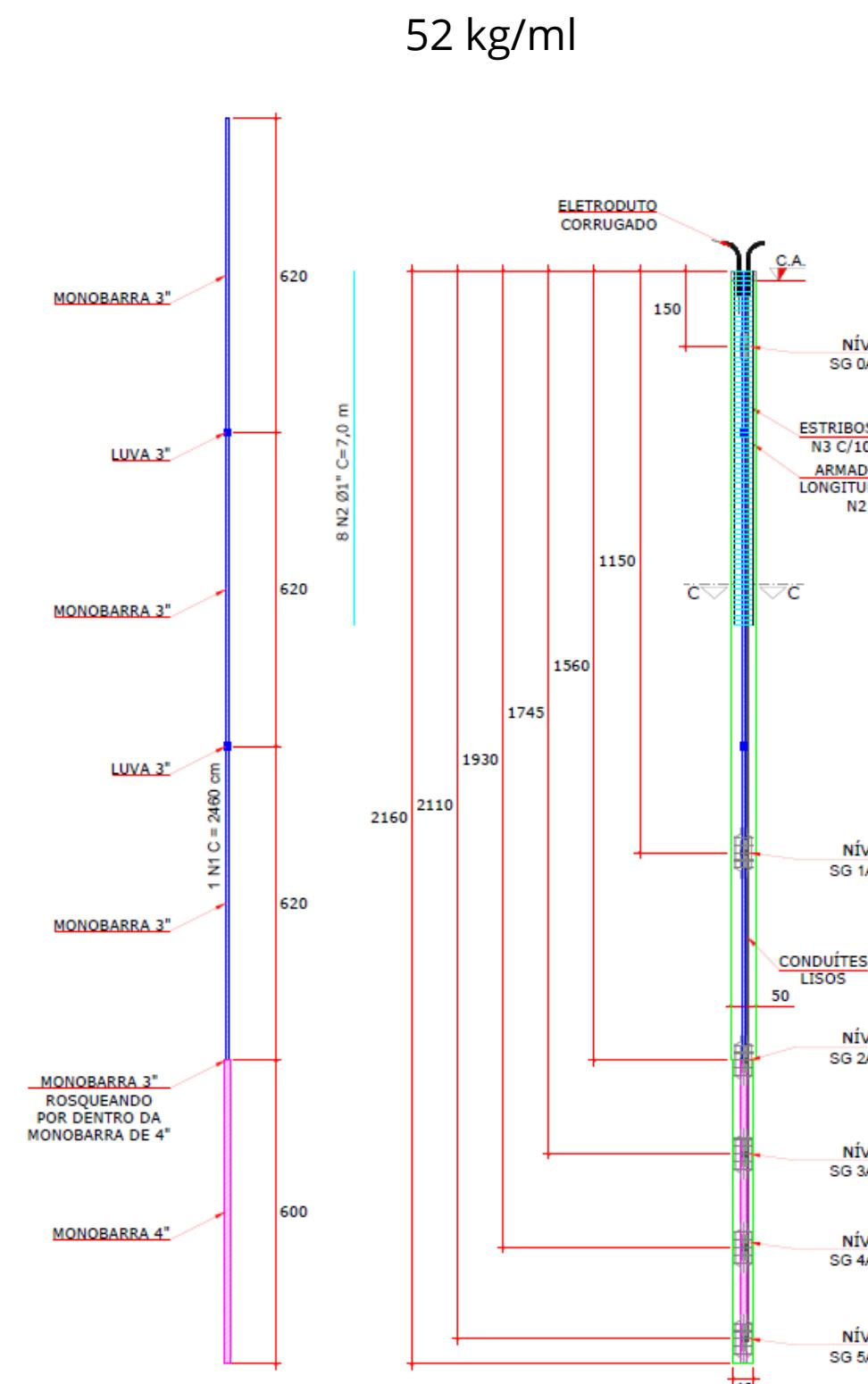


# PROJETO

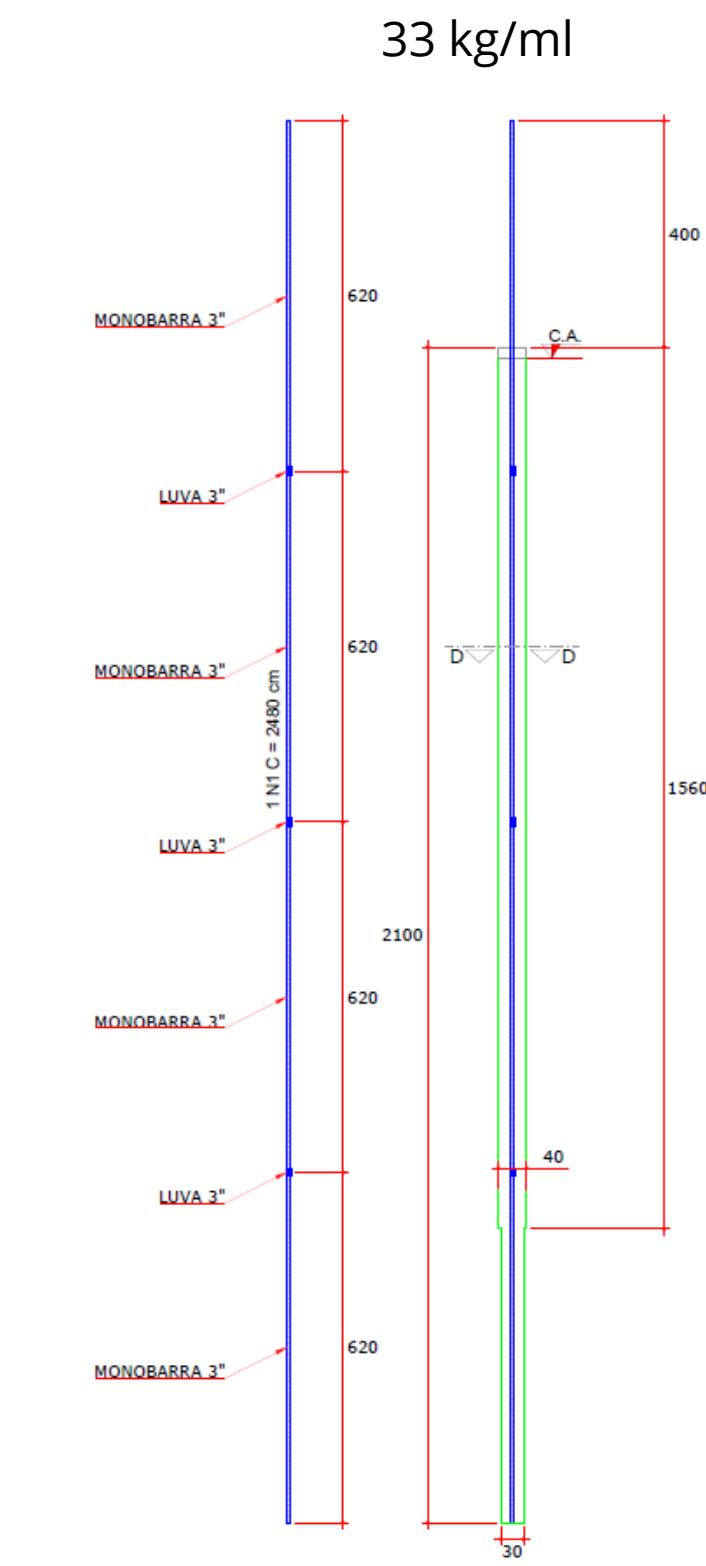
## DETALHE 1 - ESTACA DE TESTE



## DETALHE 2 - ESTACA DE TESTE



## DETALHE 3 - ESTACAS DE REAÇÃO



# 1) PERFURAÇÃO ROTATIVA COM REVESTIMENTOS



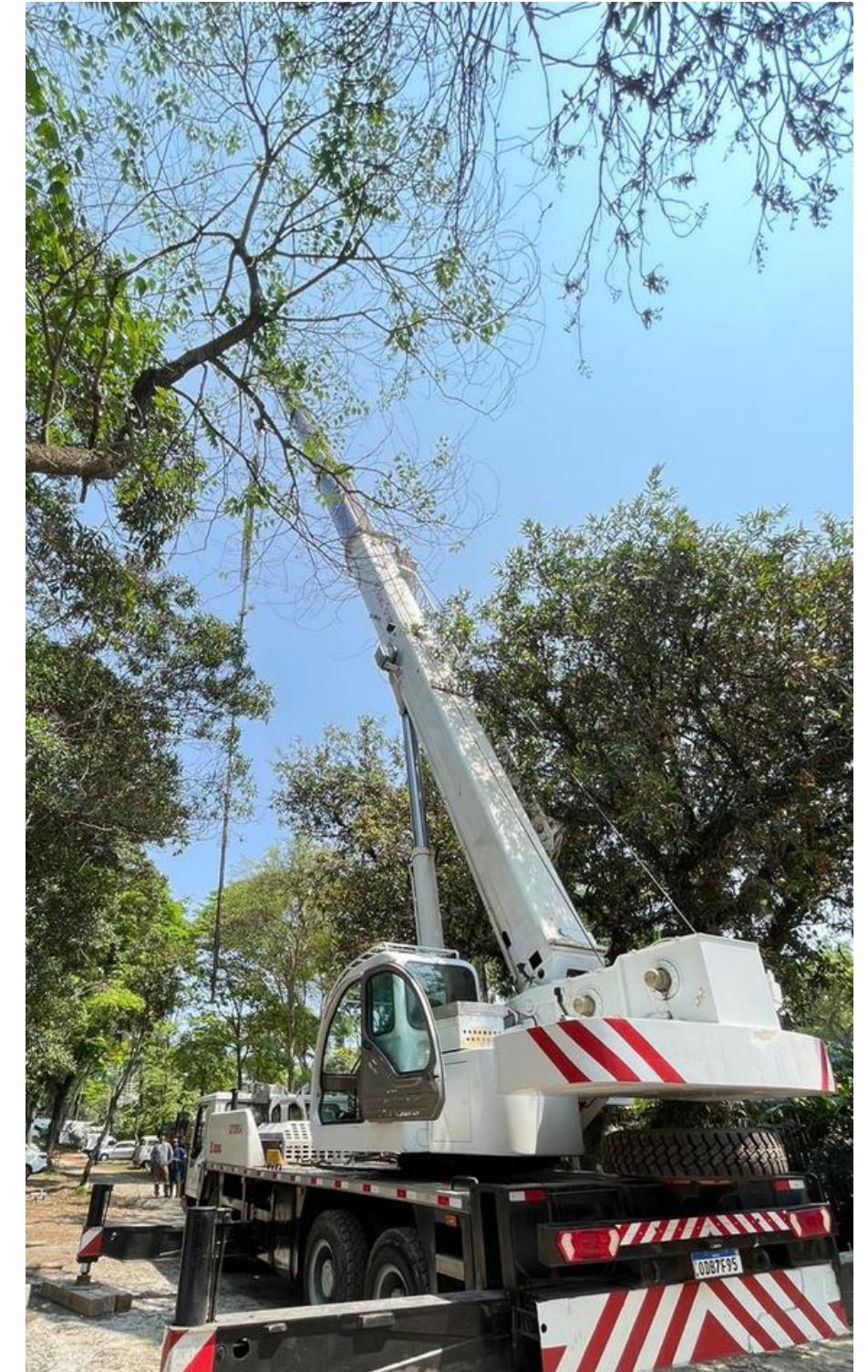
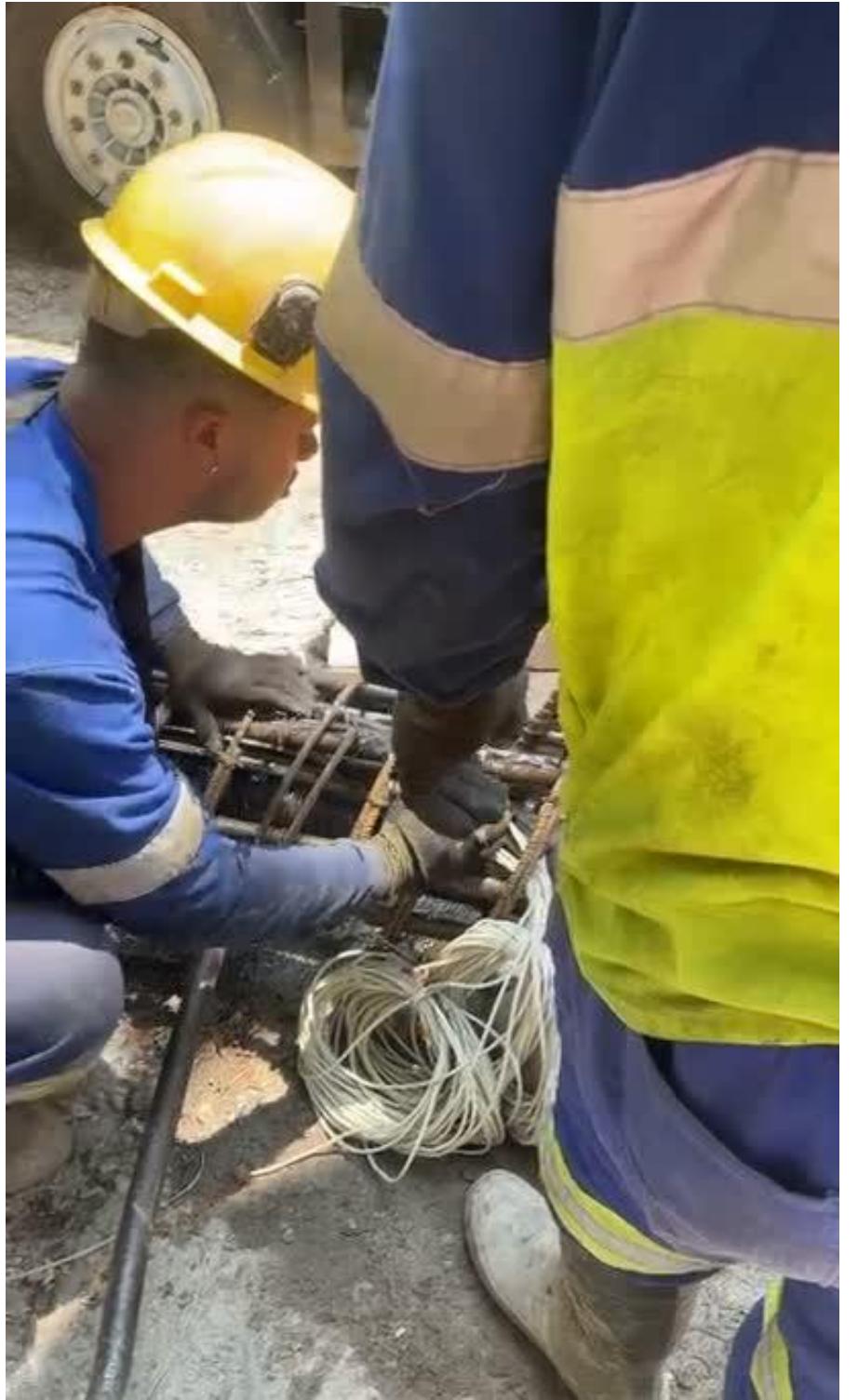
## 2) PERFURAÇÃO ROTATIVA COM TRICONE



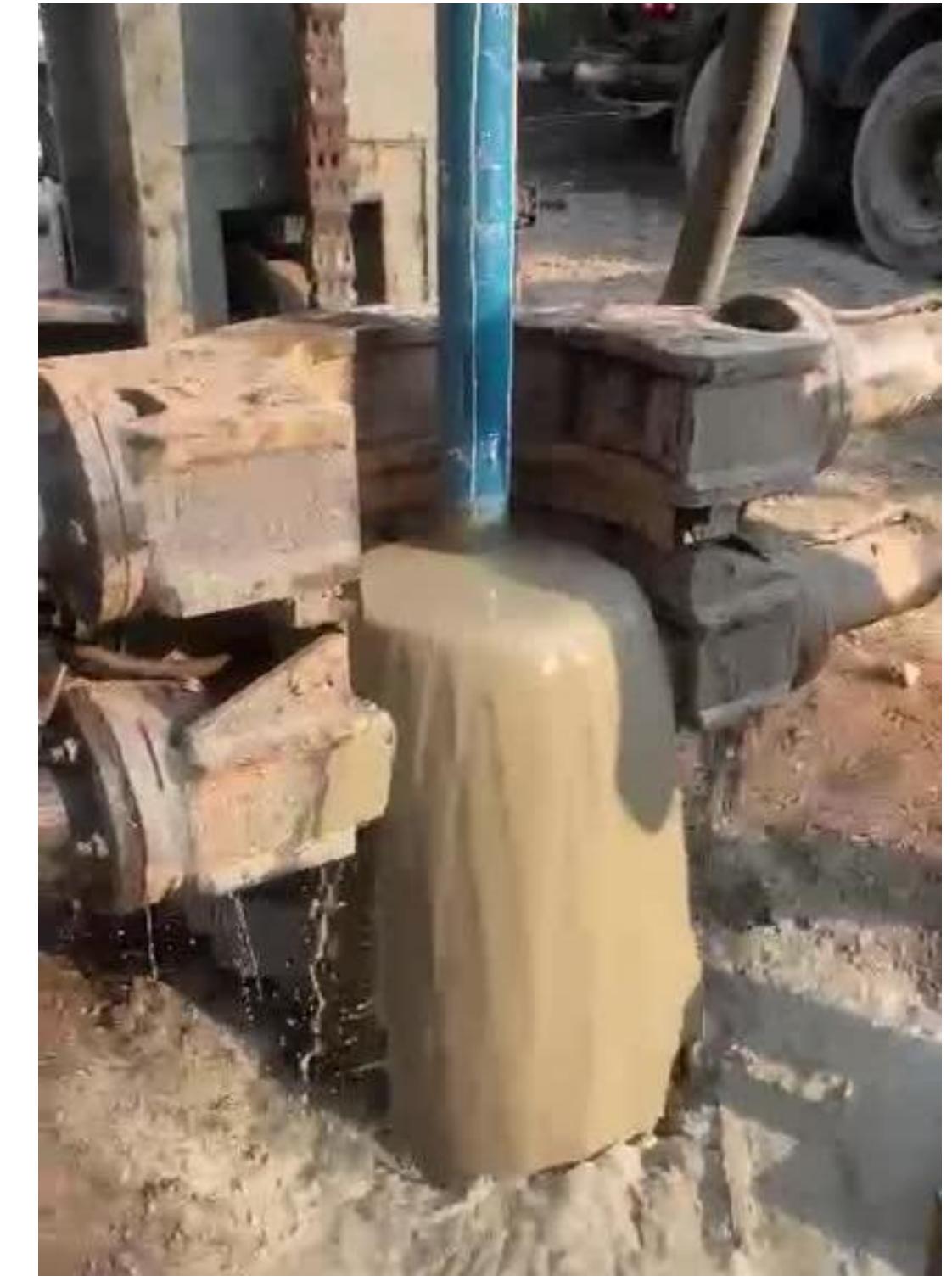
### 3) INSTALAÇÃO DA MANOBRA DE INJEÇÃO E LIMPEZA DO FURO



## 4) INSTALAÇÃO DA ARMADURA DA ESTACA



## 5) INJEÇÃO ASCENCIONAL DA ARGAMASSA USINADA $FCK \geq 50MPa$



## 6) REMOÇÃO DOS REVESTIMENTOS E APLICAÇÃO DE AR COMPRIMIDO.



## 7) COMPLEMENTO DA ARGAMASSA E ESTACA FINALIZADA.



# BOLETIM TÉCNICO- ESTACAS DE TESTE

 <b>Fundso</b>		BOLETIM DE ESTACA RAIZ DE TESTE				
Cliente:	INSTITUTO DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO			Endereço:	Av. Dr. Dante Pazzanese, 120 - Vila Mariana, São Paulo	
Obra:	PROVA DE CARGA INSTITUTO DE ENGENHARIA			Operador:	KEWIN	
Estaca:	ET 01			Inclinação:	Vertical	
<b>PERFURAÇÃO</b>						
Data	PerfurAÇÃO	Sistema de	PerfurAÇÃO	Material		
	Φ [mm]	PerfurAÇÃO	De (m)		A (m)	
19/09/24	400	Rotativa (Revestimento)	0,00	15,50	SOLO	
19/09/24	310	Rotativa (Tricone)	15,50	21,70	ARGILA SILTOSA DURA (MATERIAL DE ALTA CONSISTÊNCIA)	
Comprimento Total da Estaca: 21,70						
<b>ARMADURA - CARREGAMENTOS</b>						
Armadura Longitudinal Rocsolo:	Rocsolo de Ø2 " até 15,50m e de Ø3" de 15,50m até 21,70m. Obs: A conexão entre as barras Rocsolo de Ø2" e Ø3" coincide com a transição diâmetro da perfuração (de Ø400mm para Ø310mm).					
Armadura Longitudinal convencional:	7 m	6 barras x Ø25mm	Carga à compressão:	-		
Estríbos:	10mm a cada 10cm		Carga à tração:	-		
<b>INJEÇÃO DE ARGAMASSA USINADA FCK 50 Mpa</b>						
Data	Prof. do	Pressão Bomba	Pressão do ar	Volume	Ø tubo de	Injeção de argamassa ascensional com aplicação de golpes de ar comprimido e concomitante a retirada dos tubos de revestimento.
	Tubo (m)	(Mpa)	(Mpa)	Injetado (m³)	[mm]	
23/09/24	21,70	0,2	0,4	3,50	75	
Total de m³ injetados: 3,50 Volume real (Litros): 3.500,00						
Volume total teórico (l):	$\frac{\pi \times \Phi^2 \times L}{4} \times \frac{1}{1000}$ (Ø e L em cm)	= 2726,91	EQUIPAMENTOS			
Percentual de aqréscimo:	$\frac{V_{real} - V_{teórico}}{V_{teórico}} \times 100$	= 28,35%	Perfuratriz: MK - 1500M			
Diâmetro real da estaca (cm):	$\sqrt{\frac{4 \times V_{real}}{\pi \times L}}$	= 45,32	Bomba de injeção: FORNECIMENTO ENGEMIX			
OBS: A Argamassa usinada é fornecida pela Engemix com Fck 50 ≥ Mpa						
Fundsolo Serv. Geot. Fundações Ltda.				INSTITUTO DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO		

 <b>Fundso</b>		BOLETIM DE ESTACA RAIZ DE TESTE				
Cliente:	INSTITUTO DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO			Endereço:	Av. Dr. Dante Pazzanese, 120 - Vila Mariana, São Paulo	
Obra:	PROVA DE CARGA INSTITUTO DE ENGENHARIA			Operador:	KEWIN	
Estaca:	ET 02			Inclinação:	Vertical	
<b>PERFURAÇÃO</b>						
Data	PerfurAÇÃO	Sistema de	PerfurAÇÃO	Material		
	Φ [mm]	PerfurAÇÃO	De (m)		A (m)	
04/10/24	500	Rotativa (Revestimento)	0,00	15,60	SOLO	
04/10/24	400	Rotativa (Tricone)	15,60	21,60	ARGILA SILTOSA DURA (MATERIAL DE ALTA CONSISTÊNCIA)	
Comprimento Total da Estaca: 21,60						
<b>ARMADURA - CARREGAMENTOS</b>						
Armadura Longitudinal Rocsolo:	Rocsolo de Ø23 " até 15,60m e de Ø4" de 15,60m até 21,60m. Obs: A conexão entre as barras Rocsolo de Ø3" e Ø4" coincide com a transição diâmetro da perfuração (de Ø500mm para Ø400mm).					
Armadura Longitudinal convencional:	7 m	8 barras x Ø25mm	Carga à compressão:	-		
Estríbos:	10mm a cada 10cm		Carga à tração:	-		
<b>INJEÇÃO DE ARGAMASSA USINADA FCK 50 Mpa</b>						
Data	Prof. do	Pressão Bomba	Pressão do ar	Volume	Ø tubo de	Injeção de argamassa ascensional com aplicação de golpes de ar comprimido e concomitante a retirada dos tubos de revestimento.
	Tubo (m)	(Mpa)	(Mpa)	Injetado (m³)	[mm]	
07/10/24	21,60	0,2	0,5	4,50	75	
Total de m³ injetados: 4,50 Volume real (Litros): 4.500,00						
Volume total teórico (l):	$\frac{\pi \times \Phi^2 \times L}{4} \times \frac{1}{1000}$ (Ø e L em cm)	= 2714,34	EQUIPAMENTOS			
Percentual de aqréscimo:	$\frac{V_{real} - V_{teórico}}{V_{teórico}} \times 100$	= 65,79%	Perfuratriz: MC-180			
Diâmetro real da estaca (cm):	$\sqrt{\frac{4 \times V_{real}}{\pi \times L}}$	= 51,50	Bomba de injeção: FORNECIMENTO ENGEMIX			
OBS: A Argamassa usinada é fornecida pela Engemix com Fck 50 ≥ Mpa						
Fundsolo Serv. Geot. Fundações Ltda.				INSTITUTO DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO		

# PROVA DE CARGA ESTÁTICA E EXCENTRICIDADES



Interação bloco-estaca Ø500mm.



Estacas escavadas após a PCE.



**Fund solo**

**Serviços Geotécnicos:**

Sondagens Rotativas  
Perfilagem Ótica

**Estabilidade de Taludes:**

Tirantes de barra, fios e cordoalhas  
Chumbadores  
Solo Grampeado  
Drenos Sub-Horizontais  
Cortinas Atirantadas  
Concreto Projetado

**Fundações:**

Estacas Raiz  
Reforço de Fundação

**Rebaixamento de Lençol Freático:**

Ponteiras Filtrantes  
Injetores  
Bomba Submersas

**Tratamento de Maciços:**

Injeções de Consolidação  
Tratamento de Túneis  
Jet Grouting

# Revitalização da Estação da Luz

## Construtora Andrade Gutierrez - CPTM - 2003

- Execução de 314 unidades de Estacas Raiz Ø 500mm, inéditas em obra deste perfil, com até 28,00 m de profundidade, totalmente revestidas, perfazendo 4.803,95 metros;



Lançamento da Estaca Raiz Ø500mm  
utilizando tubo de revestimento com Ø18"  
(diâmetro nominal 457mm)



Atestamos para devidos fins, que a FUNDSOLO SERVIÇOS GEOTÉCNICOS E FUNDAÇÕES LTDA., executou para esta empresa, serviços de Fundação e Geotecnia na obra de Restauro e Obras Brutas Complementares da Estação da Luz, dentro do Projeto Integração Centro, da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) e do Metrô, na cidade de São Paulo - SP, no período de Ago/2003 até Maio/2004. Atestamos, também, que os serviços foram executados dentro dos padrões estabelecidos para este tipo de serviço.

### SERVIÇOS PRESTADOS

- Execução de 314 unidades de Estacas Raiz Ø 500mm, inéditas em obra deste perfil, com até 28,00 m de profundidade, totalmente revestidas, perfazendo 4.803,95 metros;
- Execução de 193 unidades de Estacas Raiz Ø 410mm, com até 29,00 m de profundidade, totalmente revestidas, verticais e inclinadas, perfazendo 3.284,75 metros;
- Execução de 13 unidades de Estacas Raiz Ø 310mm, com até 20,00 m de profundidade, totalmente revestidas, perfazendo 204,00 metros;
- Execução de 30 unidades de Estacas Raiz Ø 200mm, com até 19,00 m de profundidade, totalmente revestidas, perfazendo 406,80 metros;
- Execução de 136,60 metros cúbicos de Concreto Projetado;
- Execução de 665,00 metros de Tirante para carga de trabalho de até 30tf.;
- Execução de 385,00 metros de Chumbador de aço CA-50, com tubo mancheteado para tratamento com calda de cimento;
- Execução de 86,40 metros de Enfilagem Tubular Injetada, Ø 8", perfuração à seco com utilização de trados do tipo Hélice e injeção com obturadores especiais de Ø 200 mm ;
- Execução de 117,70 metros de Pré-Furo com Injeção, Ø 700mm.

Os serviços, na sua maioria, foram executados em áreas limitadas, de difícil acesso, com pé direito restrito (de 2,80 a 4,00 m), o que dificultou bastante a movimentação e instalação dos equipamentos, bem como a introdução da armadura no interior dos tubos para concretagem.

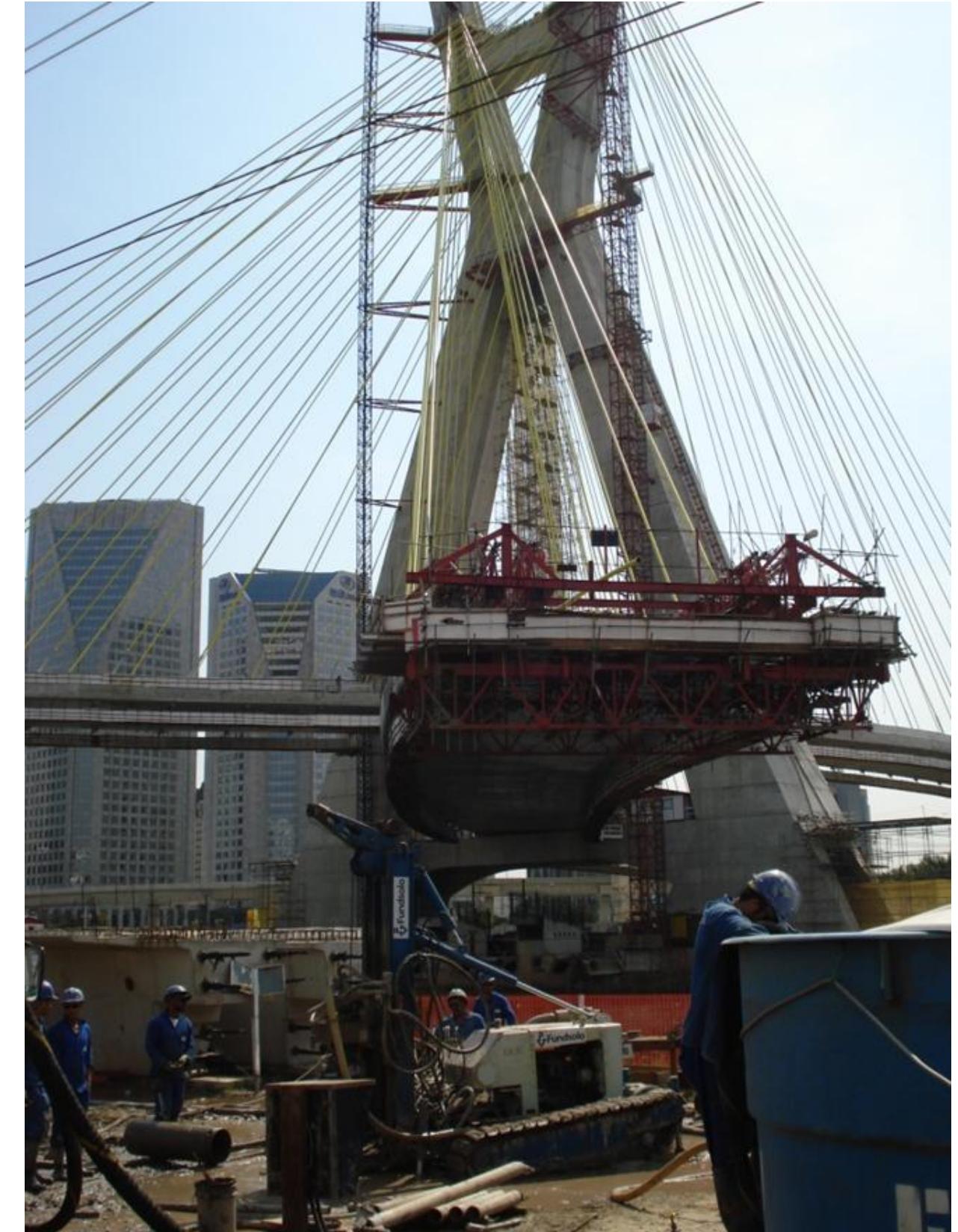
Marcos Aparecido Tonchis  
Gerente de Obras  
Consórcio Nova Luz  
Tel. /Fax 3326-0733



# Ponte Octávio Frias de Oliveira 2007 - Consórcio Mendes Júnior OAS



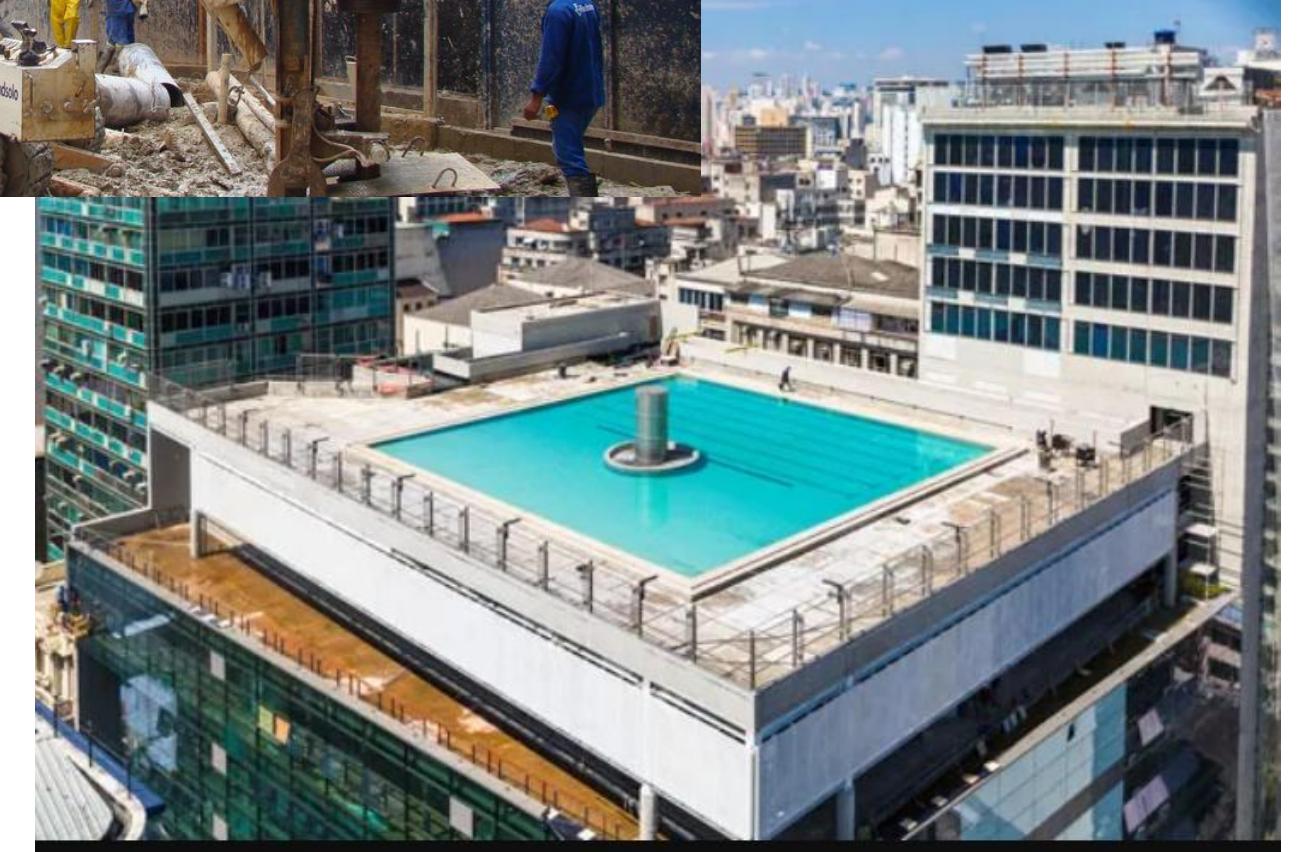
Estacas Raiz Ø410mm até 22m com telescopagem de Ø500mm para transpassar blocos de rocha granítica.



# Estação Butantã, MetrôSP – 2006, Consórcio Via Amarela

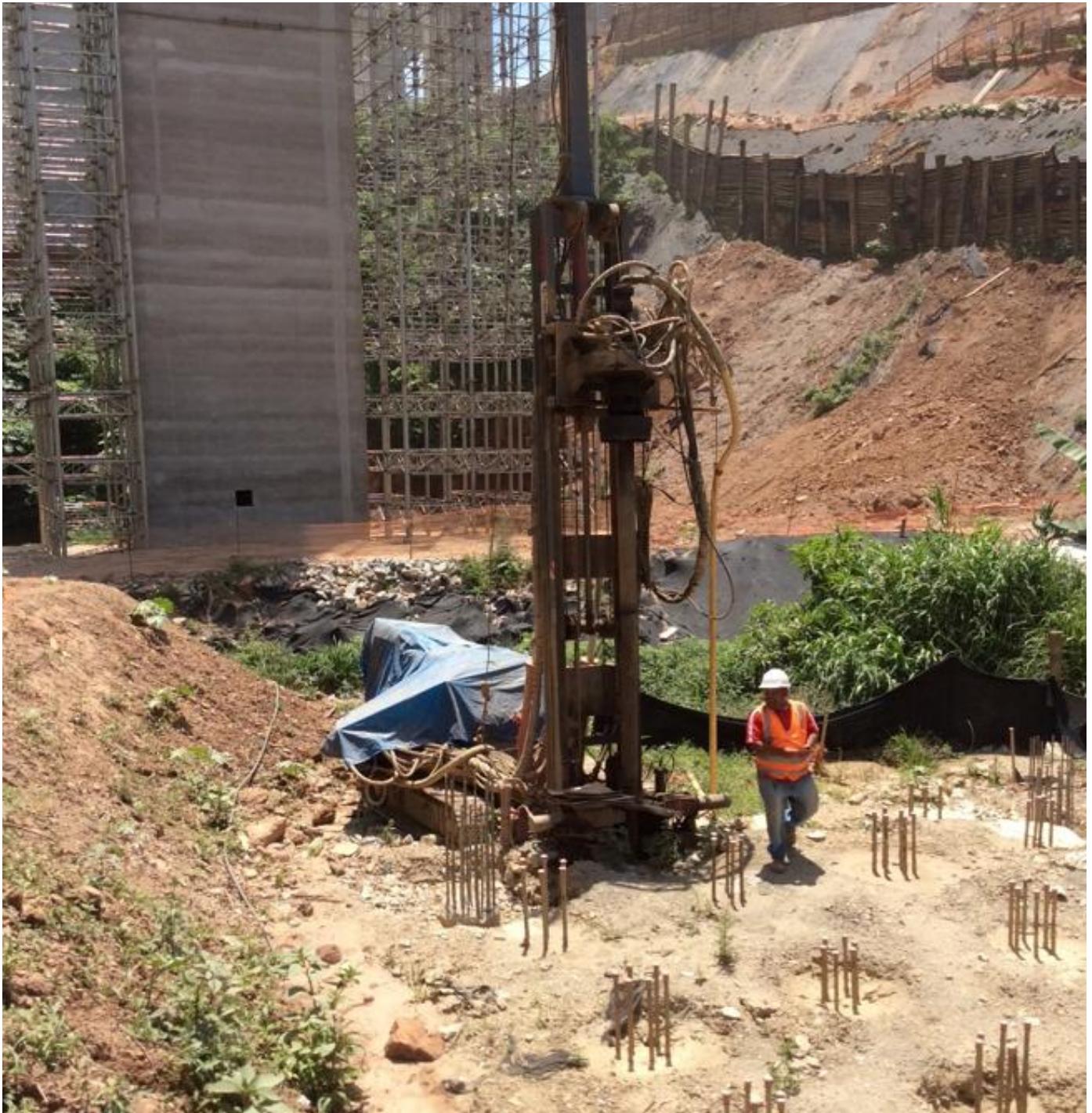


Estacas raiz de  $\varnothing$  500 mm (revestimento  $\varnothing$  18") como contenção, substituindo parede diafragma.



Estacas raiz Ø 500 mm, com até 42 m, utilizadas como contenção e fundação, com carga de trabalho de 230 tf.

# Rodoanel Norte- 2017, Construtora Tardelli



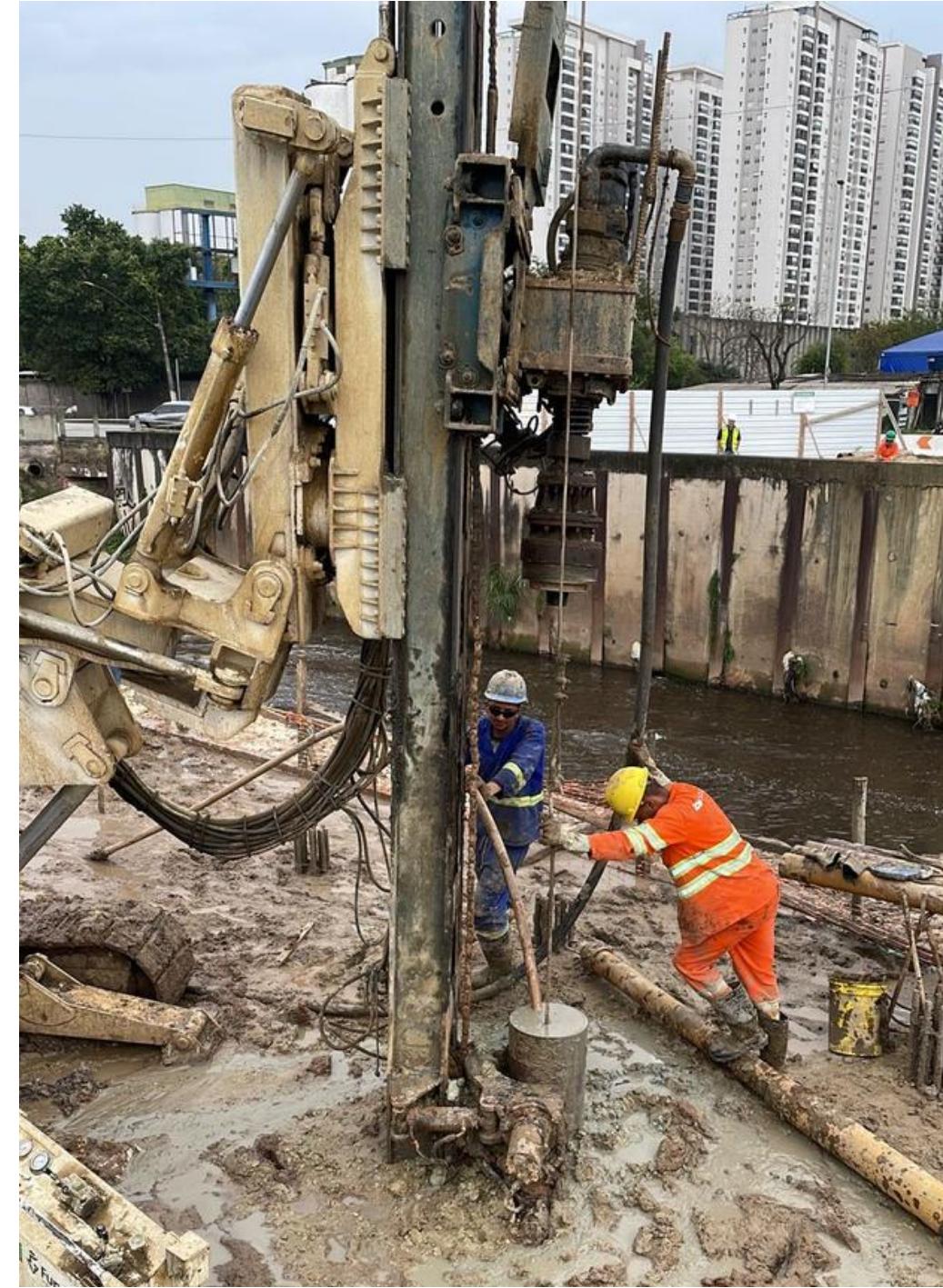
Estacas raiz Ø 500 mm, com até 27 m. Introdução da perfuração totalmente a seco, com ar comprimido.

# Rodovia Castelo Branco - 2024, CCR/ECB



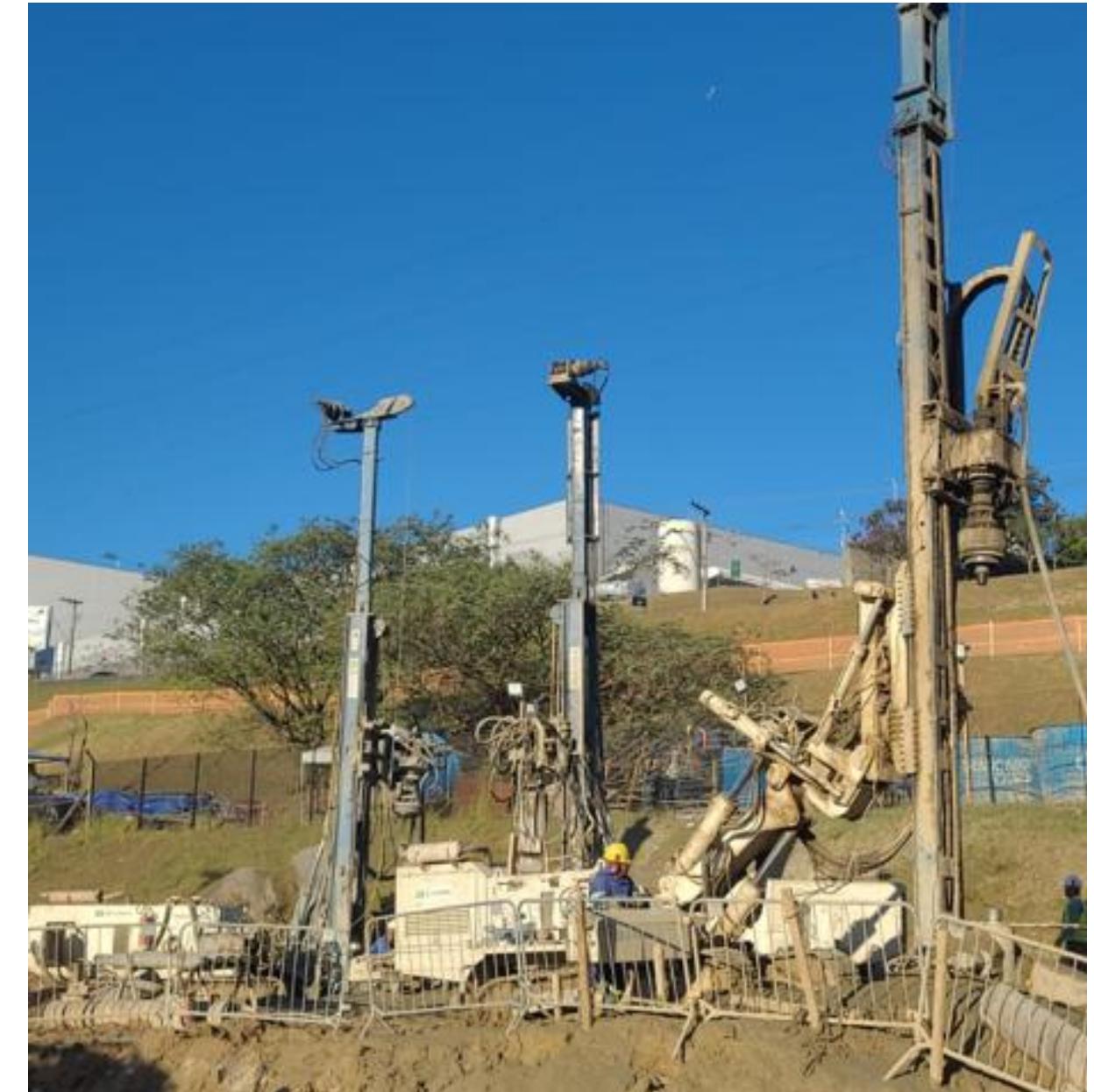
Estacas raiz de Ø 410 mm e Ø 500 mm, com carga de trabalho de 110 tf a 170 tf.

# Viaduto Santa Teresinha- 2024, Consorcio Santa Teresinha



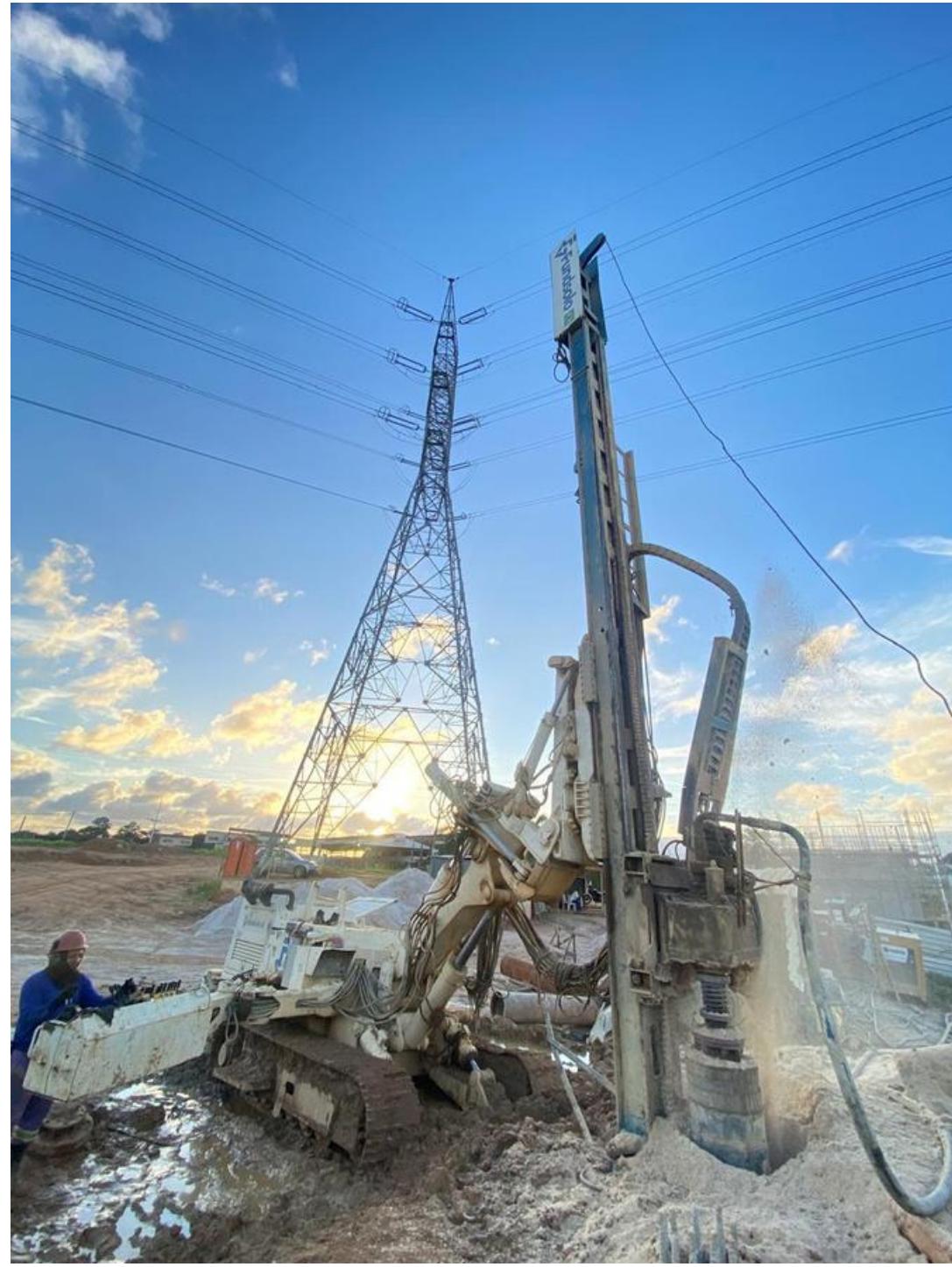
Estacas raiz de Ø 410 mm e Ø 500 mm, de até 25 m, com cargas de trabalho de 115 tf e 180 tf, respectivamente.

# Scala Data Centers - 2023, RS Construções.



Estacas raiz de  $\varnothing$  450 mm, com profundidade de até 18,50 m, sendo 10,0 m em rocha.  
Foi utilizado o sistema de telescopagem.

# VLT Salvador - 2025, Consorcio VLT



Estacas raiz  $\varnothing$  500 mm, com profundidade de até 27 m e carga de trabalho de 180 tf.



OBRIGADO!