

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



EXECUÇÃO DE ESTACAS RAIZ $\varnothing 400\text{mm}$ e $\varnothing 500\text{mm}$

ENG. CIVIL: MÁRCIO DOS SANTOS
FUNDADOR E CEO – FUNDSOLO



ESTACA RAIZ

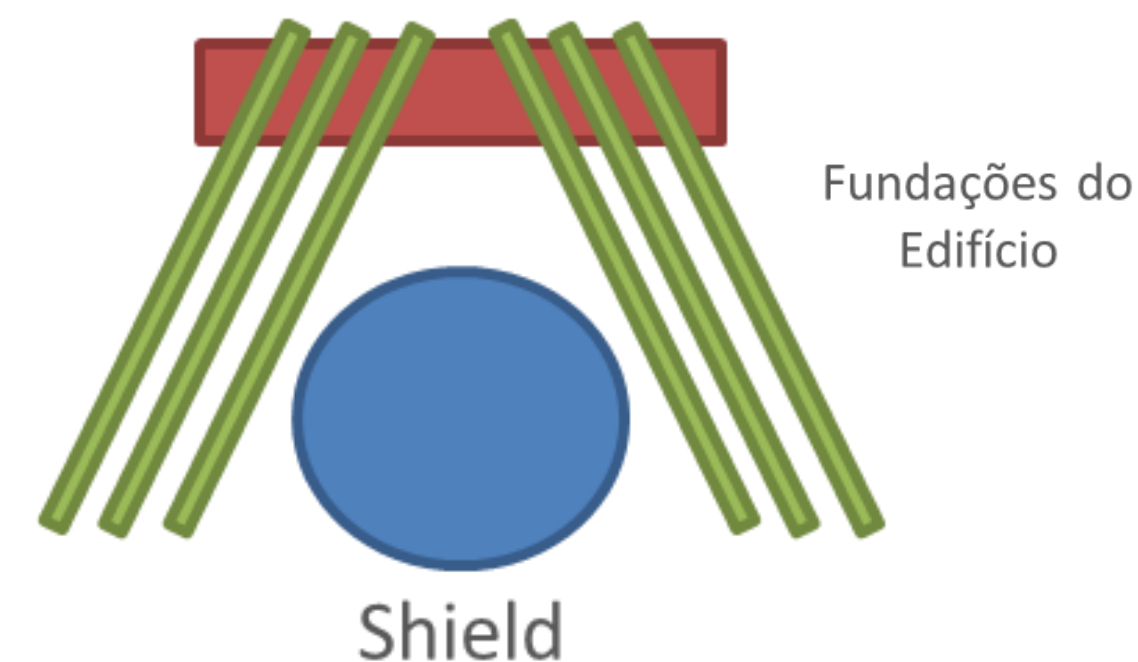
- A estaca raiz, criada pelo Eng. Fernando Lizzi na década de 50, com diâmetros de até 8", era conhecida como microestaca e, posteriormente, como pali radice.
- Inicialmente, era utilizada para reforçar fundações existentes em obras de restauração de monumentos e edifícios danificados.



Fernando Lizzi, 1914-2003

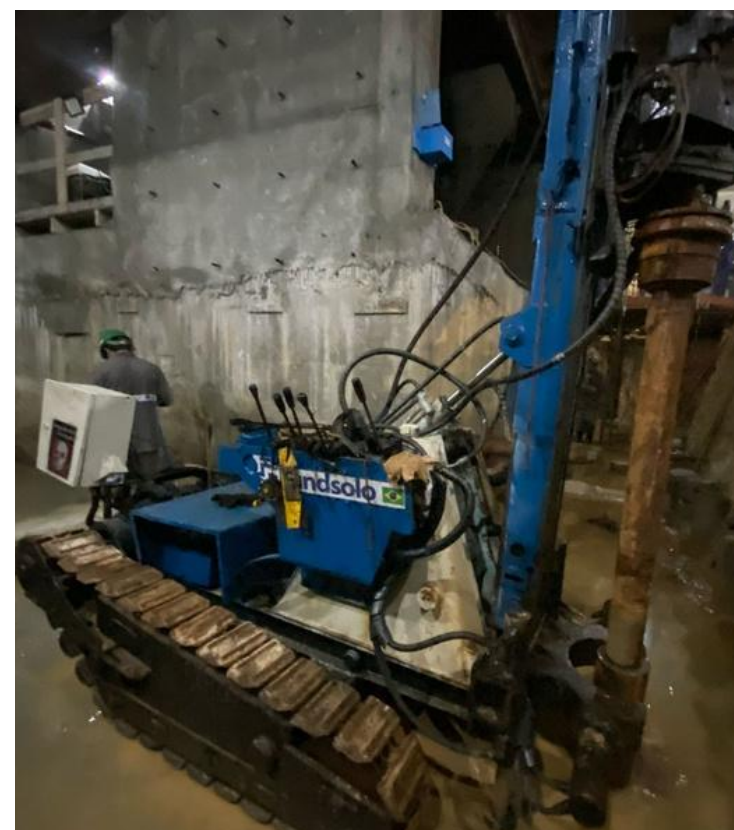
• PALACETE RIACHUELO – 1977 – LINHA 3 VERMELHA, METRÔ SP

- 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

INJEÇÃO DE ARGAMASSA
ASCENCIONAL

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

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	Ø 6,3x20	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 IESP



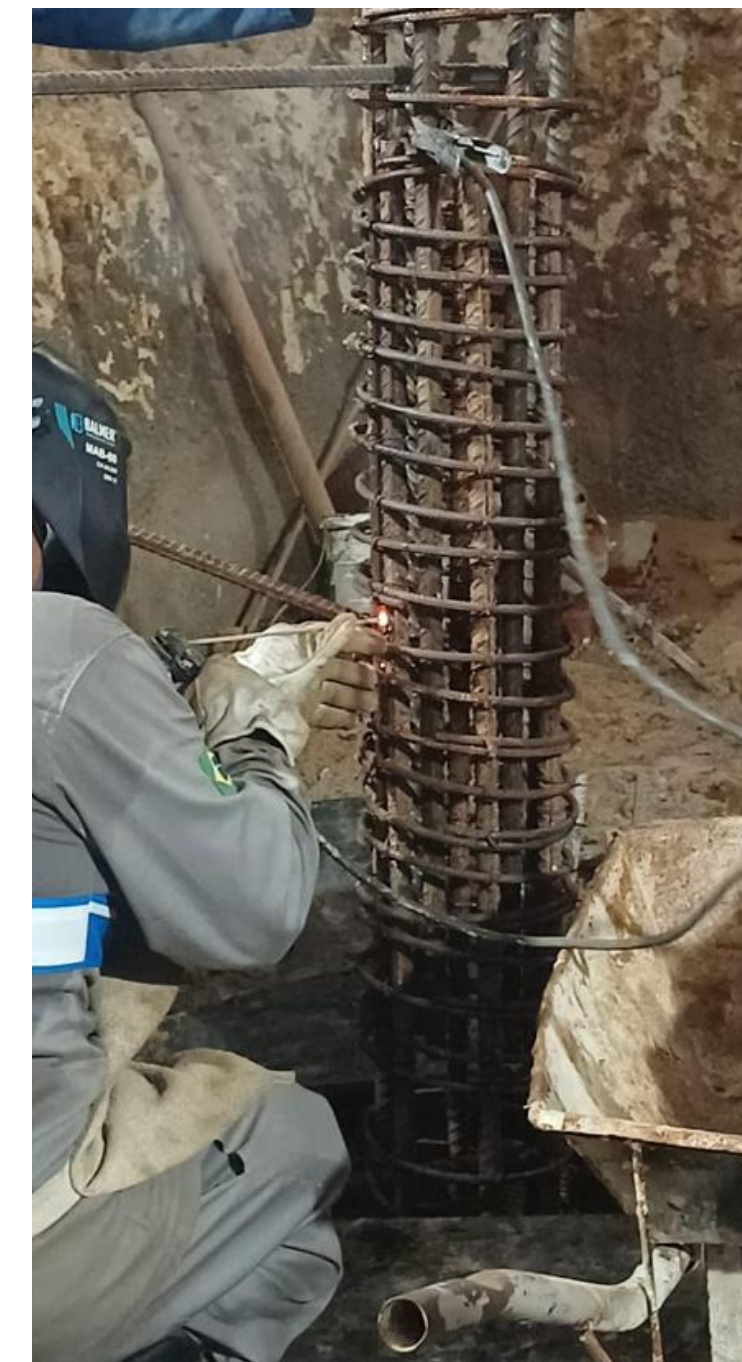
Para este experimento científico com estacas raiz, foram introduzidas as seguintes modificações em relação à metodologia tradicional: utilização de argamassa com fck 50 MPa e armadura especial, composta por barras Rocsolo, que apresentaram resultados excelentes em dois empreendimentos recentes, executados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

MANSÃO WILDBERGER – 2014, SALVADOR-BA



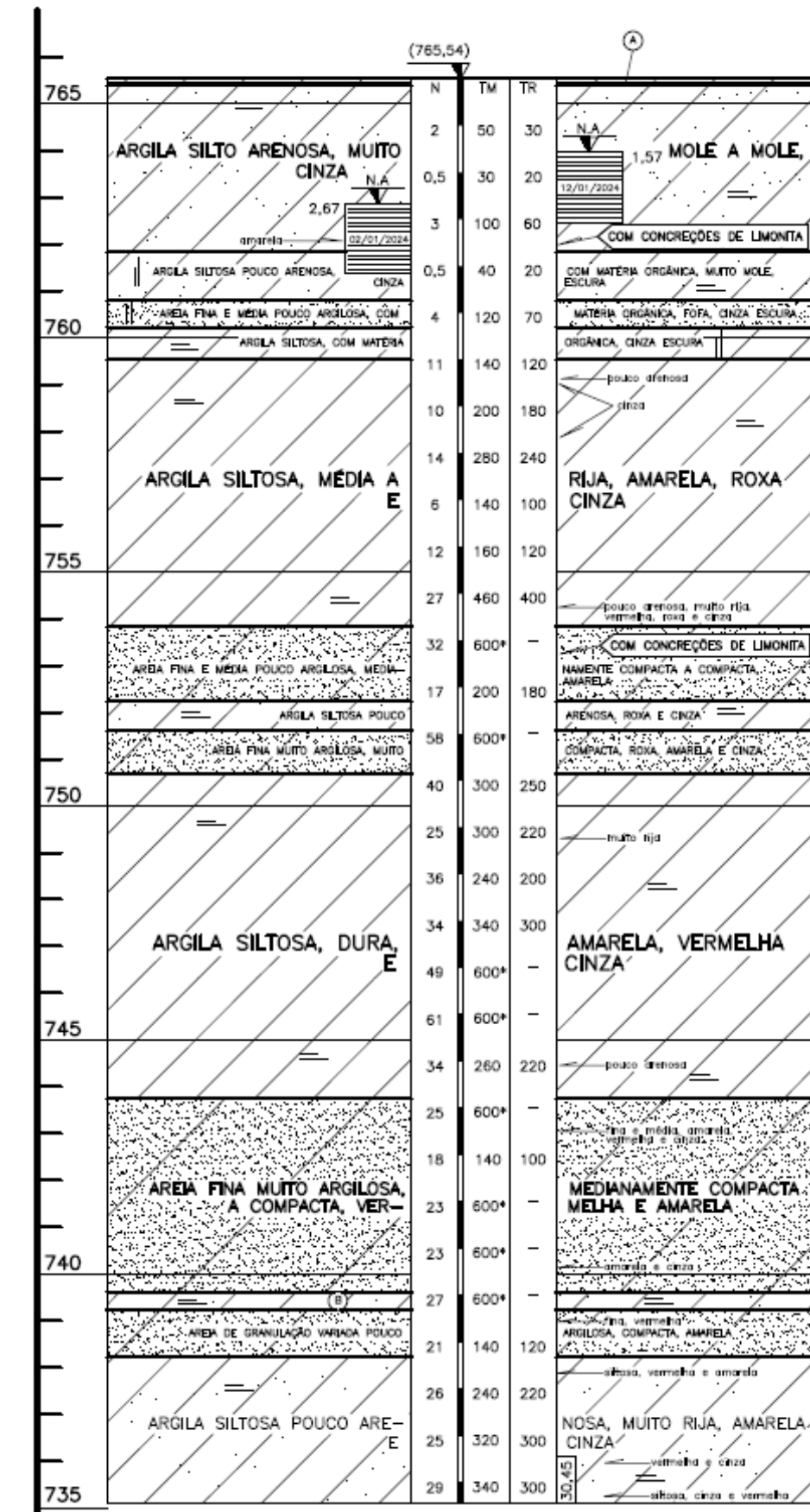
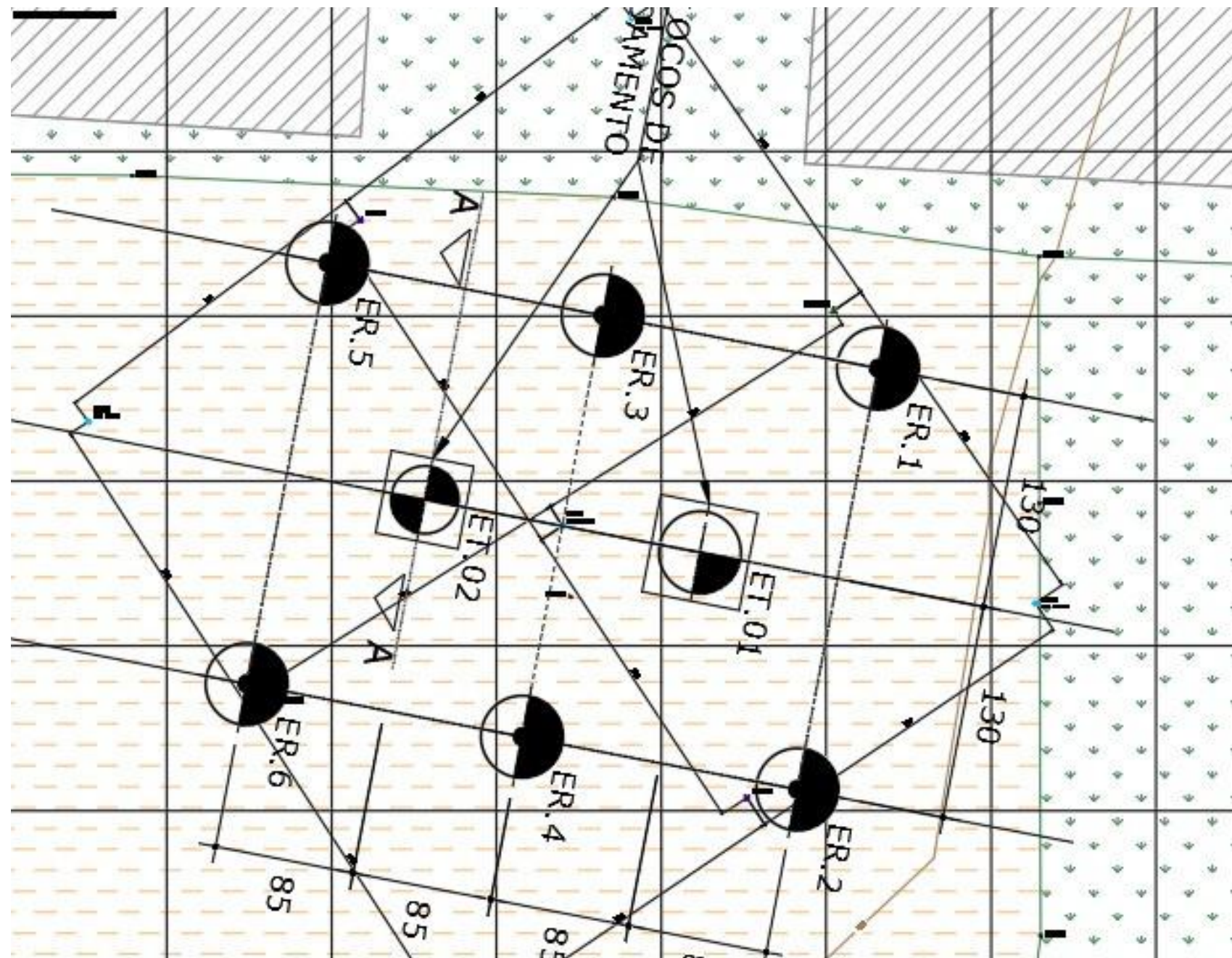
Estacas de $\varnothing 5"$ para reforço de tubulão, com $L = 22$ m, sendo 6 m em rocha e com armadura de barra Rocsolo de $\varnothing 2"1/2$. Prova de carga com resultado de 600 tf.

EMPREENDIMENTO DC 360 – 2024, FORTALEZA, CE



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

SONDAGEM E LOCAÇÃO

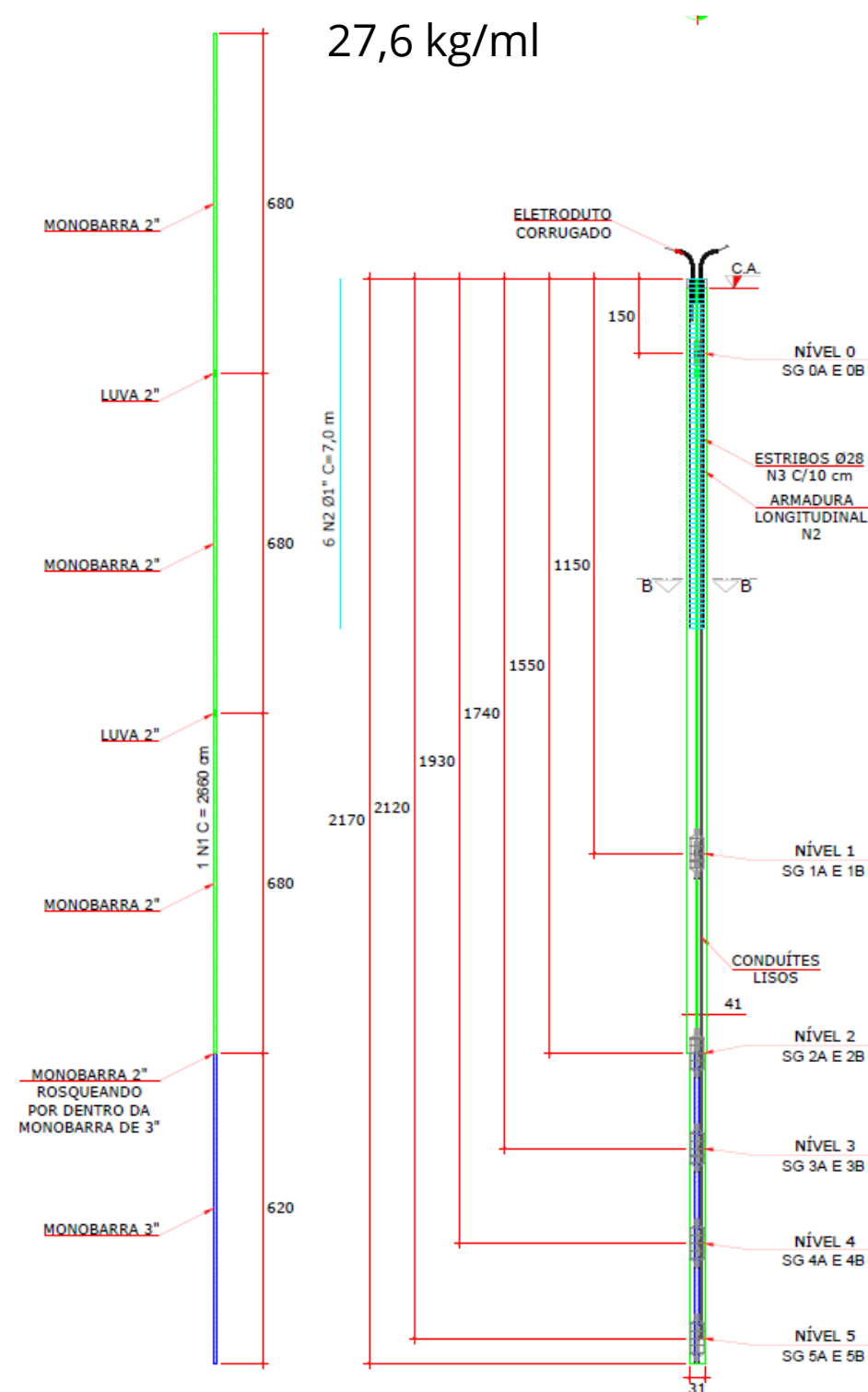


Neste experimento, o trecho mais resistente (profundidade de 15,50 m a 21,70 m) apresentou NSPT médio = 37.

PROJETO

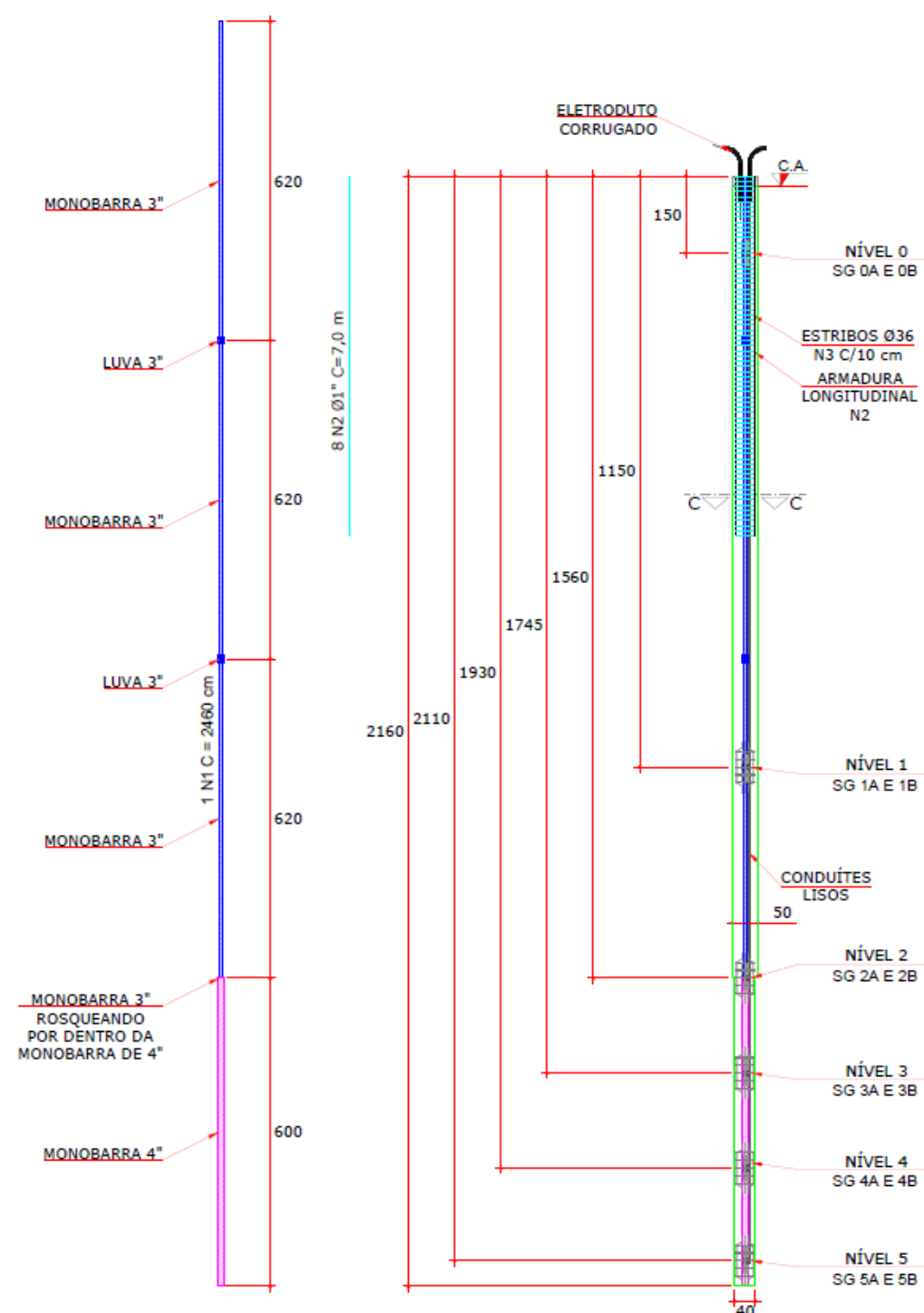
DETALHE 1 - ESTACA DE TESTE 1

27,6 kg/ml



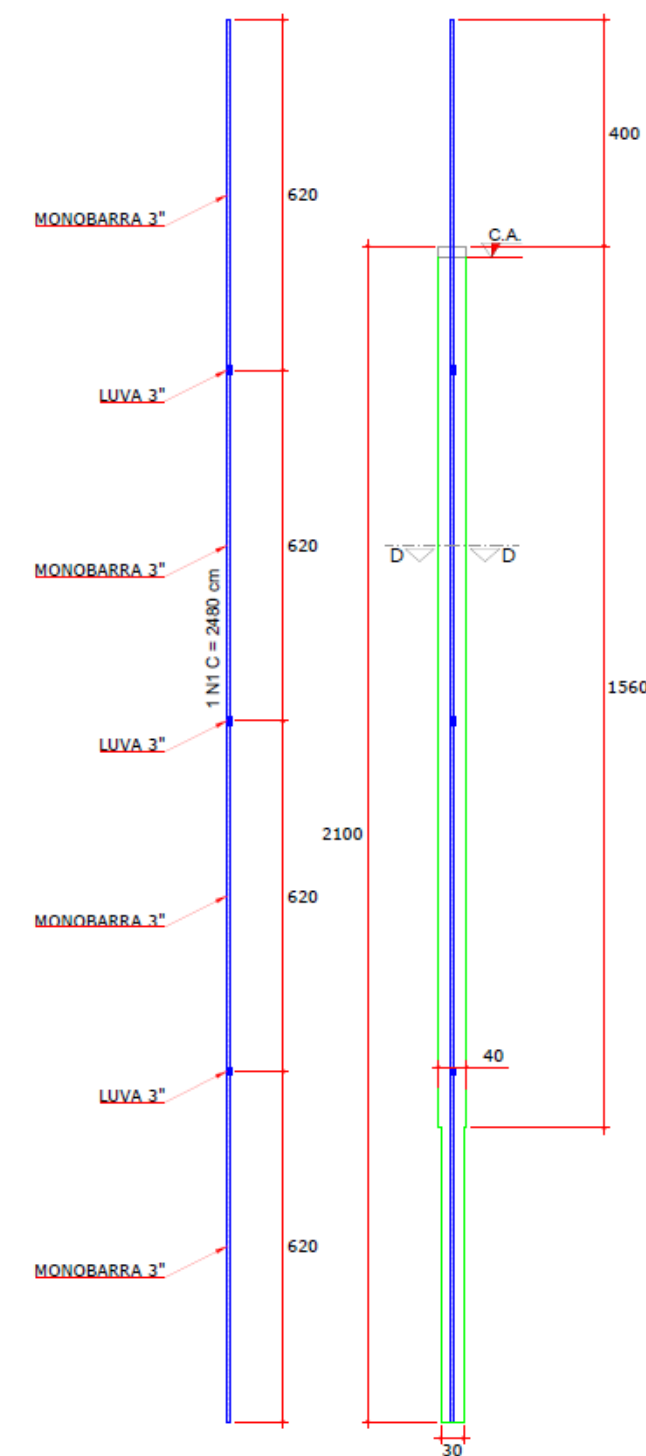
DETALHE 2 - ESTACA DE TESTE 2

52 kg/ml



DETALHE 3 - ESTACAS DE REAÇÃO

33 kg/ml



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 $\geq 50\text{MPa}$




6) REMOÇÃO DOS REVESTIMENTOS E APLICAÇÃO DE AR COMPRIMIDO.




7) COMPLEMENTO DA ARGAMASSA E ESTACA FINALIZADA.



BOLETIM TÉCNICO- ESTACAS DE TESTE

		BOLETIM DE ESTACA RAZ 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	
PERFURAÇÃO					
Data	Perfuração Φ [mm]	Sistema de Perfuração	Perfuração De (m) A (m)		Material
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		
ARMADURA - CARREGAMENTOS					
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:	-	
Estribos:	10mm a cada 10cm		Carga à tração:	-	
INJEÇÃO DE ARGAMASSA USINADA FCK 50 Mpa					
Data	Prof. do Tubo (m)	Pressão Bomba (Mpa)	Pressão do ar (Mpa)	Volume Injetado (m³)	Ø tubo de injeção [mm]
23/09/24	21,70	0,2	0,4	3,50	75
Injeção de argamassa ascensional com aplicação de golpes de ar comprimido e concomitante a retirada dos tubos de revestimento.					
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
Percentual de acréscimo:	$\frac{V_{real} - V_{teórico}}{V_{teórico}} \times 100$		=	28,35%	
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		

		BOLETIM DE ESTACA RAZ 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	
PERFURAÇÃO					
Data	Perfuração Φ [mm]	Sistema de Perfuração	Perfuração De (m) A (m)		Material
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		
ARMADURA - CARREGAMENTOS					
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:	-	
Estribos:	10mm a cada 10cm		Carga à tração:	-	
INJEÇÃO DE ARGAMASSA USINADA FCK 50 Mpa					
Data	Prof. do Tubo (m)	Pressão Bomba (Mpa)	Pressão do ar (Mpa)	Volume Injetado (m³)	Ø tubo de injeção [mm]
07/10/24	21,60	0,2	0,5	4,50	75
Injeção de argamassa ascensional com aplicação de golpes de ar comprimido e concomitante a retirada dos tubos de revestimento.					
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
Percentual de acréscimo:	$\frac{V_{real} - V_{teórico}}{V_{teórico}} \times 100$		=	65,79%	
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		

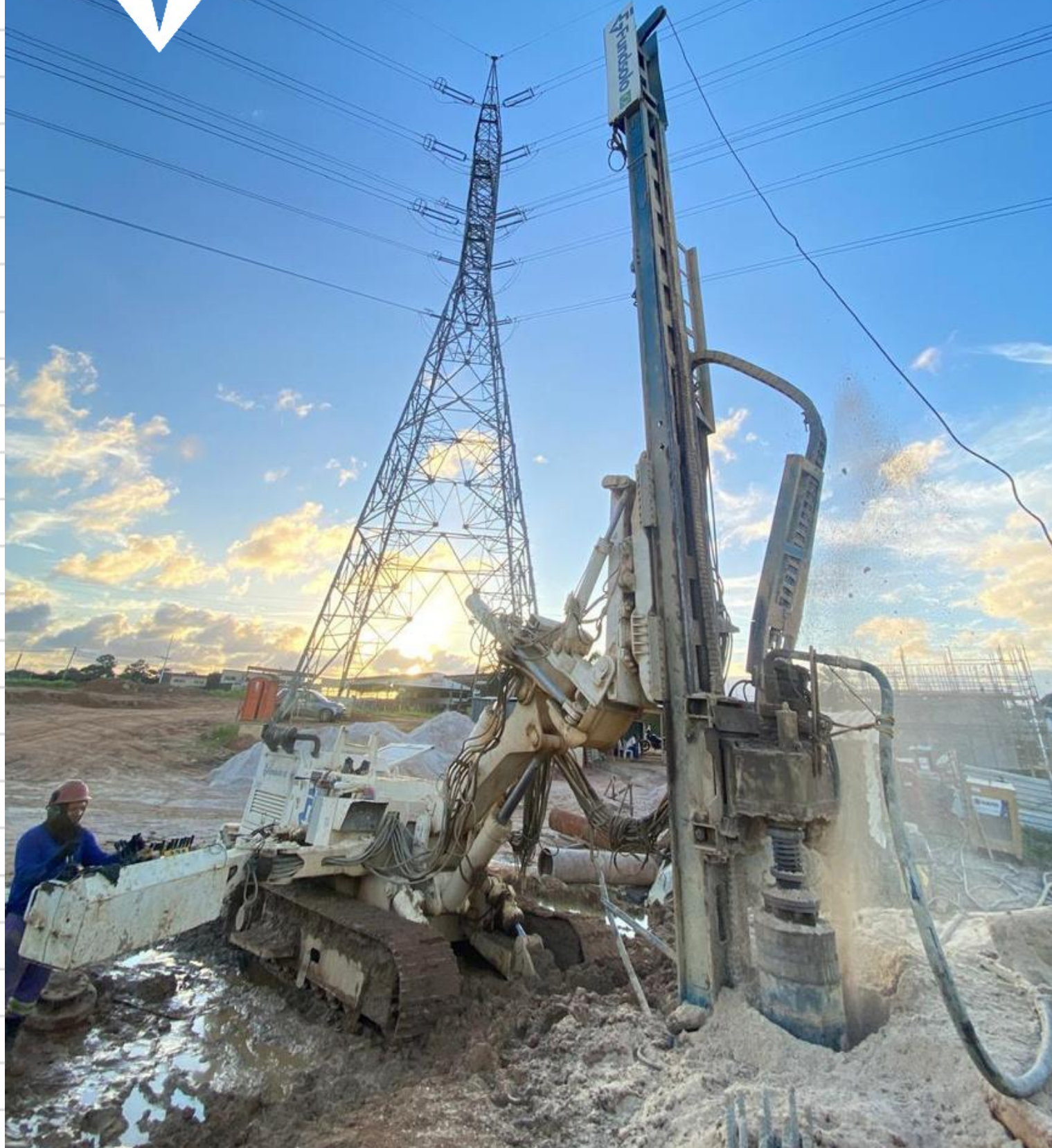
PROVA DE CARGA ESTÁTICA E EXCENTRICIDADES



Interação bloco-estaca $\varnothing 500\text{mm}$.



Estacas escavadas após a PCE.



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

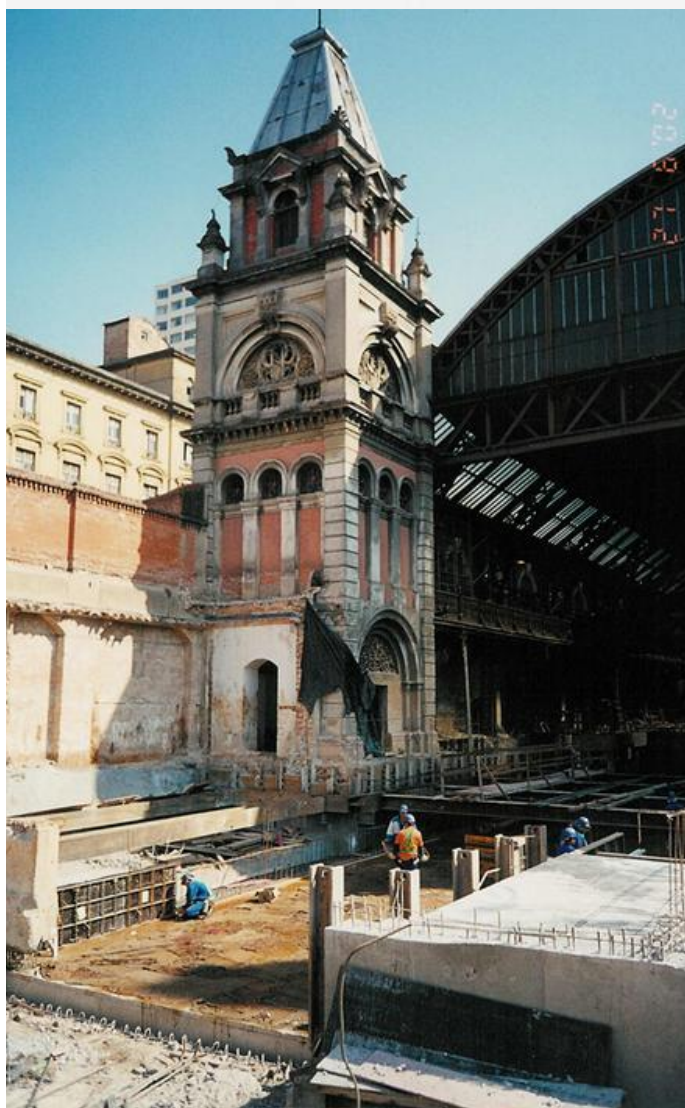
Jet Grouting



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 manchettato 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 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.

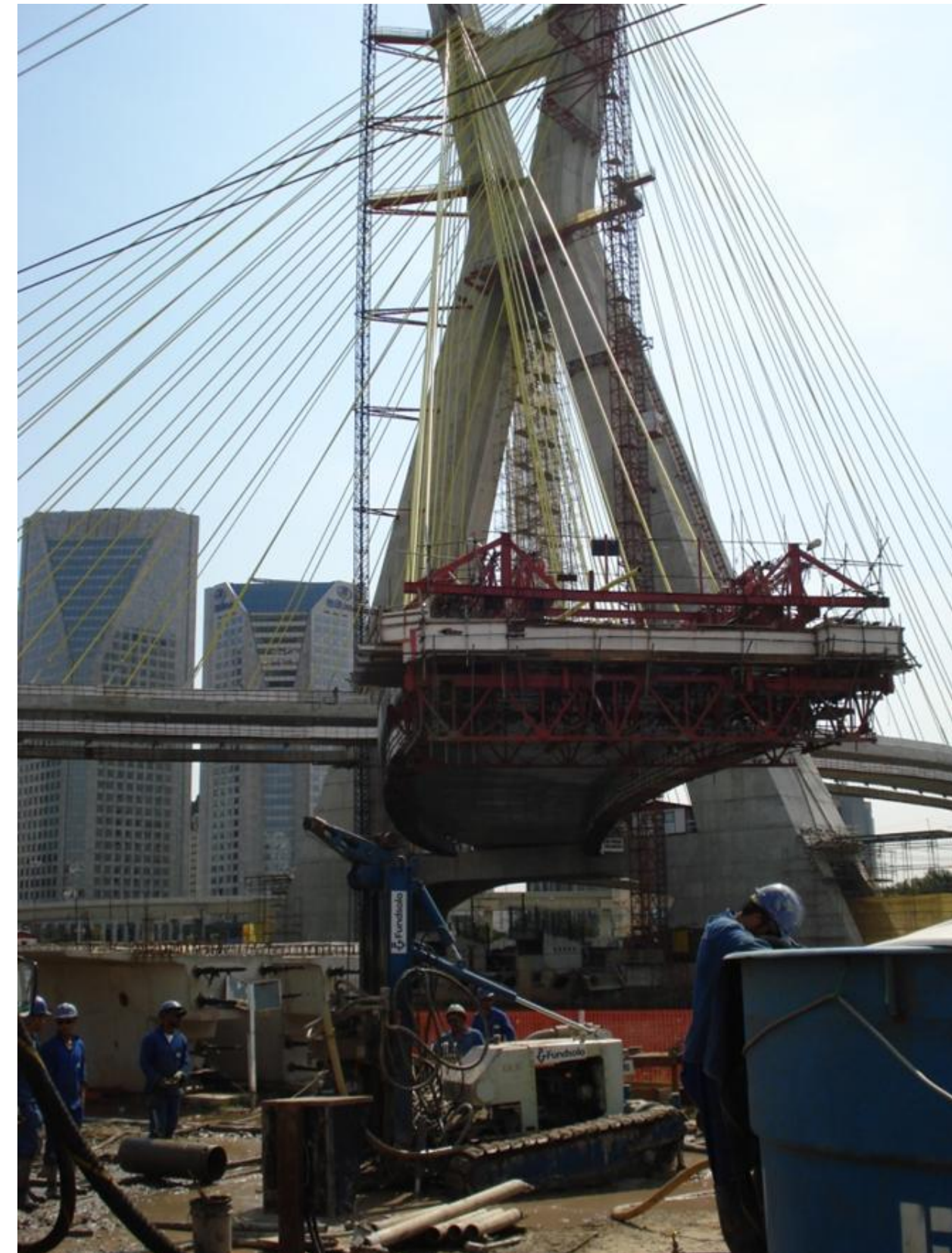
Marcos Aparecido Tonchis
Gerente de Obras
Consórcio Nova Luz
Tel. /Fax 3326-0733



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.

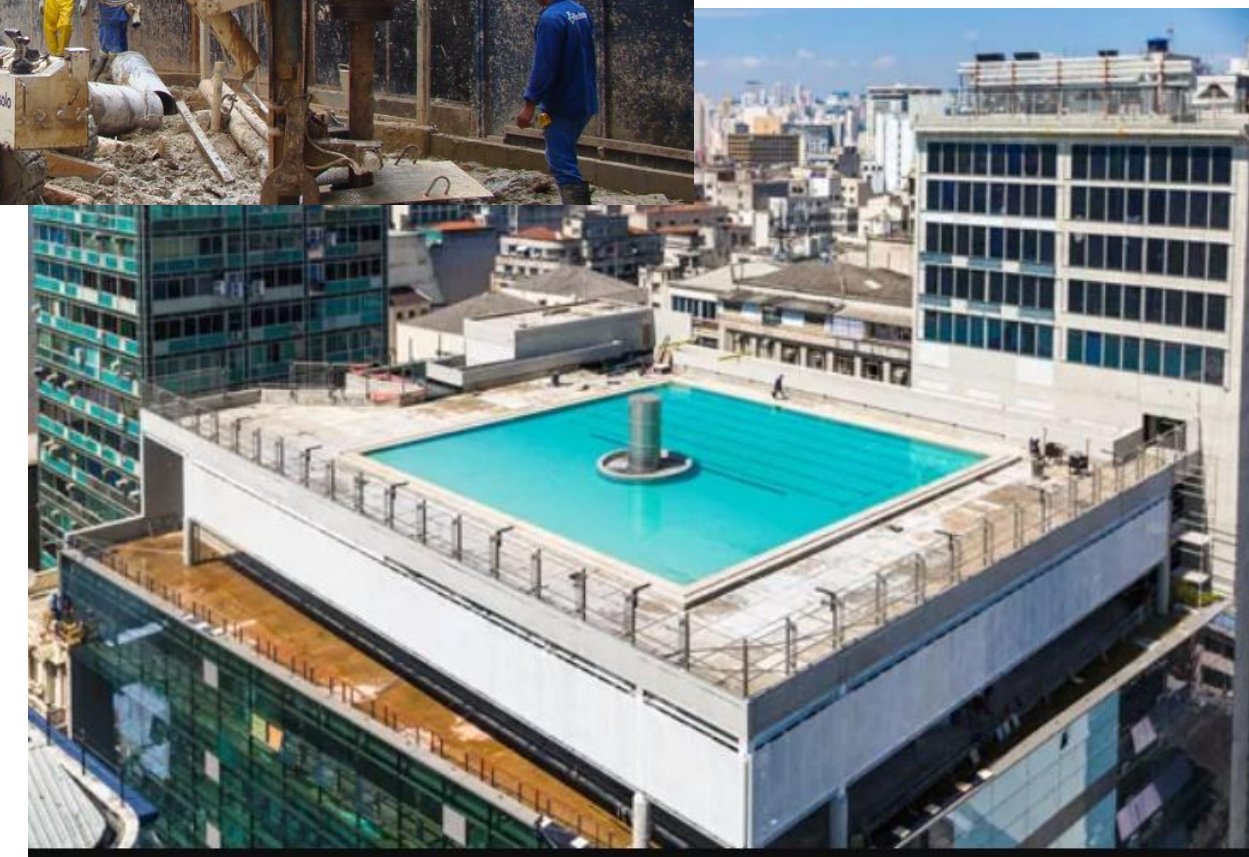
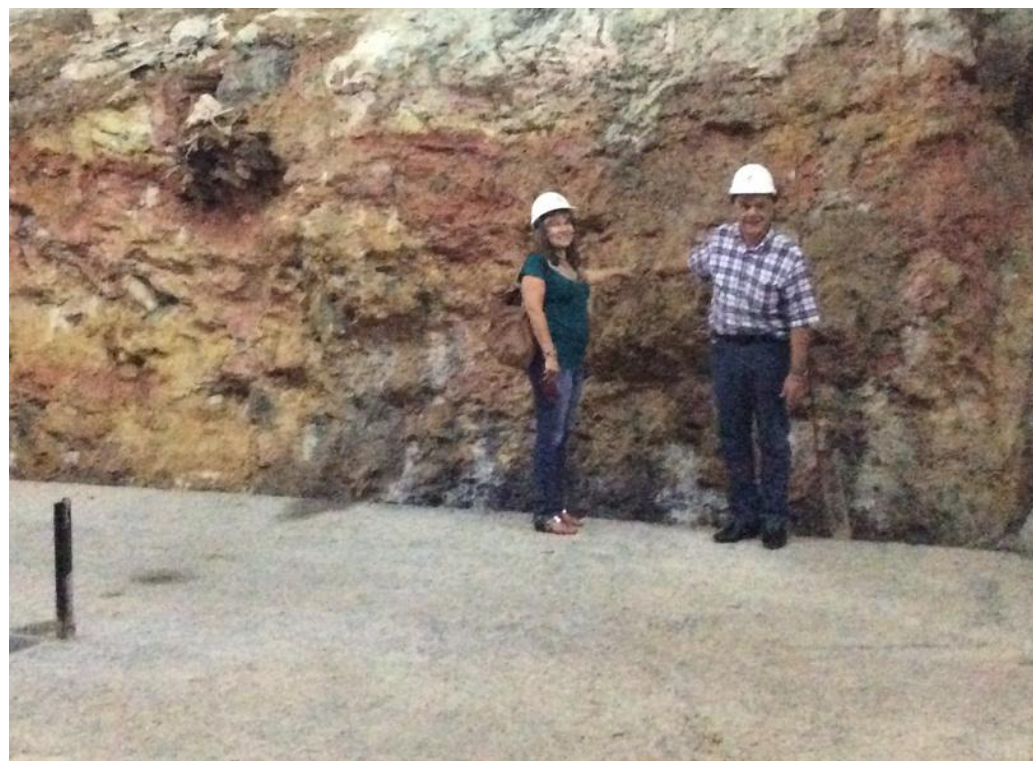


Estação Butantã, MetrôSP – 2006, Consórcio Via Amarela



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

SESC 24 de Maio – 2013, Mendes Junior Trading e Engenharia



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

Rodoanel Norte- 2017, Construtora Tardelli



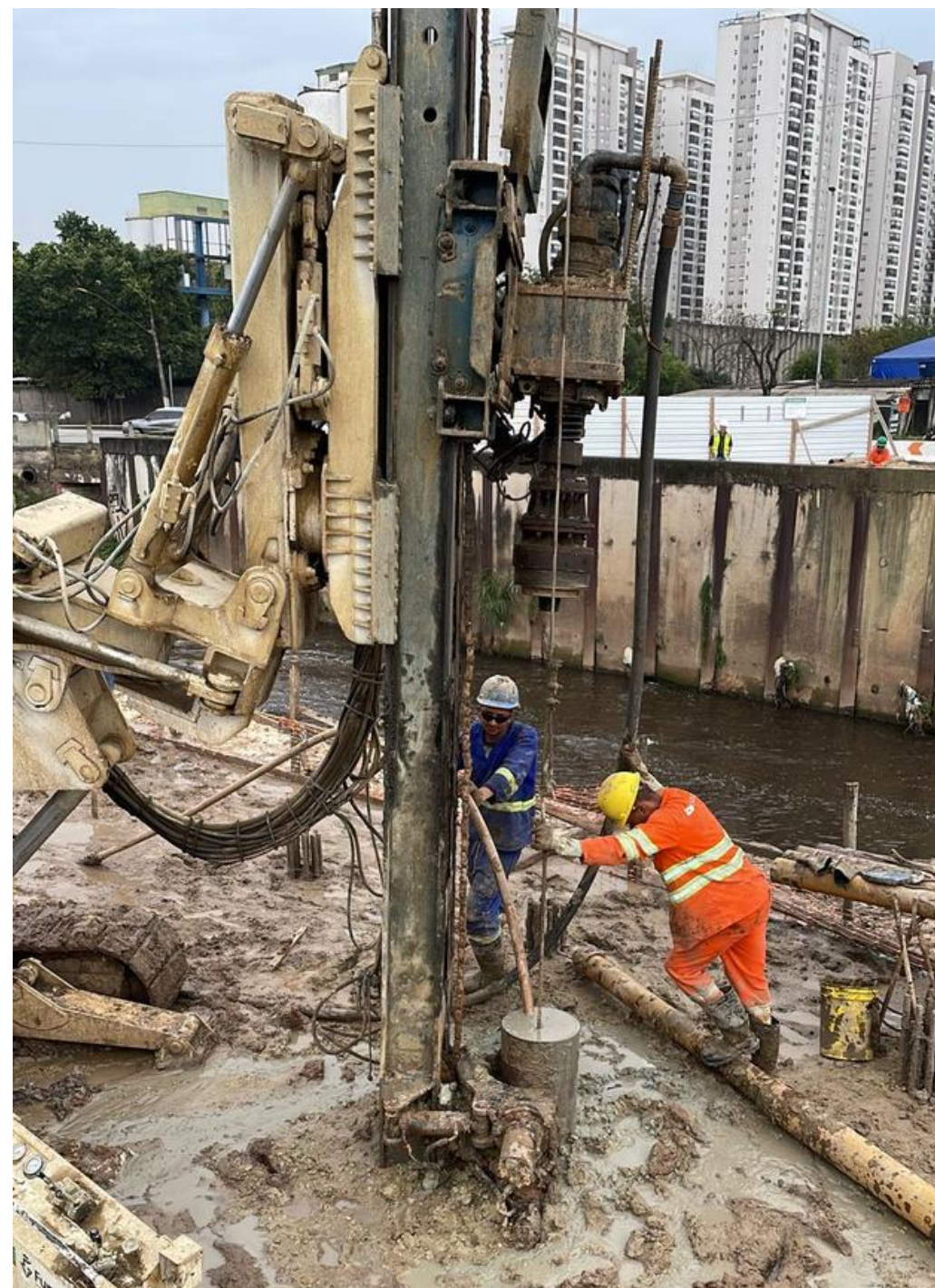
Estacas raiz \varnothing 500 mm, com até 27 m. Introdução da perfuração totalmente a seco, com ar comprimido.

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



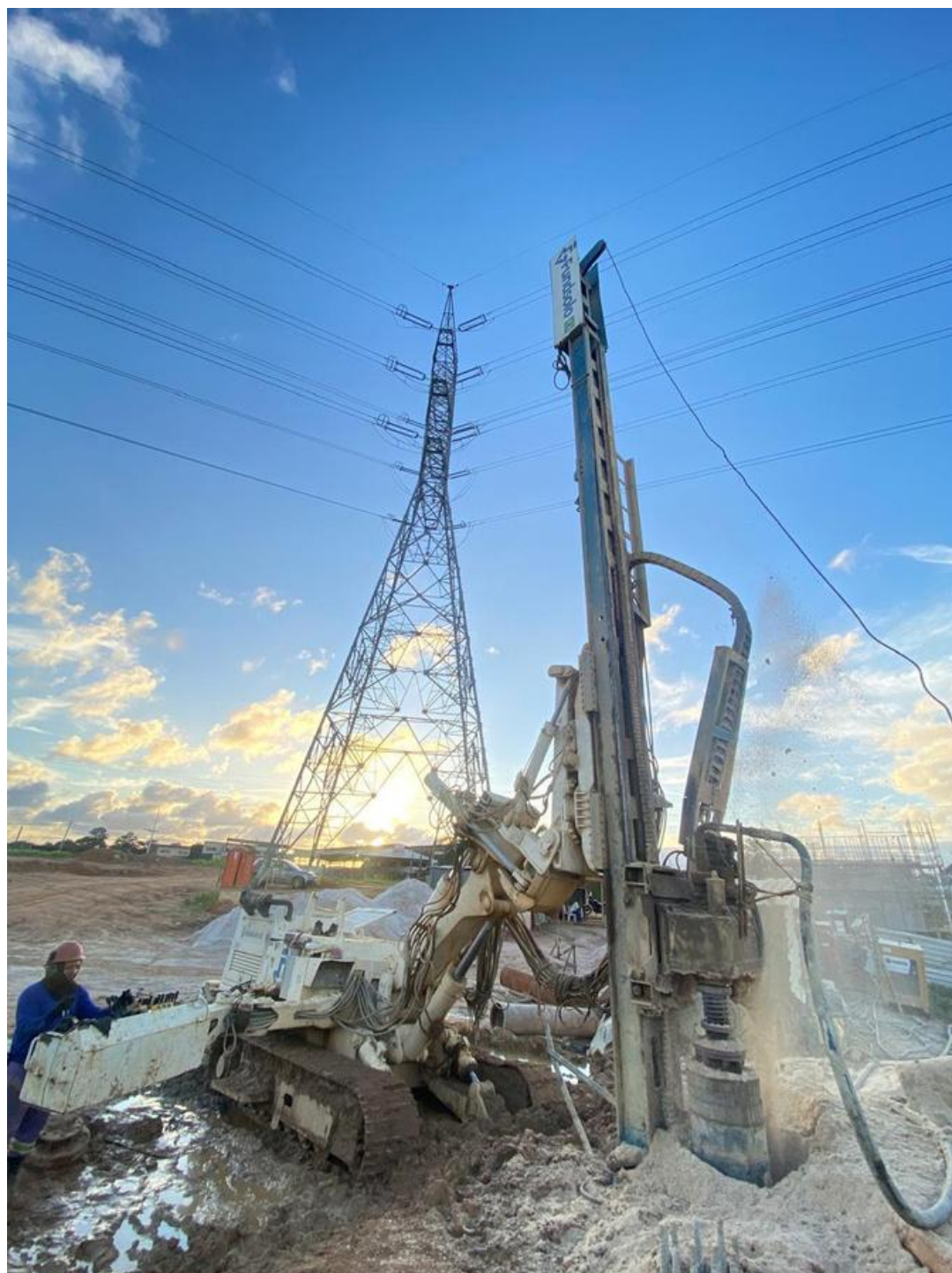
Estacas raiz de Ø 410 mm e Ø 500 mm, de até 25 m, com cargas de trabalho de 115 tf e 180 tf, respectivamente.

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 Ø 500 mm, com profundidade de até 27 m e carga de trabalho de 180 tf.



OBRIGADO!