



FAAP
Desde 1947

geofix

8° Curso de
**ENGENHARIA
APLICADA ÀS
OBRAS DE
FUNDAÇÕES E
CONTENÇÕES**



ESTACA ESCAVADA, BARRETE E RAIZ (EM SOLO E ROCHA): CONCEITOS BÁSICOS, EXECUÇÃO E ESTUDO DE CASOS

Eng. Celso Nogueira Corrêa

INTRODUÇÃO

O QUE É FUNDAÇÃO?

- ELEMENTOS ESTRUTURAIS
- TRANSMITEM PARA O SOLO AS AÇÕES ATUANTES NA ESTRUTURA

CONDIÇÕES:

- 1- NÃO OCORRA RECALQUES PREJUDICIAIS AO SISTEMA ESTRUTURAL (ELS)
- 2- NÃO OCORRA RUPTURA DO ELEMENTO DE FUNDAÇÃO E NEM DO SISTEMA FUNDAÇÃO-SOLO (ELU).

A ESCOLHA DA FUNDAÇÃO DEVE CONSIDERAR:

- **NATUREZA E CARACTERÍSTICAS DO SOLO, LENÇOL FREÁTICO** (investigação geotécnica “in situ”, poços de prova e ensaios de laboratório);
- **TOPOGRAFIA, ARQUITETURA, VIZINHOS** (projetos e visita ao local);
- **DISPOSIÇÃO, GRANDEZA E NATUREZA DAS CARGAS** (fornecidas pelo projeto de estrutura);
- **LIMITAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS DE FUNDAÇÕES EXISTENTES NO MERCADO E AS RESTRIÇÕES TÉCNICAS IMPOSTAS A CADA TIPO DE FUNDAÇÃO** (conhecimento do engenheiro geotécnico de projeto e ou das empresa);
- **NOÇÕES DO CUSTO** (material, mão-de-obra, transporte) das soluções possíveis.

TIPOS DE FUNDAÇÃO: (NBR6122-2010)

FUNDAÇÃO DIRETA: Sapatas isoladas, sapatas corridas e radier.

FUNDAÇÃO PROFUNDA: São **ESTACAS** e tubulões (que podem ser a céu aberto e a ar comprimido).

ESTACAS: Podem ser divididas em pré-fabricadas e **MOLDADAS “IN LOCO”**.

MOLDADAS “IN LOCO”,

Brocas manuais

Estacas Escavadas peq. diâm.

Estacas Strauss

Hélice Contínua Monitorada

Franki

Micro estacas injetadas

Hollow Auger

Omega

RAIZ

ESTACA ESCAVADA GDE. DIÂM.

BARRETE

CRITÉRIOS DE PROJETO

DIMENSIONAMENTO DO ESTADO LIMITE ULTIMO (ELU)

- Limite de ruptura do elemento estrutural

$$N_d = \frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot A_c}{\gamma_c} + \frac{A_s \cdot f_{yk}}{\gamma_s}$$

DIMENSIONAMENTO

CARGA DE RUPTURA (ELU) SISTEMA ESTACA-SOLO

$$Q_{Rup} = Q_P + Q_L$$

$$Q_{Rup} = A_P \cdot q_P + U \cdot \sum(\Delta \ell \cdot q_L)$$

Em que:

Q_{Rup} : carga de ruptura do sistema (ELU);

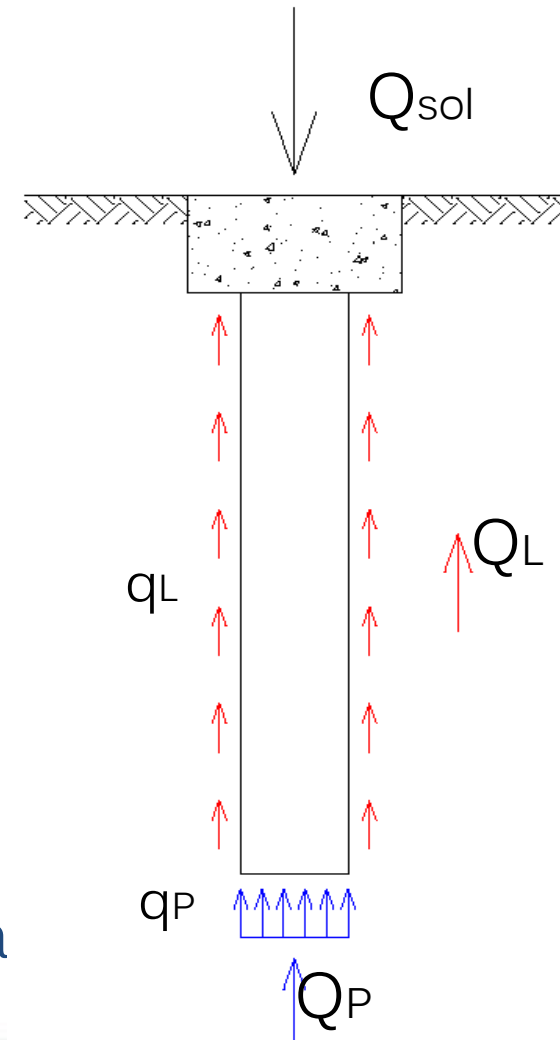
A_P : área de ponta;

q_P : resistência de ponta;

U : perímetro da estaca;

q_L : adesão lateral;

$\Delta \ell$: comprimento da estaca na camada



CRITÉRIOS DE PROJETO

DIMENSIONAMENTO DO ESTADO LIMITE ULTIMO (ELU)

CARGA DE PONTA – Q_P PARA ESTACAS MOLDADAS IN LOCO

NBR6122 - 2018

8.2.1.2 MÉTODOS ESTÁTICOS

“....SEMPRE QUE (*O PROJETO*) CONSIDERAR A CONTRIBUIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE PONTA, DEVE FAZER MENÇÃO EXPLÍCITA A ESSE CRITÉRIO. O EXECUTOR DEVE ASSEGURAR QUE SERÃO CUMPRIDOS PROCEDIMENTOS MÍNIMOS ESPECIFICADOS NOS ANEXOS J E N, DE FORMA A OBTER O CONTATO EFETIVO ENTRE A PONTA E O SOLO COMPETENTE OU ROCHA. NESSAS CONDIÇÕES Q_P TEM COMO LIMITE O Q_L . CASO ESSE CONTATO EFETIVO NÃO POSSA SER ASSEGURADO $Q_P = 0$”

CRITÉRIOS DE PROJETO

DIMENSIONAMENTO DO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS)

- Limite de recalques e deslocamentos excessivos



DIMENSIONAMENTO CARGA ADMISSÍVEL - ELS

CARGA ADMISSÍVEL:

- NÃO CAUSA RUPTURA,
- RECALQUES ADMISSÍVEIS PELA ESTRUTURA.

$$Q_{adm} \leq \frac{Q_{rup}}{FS} \gg \text{Atendido ELU, e}$$

Q_{adm} não deve causar recalques excessivos (ELS):

PORTANTO A CARGA MÁXIMA APLICADA PELA ESTRUTURA (Q_{sol})
PODE SER NO MÁXIMO IGUAL A CARGA ADMISSÍVEL

$$Q_{sol} \leq Q_{adm}$$

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE: ESTACÕES E BARRETES

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Existem dois tipos de estacas escavadas com fluido estabilizante:

- a) **ESTACÕES:** circulares - $0,60 \leq D \leq 2,50$ m, escavadas por rotação.

- b) **BARRETES OU ESTACAS DIAFRAGMA:** retangulares, escavadas com “clam-shells”. **0,30 a 1,20 m** na menor dimensão e **2,50 e 3,20 m** na maior dimensão, ou ainda formando figuras geométricas com esses elementos.

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Definições e características

- moldadas in loco
- fluido estabilizante (lama bentonítica ou polímero) cuja função é estabilizar as paredes das escavações, manter resíduos da escavação em suspensão. O ideal é que o nível da lama na escavação esteja pelo menos 2,00 m acima do nível do lençol freático.
- cargas elevadas
- condições adversas do subsolo, tais como solo mole, areias fofas lençol freático a pouca profundidade etc.

OBS: Por questões ambientais, o uso dos polímeros, ou técnicas para substituição da lama bentonítica vem sendo muito utilizadas.

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Características do fluido estabilizante – Lama

TABELA DA NBR 6122-2018

Propriedades	Valores	Equipamentos para ensaio
Densidade	1,025 g/cm ³ a 1,10 g/cm ³	Densímetro
Viscosidade	30 s/qt a 90 s/qt	Funil Marsh
pH	7 a 11	Indicador de pH
Teor de areia	Até 3 %	Baroid sand content ou similar

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Características do fluido estabilizante – Polímero

TABELA DA NBR 6122-2018

Propriedades	Valores	Equipamentos para ensaio
Densidade	1,005 g/cm ³ a 1,10 g/cm ³	Densímetro
Viscosidade	35 s/qt a 120 s/qt	Funil Marsh
pH	8 a 12	Indicador de pH
Teor de areia	Até 4,5 %	Baroid sand content ou similar

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Características do fluido estabilizante

- Densidade – Balança de lama



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Características do fluido estabilizante

- Viscosidade



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Características do fluido estabilizante

- PH



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Características do fluido estabilizante

- Teor de Areia



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Características do concreto

- $f_{ck} \geq 30$ Mpa – (C30)
 - Consumo mínimo de cimento = 400kg/m^3
 - Abatimento (“Slump-test”) = $22 + 4$ cm
 - Fator água/cimento $\leq 0,60$
 - Diâmetro máximo do agregado entre 9,5 e 25 mm.
 - Teor de exsudação $\leq 4\%$.

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Características

- não causa vibração,
- Baixo índice de ruído
- necessita de área relativamente grande para a instalação dos equipamentos e acessórios necessários à sua escavação;
- Pode ser executada de uma cota muito acima do arrasamento.
- Os métodos semi-empíricos de cálculo de capacidade de carga mais utilizados para esse tipo de estaca são Davi Cabral, Aoki-Veloso adaptado, Décourt-Quaresma adaptado e Teixeira.

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Métodos de previsão de capacidade de carga

Métodos teóricos

Para o dimensionamento de fundações profundas, foram desenvolvidos métodos teóricos sobre a interação estaca-solo envolvendo diversos parâmetros geotécnicos relacionados à natureza do solo que, na maioria das vezes, não são facilmente obtidos.

“Além do mais, uma variação de apenas 5° no ângulo de atrito, de 30° para 35°, pode significar um aumento de aproximadamente 100% na capacidade da carga, segundo Vesic (1963) e Berezantsev et al (1961), ou de cerca de 150%, segundo Meyerhof (1951).”

Décourt, 1996

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Métodos de previsão de capacidade de carga

Métodos semi-empíricos

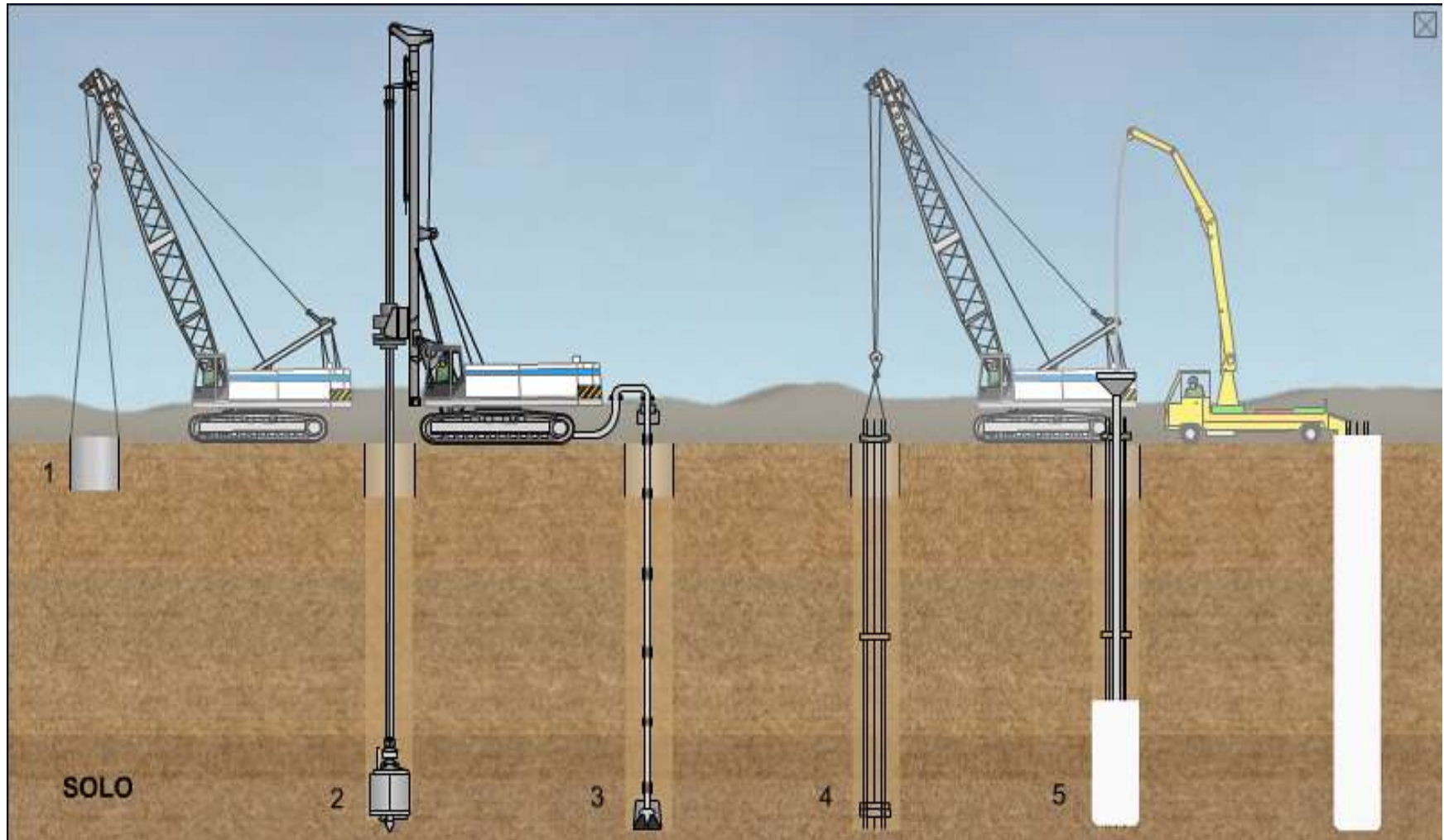
Por conta da complexidade dos parâmetros dos métodos teóricos, muitos pesquisadores desenvolveram métodos semi-empíricos baseados em estudos estatísticos, **retroanálise de provas de carga** e em sua própria experiência, levando em consideração as características do solo de determinada região. Os mais utilizados para estacas escavadas são:

- Décourt-Quaresma (1978);
- Aoki-Velloso (1975);
- Teixeira (1996);
- David Cabral (estacas em rocha) (2000).

EXECUÇÃO DAS ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em solo



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE



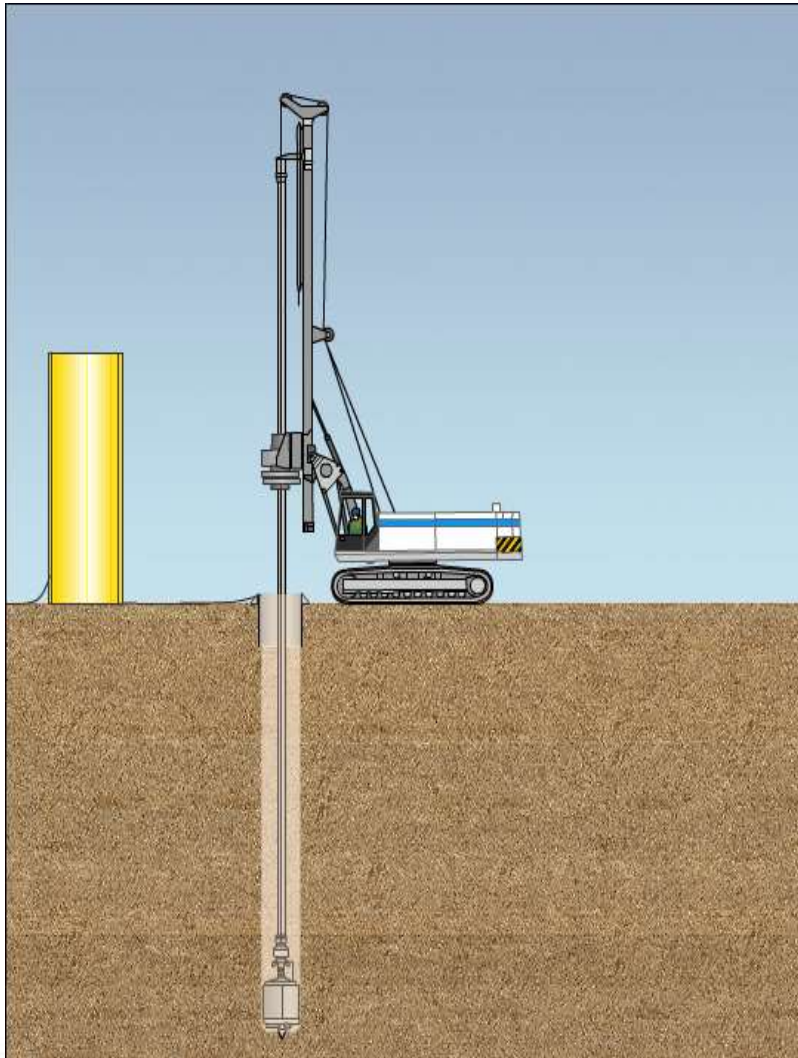
ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em solo



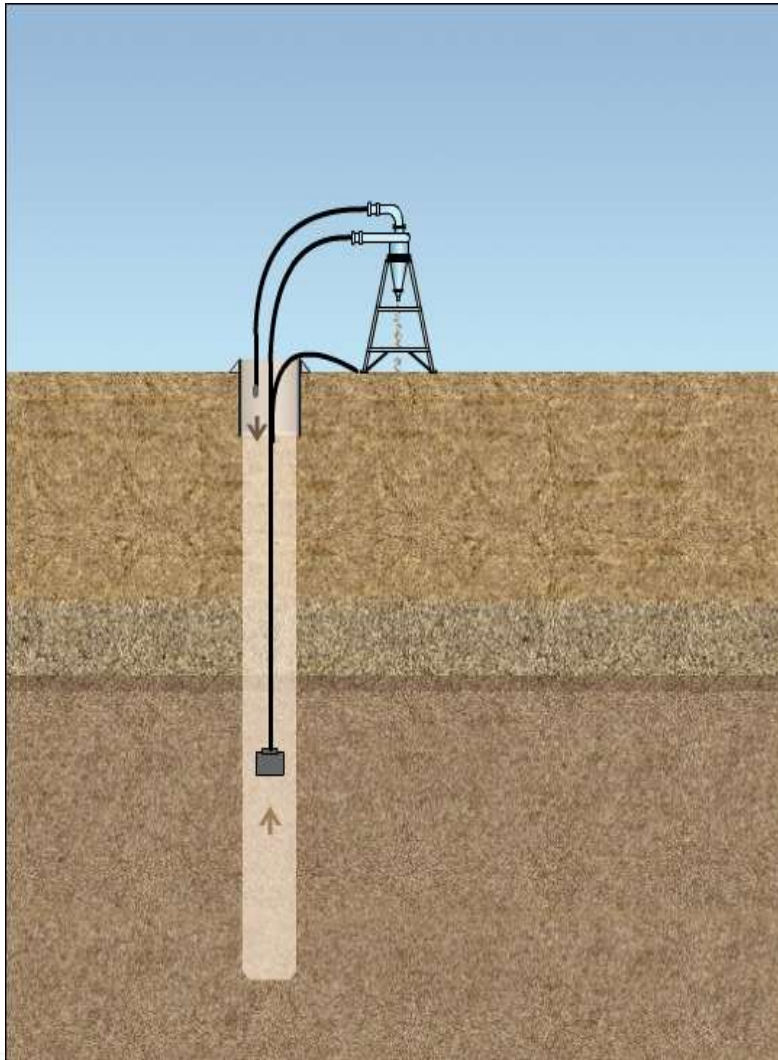
ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em solo



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em solo



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em solo



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Arrasamento das estacas



Estaca concretada, pronta para ser arrasada

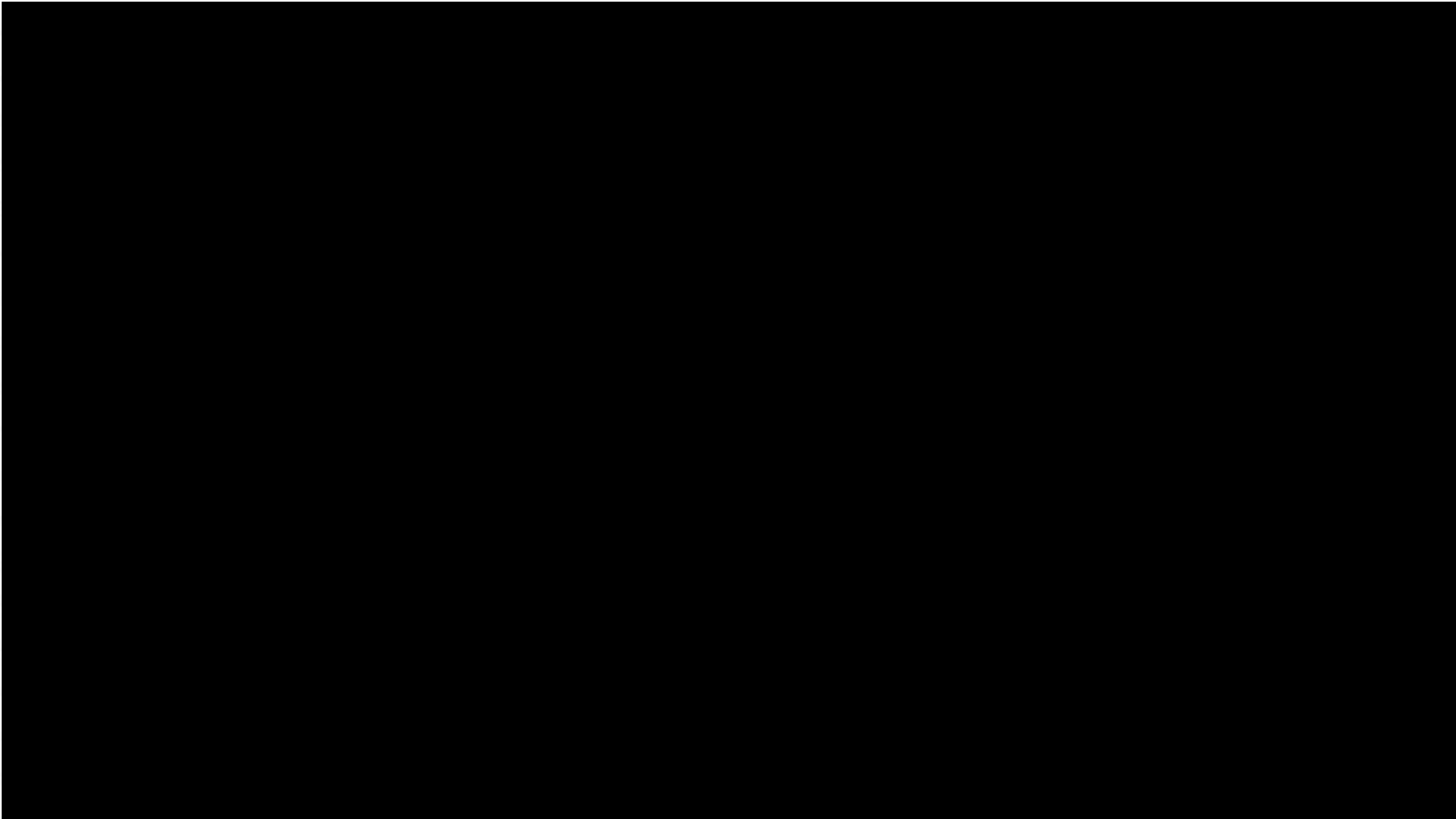
Arrasamento das estacas

Arrasamento das estacas, executado com rompedor na posição horizontal.

Cabeça, plana, horizontal e 5 cm acima do lastro de concreto magro.

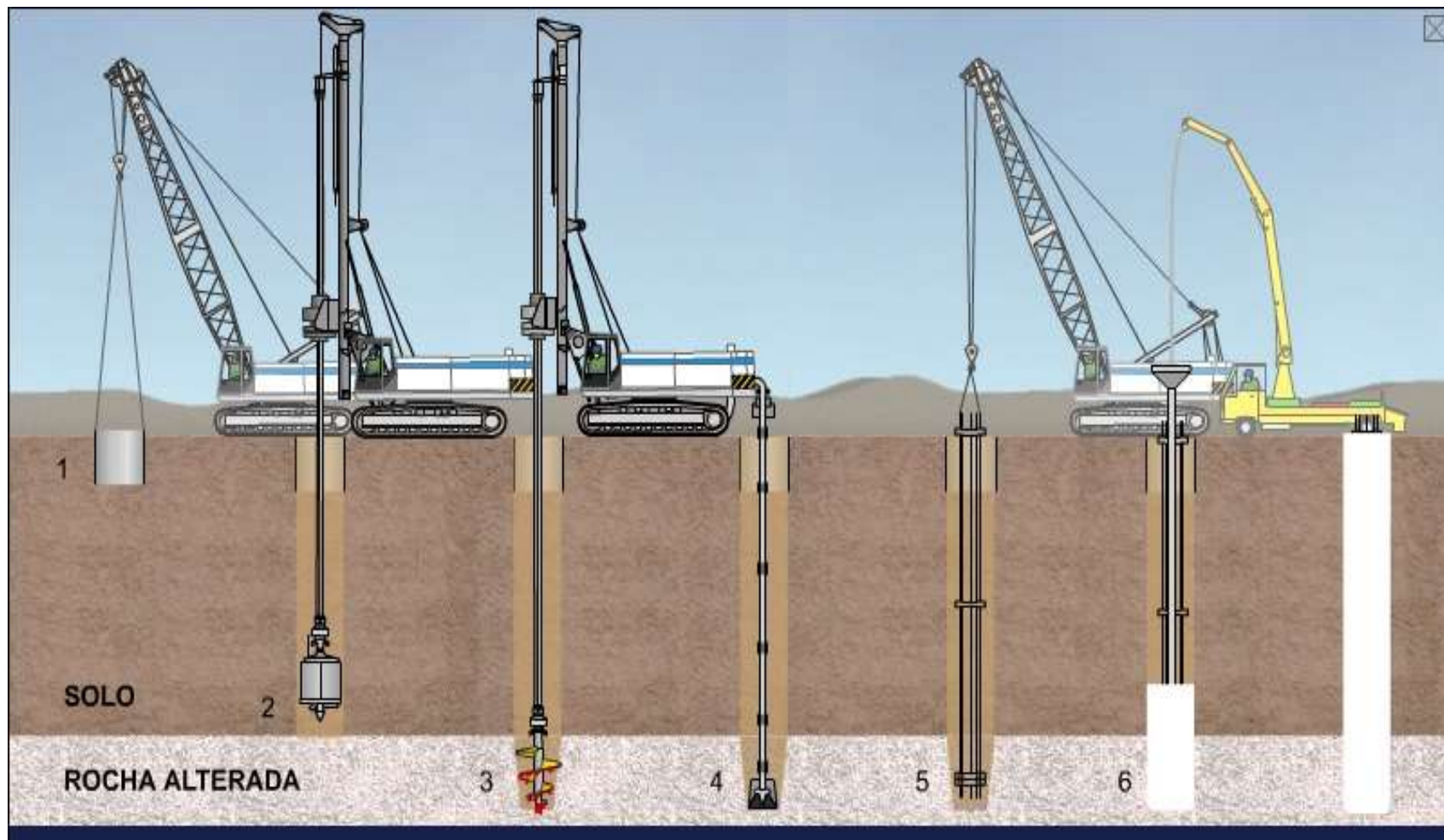


SEQUÊNCIA EXECUTIVA



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Perfuração em solo e rocha alterada



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha alterada



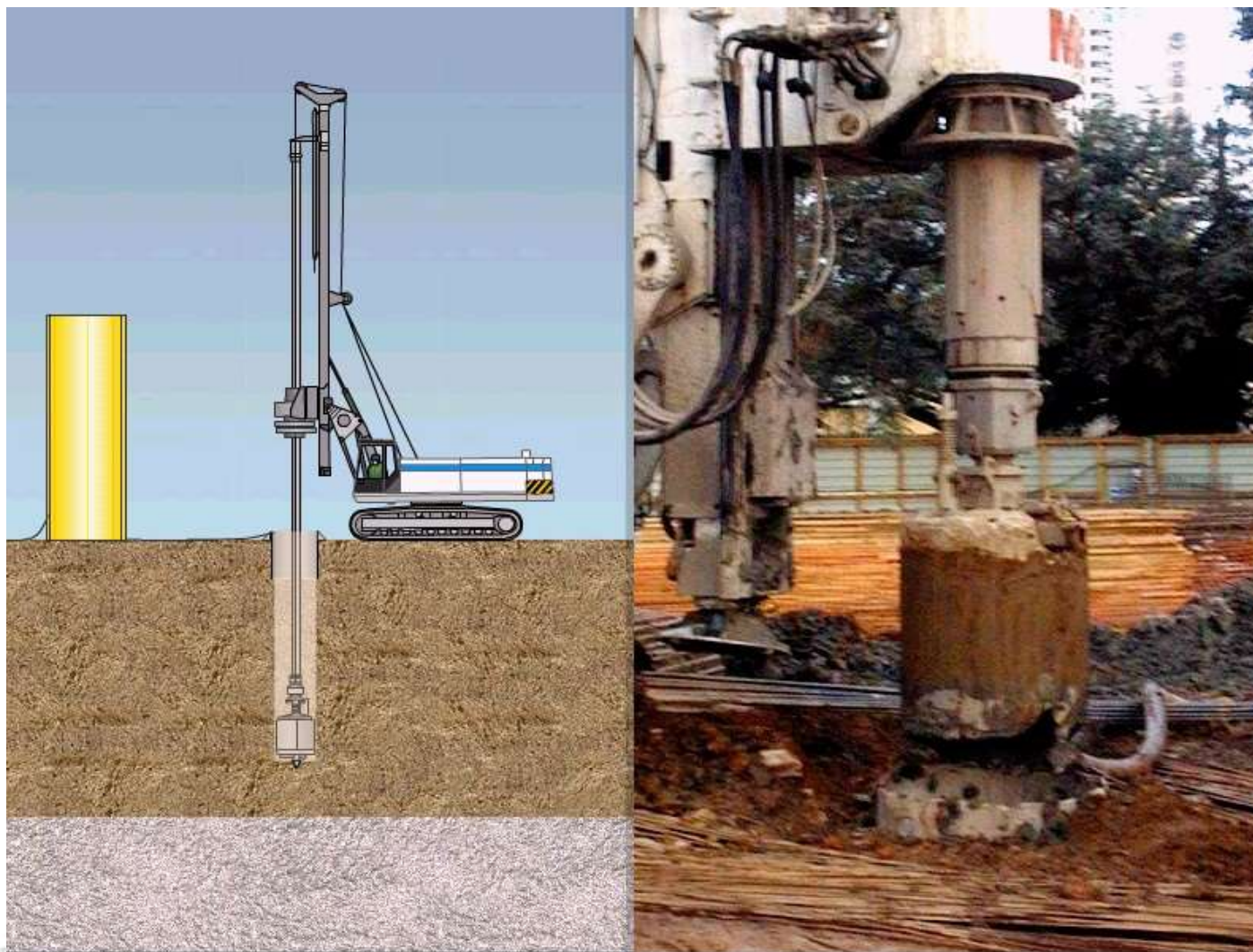
ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha alterada



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha alterada



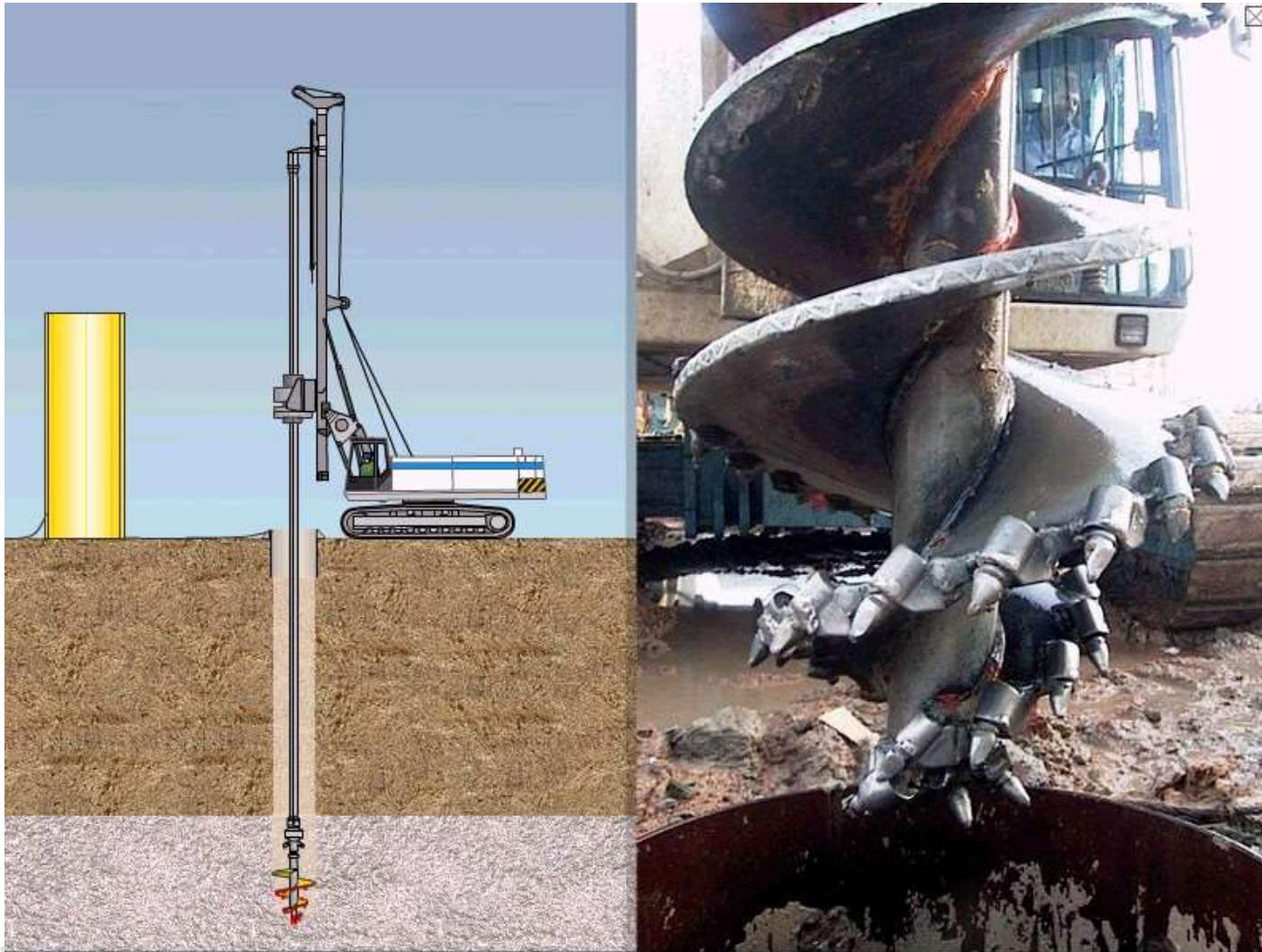
ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha alterada



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha alterada



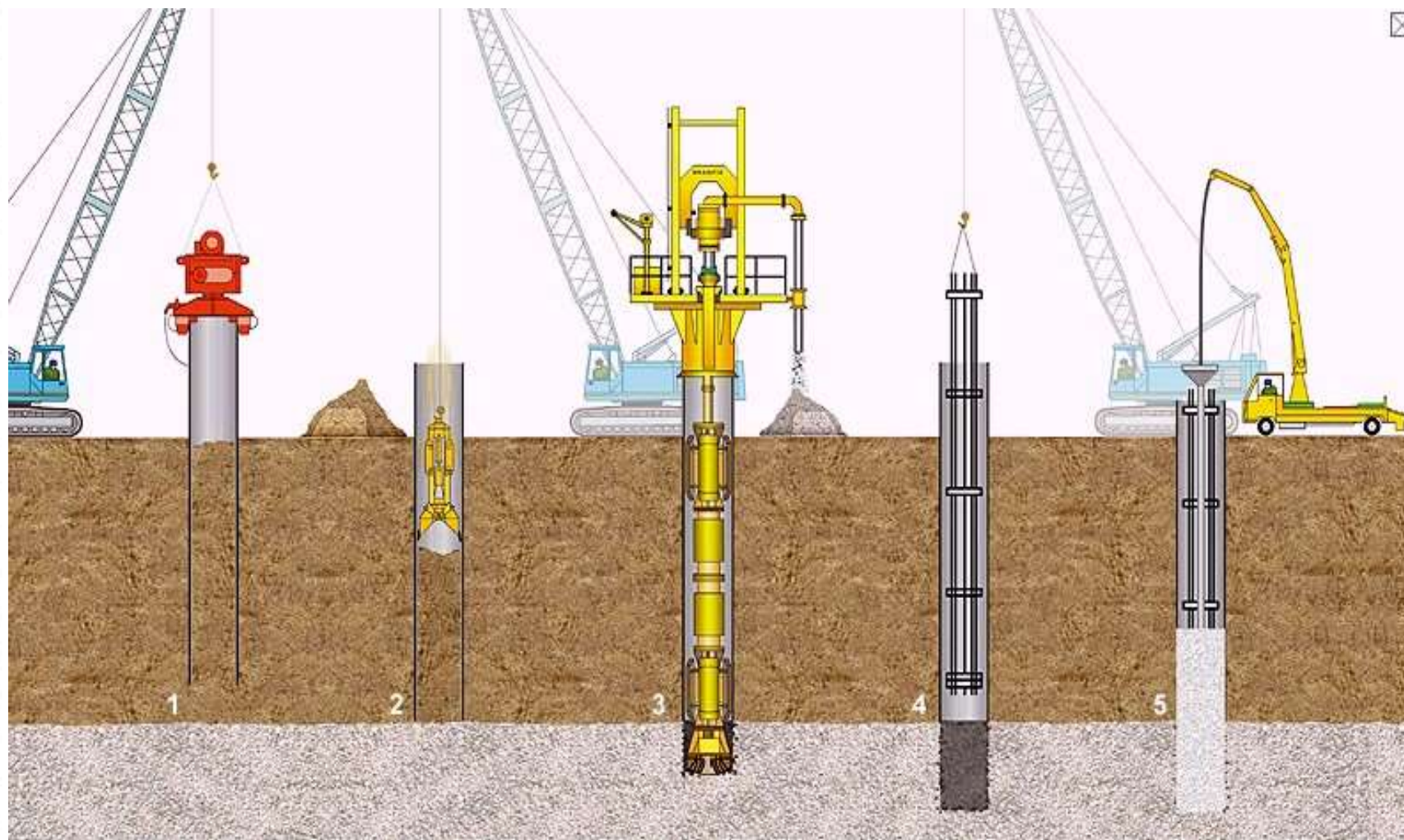
ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha alterada



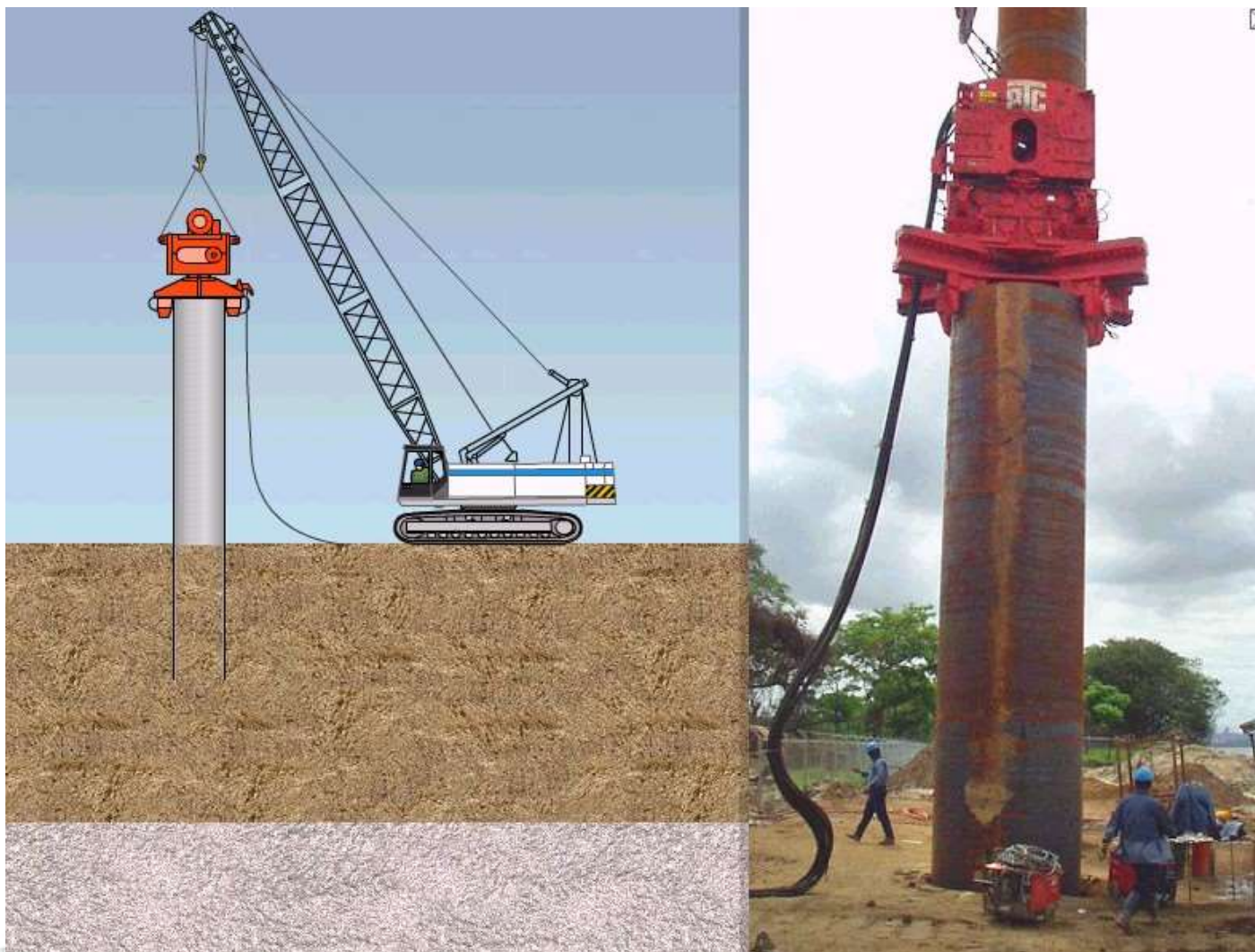
ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha sã e camisa metálica integral



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha sã e camisa metálica integral



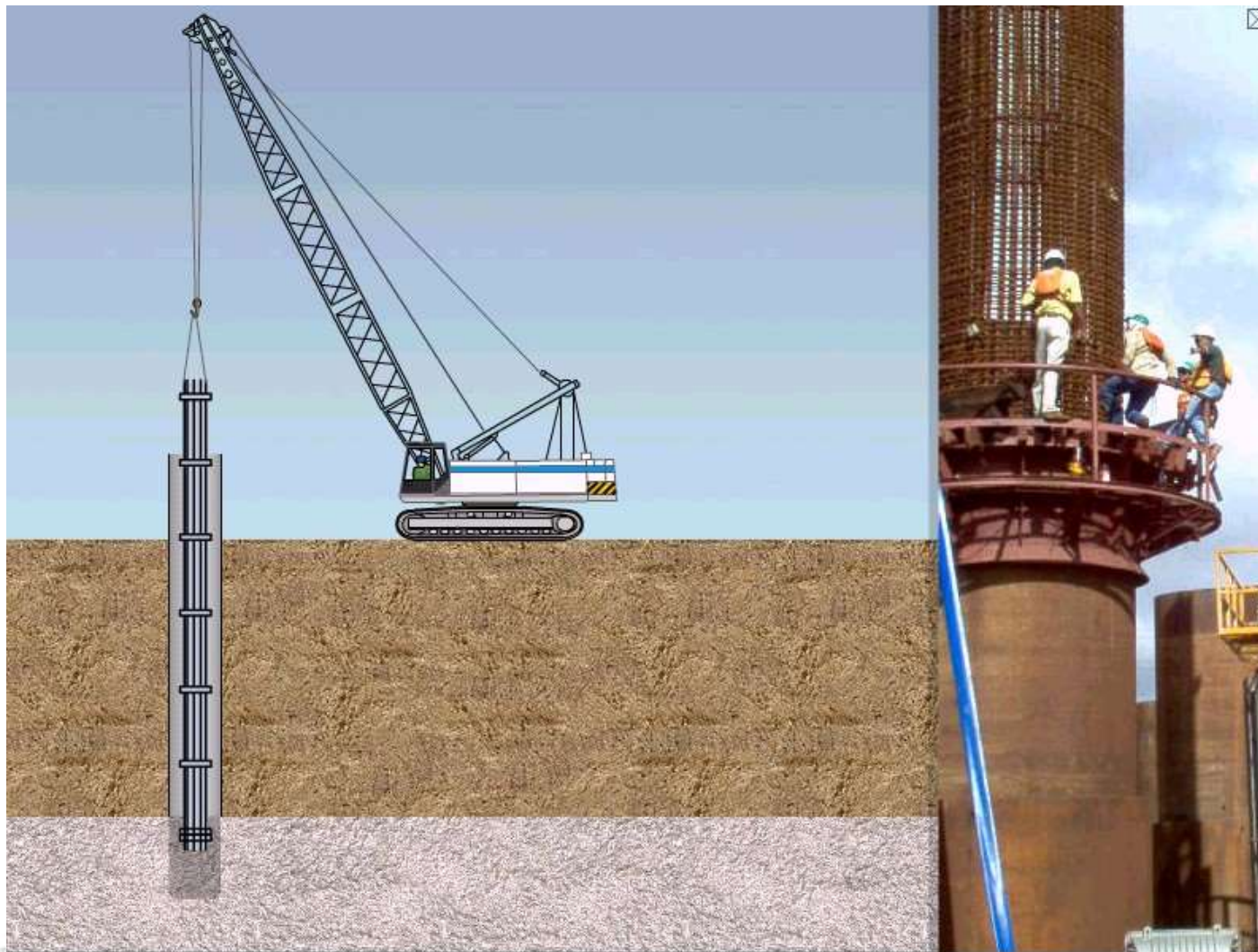
ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha sã e camisa metálica integral



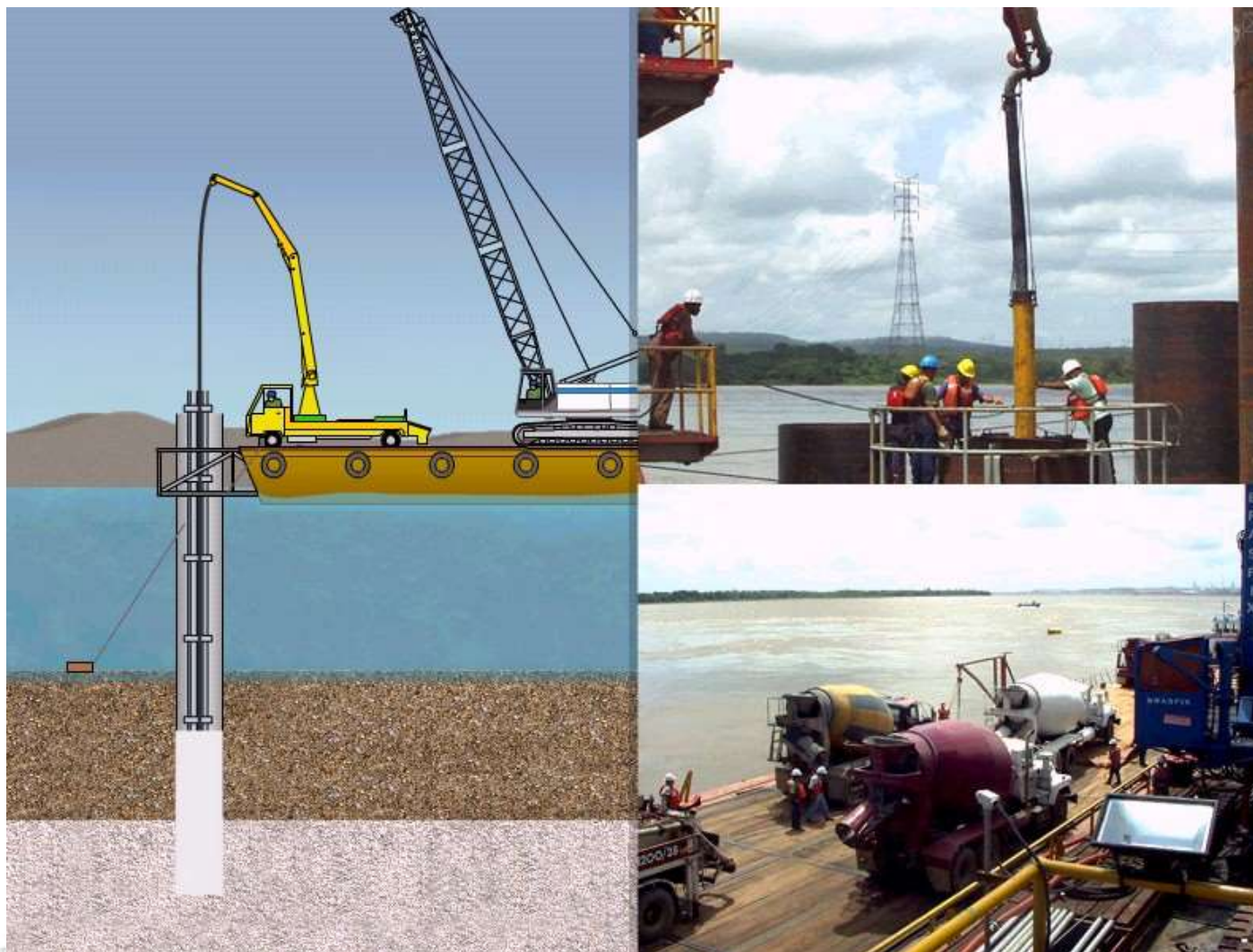
ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha sã e camisa metálica integral



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha sã e camisa metálica integral

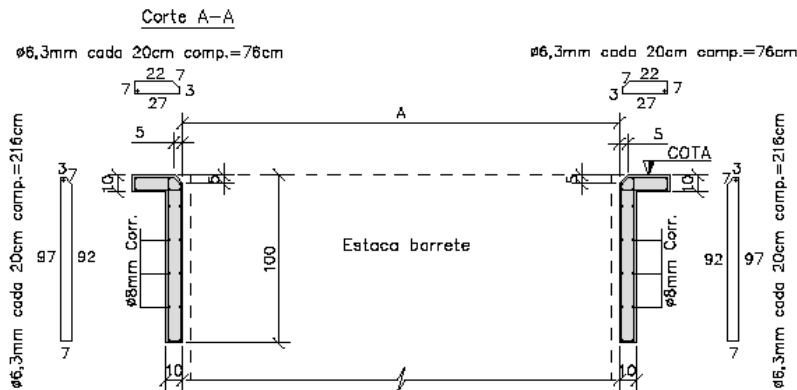
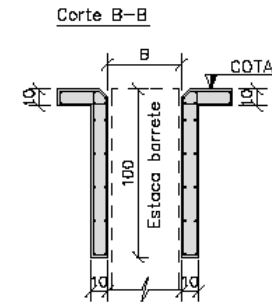
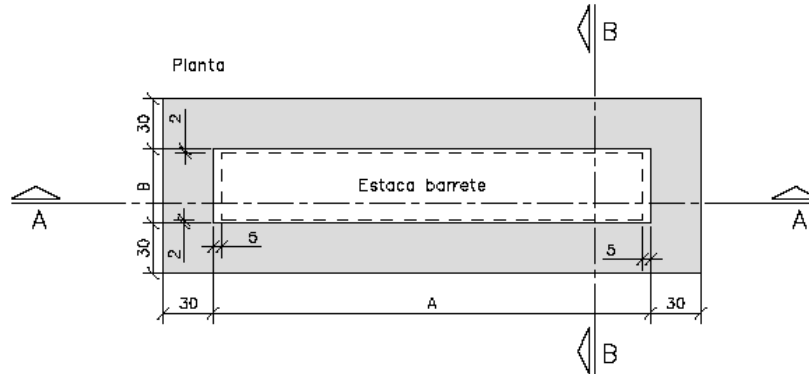


ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estacas barrete

DETALHE DE MURETA GUIA PARA BARRETE

(Sem escala)



Barrete		Peso do Aço por mureta guia		
Dimensões		Aço CA 50 [kg]		
A	B	ø6,3mm	ø8mm	TOTAL
250	40	25,76	40,13	65,89
320	40	31,48	48,43	79,91
250	50	25,76	41,32	67,08
320	50	31,48	49,61	81,09
250	60	27,18	42,50	69,68
320	60	32,91	50,80	83,71
250	70	27,18	43,69	70,87
320	70	32,91	51,98	84,89
250	80	28,62	44,87	73,49
320	80	34,34	53,17	84,48

CONCRETO fck ≥ 20 MPa

BARRETE – MURETA GUIA

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estacas barrete

Equipamento – perfuração em solo:



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estacas barrete

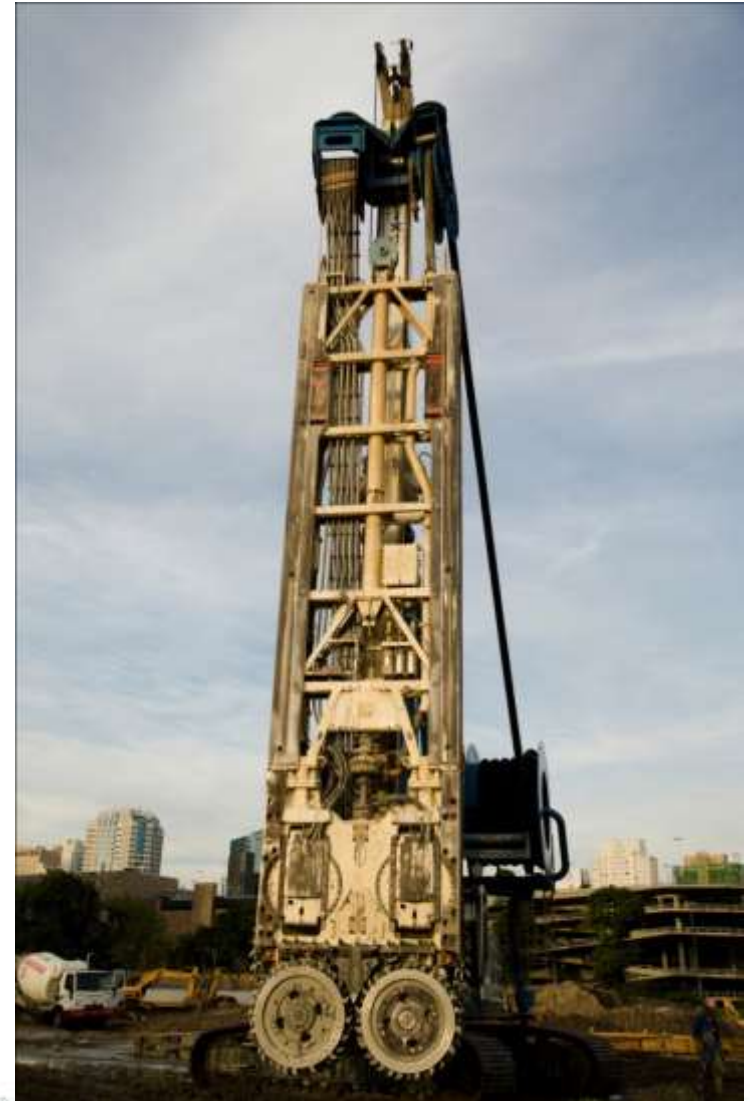


Vídeo: Escavação com “clam shell”.
Fonte: Acervo ZF.

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estacas barrete

Equipamento – perfuração em rocha:



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estacas barrete

Equipamento – fresa:



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estacas barrete



Vídeo: Arrasamento de estaca barrete.

Fonte: Acervo ZF.

ESTACAS RAIZ

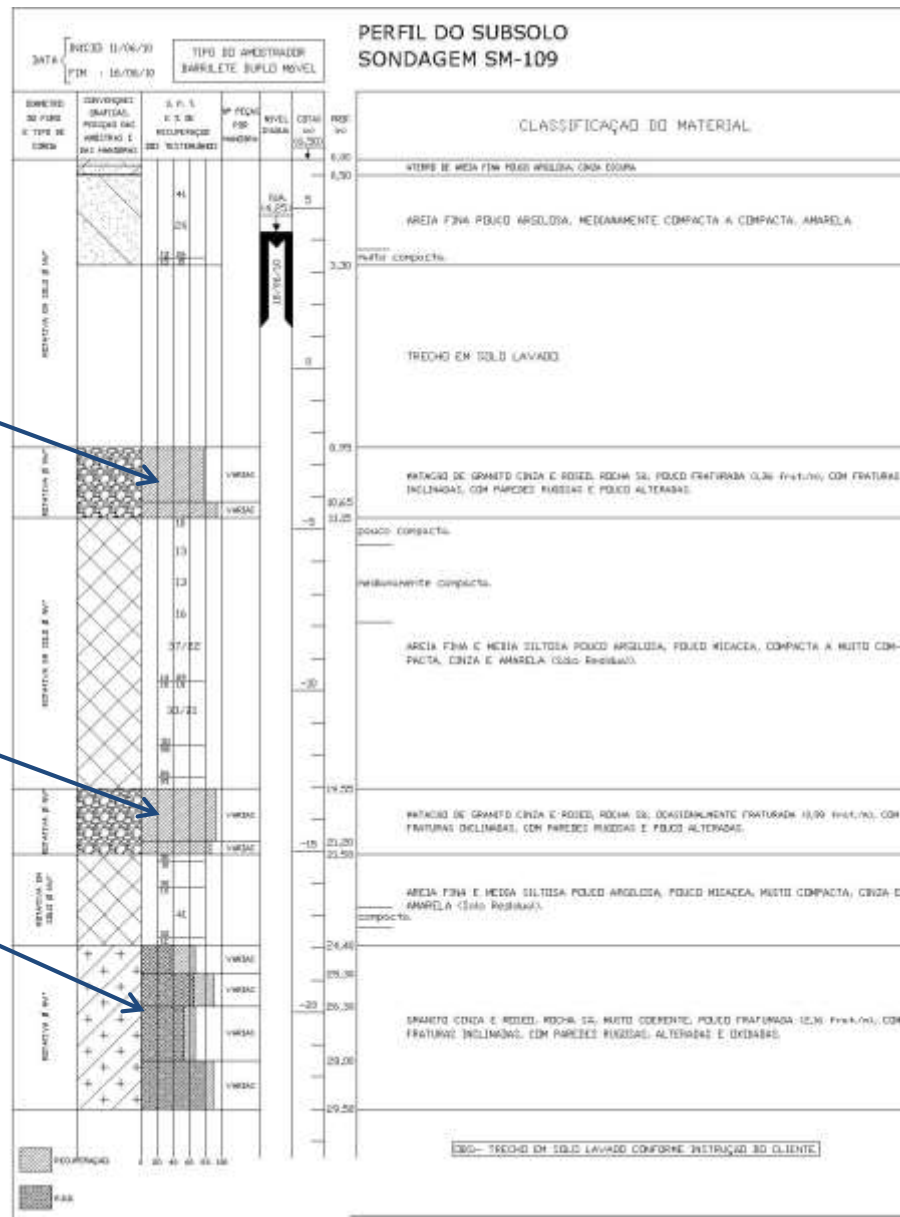
ESTACAS RAIZ

Definições e propriedades

- diâmetro, entre 150 e 500 mm,
- elevada capacidade de carga
- essencialmente de resistência por atrito lateral ,
- Indicada para locais de difícil acesso - subsolo com presença de matacões, reforço de fundações existentes, entre outros;
- com rocha na ponta, pode ser empregada também como estaca com resistência de ponta.
- tem a vantagem de atravessar qualquer tipo de terreno, inclusive rocha, matacão, concreto armado e alvenaria.
- Não causam vibração nem alívio de tensões do terreno.

ESTACAS RAIZ

Sondagem – necessidade de estaca raiz



ESTACAS RAIZ

Métodos de previsão de capacidade de carga

David Cabral (1986)

O método de David Cabral leva em conta a pressão de injeção da nata de cimento durante o processo de execução e a variação de camadas atravessadas pela estaca.

$$P_r = P_l + P_p$$

$$P_l = \beta_0 \beta_1 N U A_l$$

$$P_p = \beta_0 \beta_2 N A_b$$

Essa expressão é válida para pressão de injeção de até 0,4 MPa.

ESTACAS RAIZ

Métodos de previsão de capacidade de carga

Lizzi (1985)

$$P_R = \alpha \cdot N_p \cdot A_p + \beta \cdot N \cdot P \cdot L$$

α : coeficiente que depende do tipo de solo em que se situa a ponta da estaca;

N_p : média dos valores dos SPTs medidos 1m acima e 1m abaixo da ponta da estaca (valores acima de 40 golpes devem ser tomados iguais a 40);

A_p : área de ponta da estaca;

β : índice de atrito lateral;

N : média dos valores dos SPTs medidos ao longo do fuste da estaca;

P : perímetro do fuste da estaca;

L : comprimento útil da estaca.

$$P_{AD} = \frac{P_R}{2}$$

P_{AD} : carga admissível.

ESTACAS RAIZ

Procedimento

1. Perfuração: é realizada por rotação de tubos auxiliada por circulação de água. Na extremidade do tubo é acoplada uma coroa de perfuração adequada às características geológicas da obra.



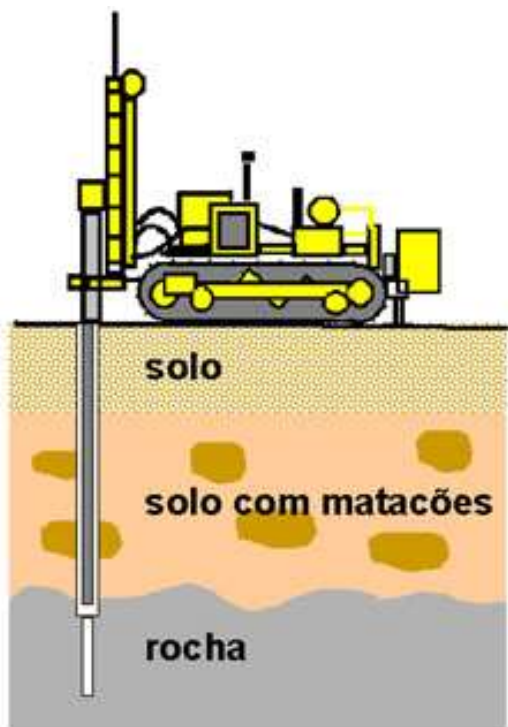
ESTACAS RAIZ

Procedimento

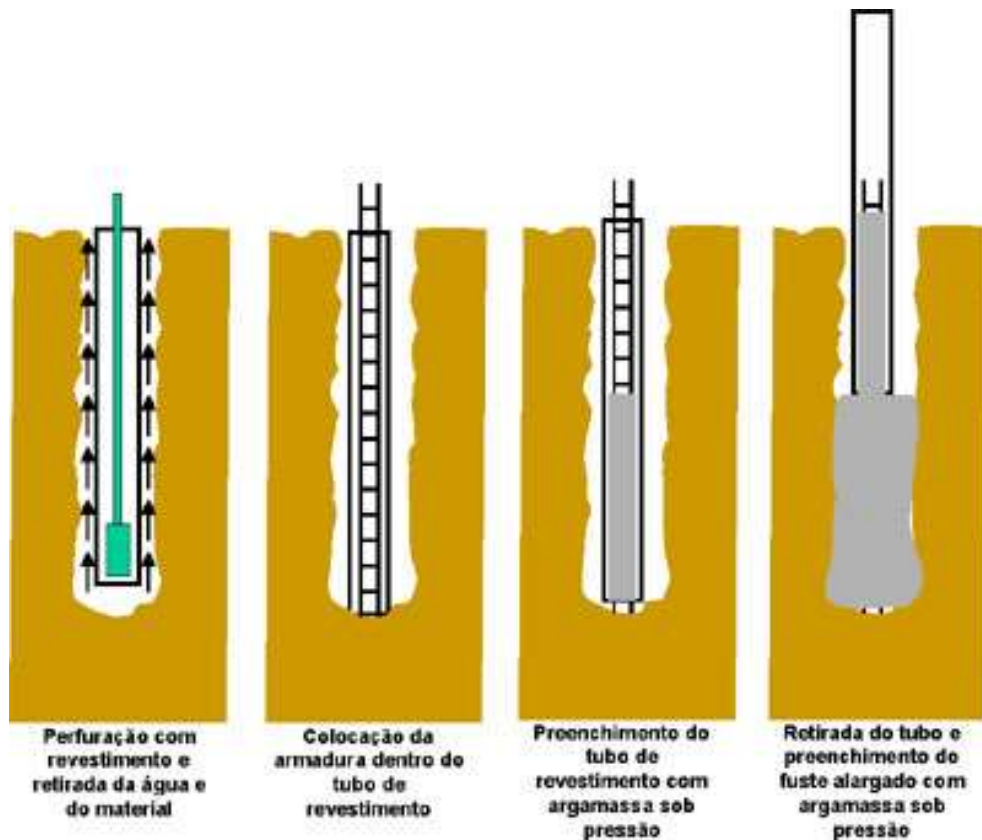
2. Instalação da armação: após a perfuração, continua-se com a injeção de água sem avançar a perfuração, para limpeza do furo. A seguir instala-se a armadura.



ESTACAS RAIZ



Equipamento de perfuração de estacas raiz



Execução de estaca tipo raiz

ESTACAS RAIZ



Carga tf Diâmetro mm	Ø 450	Ø 410	Ø 310	Ø 250	Ø 200	Ø 180	Ø 150	Ø 120	Ø 100
200									
180	10 Ø 20								
160	8 Ø 20								
140	6 Ø 20	7 Ø 22							
120	4 Ø 20	6 Ø 20							
100		4 Ø 20							
90			6 Ø 20						
80			5 Ø 20						
70			6 Ø 16						
60			5 Ø 16						
50	4 Ø 16	6 Ø 16		6 Ø 16					
40				5 Ø 16					
30			4 Ø 16		5 Ø 16				
20				4 Ø 16		3 Ø 20			
10					4 Ø 16	4 Ø 16	3 Ø 20		
						3 Ø 16	3 Ø 16	3 Ø 20	
								6 Ø 16	
								1 Ø 25	
									1 Ø 25
ESTRIBOS	Ø 6 ³ c/20	Ø 6 ³ c/20	Ø 6 ³ c/20	Ø 6 ³ c/20	Ø 5 ² c/20				

Argamassa
 $\gamma_c = 1.6$
 Aço CA-50
 $f_{yd} = 420 \text{ MPa}$

ESTACAS RAIZ



1 - Diâmetro da estaca (mm)	450	410	310	250	200	160	150	120	100
2 - Diâmetro externo do tubo (mm)	406	355	275	220	168	140	127	102	80
3 - Área de secção transversal (cm ²)	1590	1320	755	491	380	201	177	113	79
4 - Perímetro da estaca (cm)	141	126	98	79	63	50	47	38	31
5 - Distância mínima entre eixos (cm)	135	130	100	80	70	60	60	60	60
6 - Distância mínima eixo-divisa (cm)	40	30	30	30	30	30	30	30	30
7 - Diâmetro extremo do estribo (mm)	330	280	200	155	110	-	-	-	-
8 - Diâmetro interno da coroa (mm)	374	323	235	180	133	120	105	72	60
9 - Diâmetro da estaca em rocha (mm)	355	305	228	178	127	101	76	-	-
10 - Cimento (kg)	163	135	70	50	30	20	15	10	8
11 - Area (L)	272	226	113	75	47	30	27	17	12
12 - Armação long. mínima CA-50 (mm)	10 Ø 20	6 Ø 20	6 Ø 20	6 Ø 16	5 Ø 16	4 Ø 16	3 Ø 16	1 Ø 25	1 Ø 25
13 - Estribo CA-25 (mm)	Ø 6,3	Ø 6,3	Ø 6,3	Ø 6,3	Ø 5	-	-	-	-

ESTACAS RAIZ



(Fig.01)



(Fig.03)



(Fig.04)



(Fig.02)

ESTACAS RAIZ



ESTACAS RAIZ



ESTACAS RAIZ



ESTACAS RAIZ



ESTACAS RAIZ



Vídeo: Estaca raiz – perfuração em rocha.
Fonte: Acervo ZF.

ESTACAS RAIZ

Reforço de fundações



ESTACAS RAIZ

Reforço de fundações



**Caso de obra onde foram
utilizadas as duas soluções
combinadas.**

ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

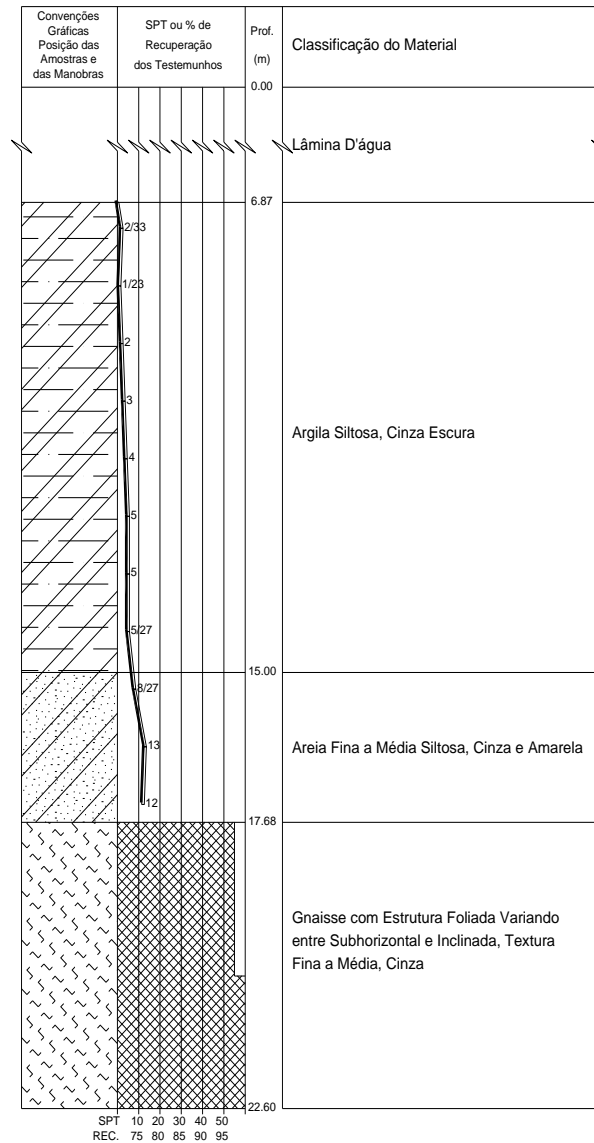
Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra

Sondagem



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



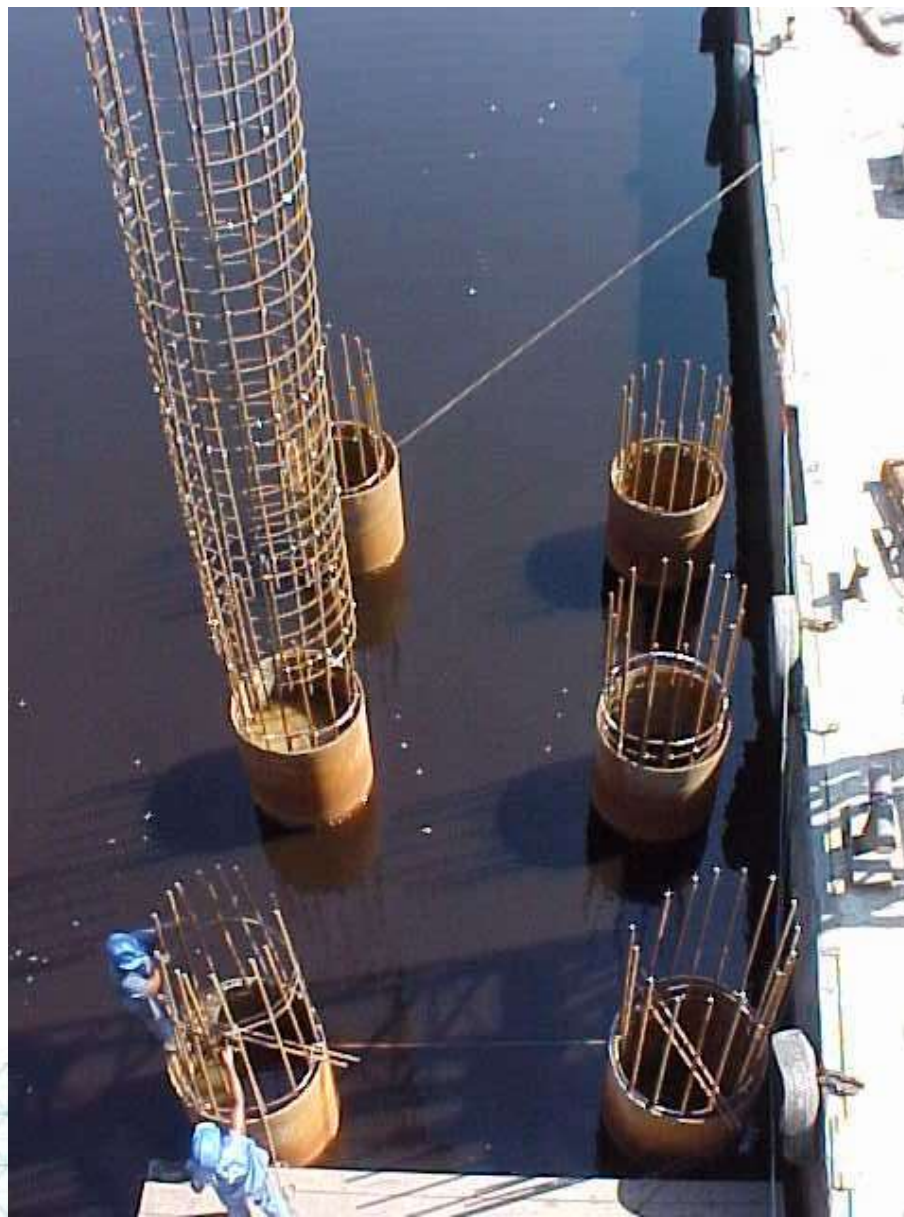
ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



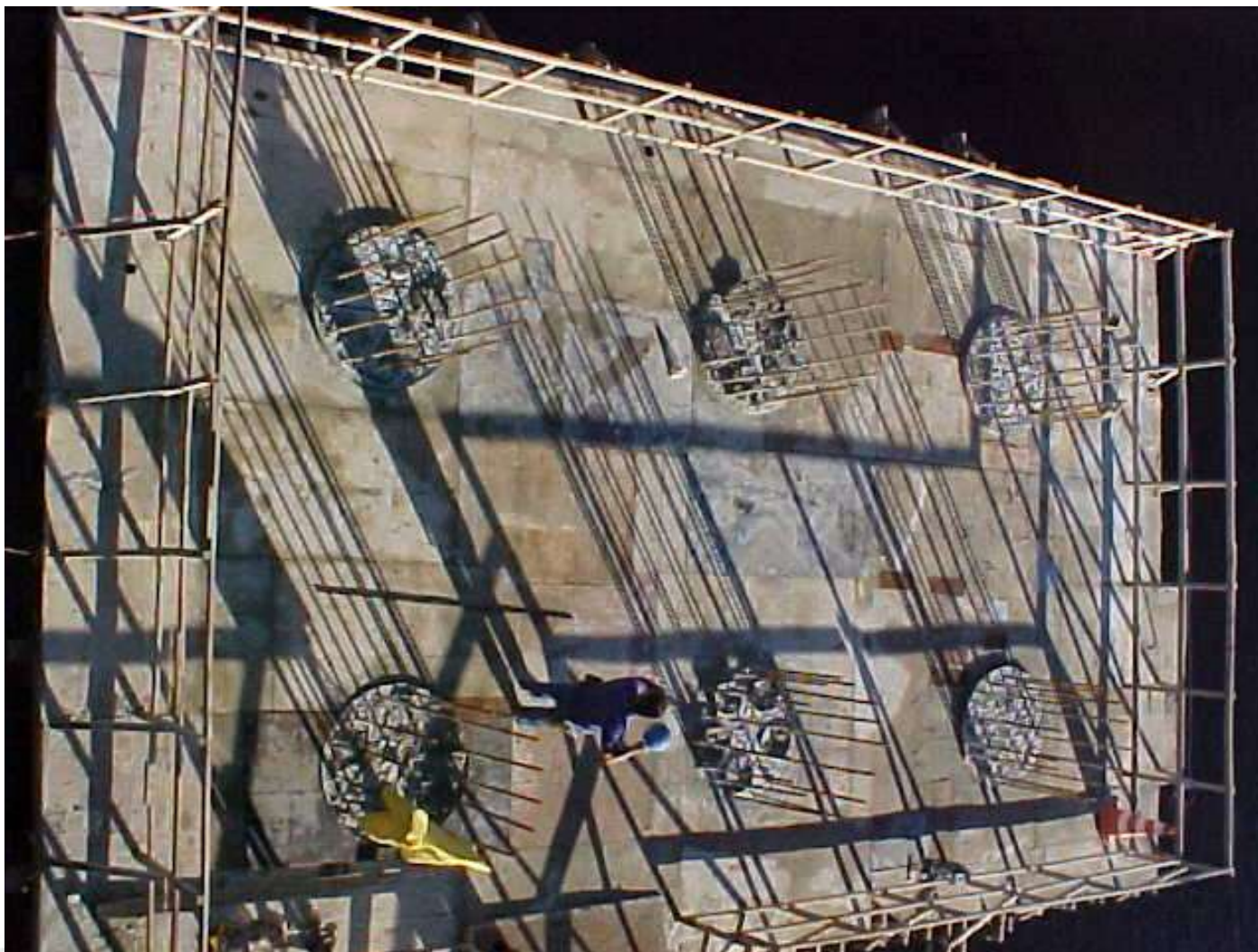
ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



FIM
OBRIGADO
CELSO@ZF SOLOS.COM.BR