



geofix

6° 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?

São elementos estruturais cuja função é transmitir para o terreno as ações atuantes na estrutura. Uma fundação deve transferir e distribuir seguramente as ações da superestrutura ao solo, de modo que não cause recalques prejudiciais ao sistema estrutural ou ruptura do solo.

A escolha do tipo de fundação deve considerar aspectos que vão desde a natureza dos solos até o orçamento completo da obra. Deverão ser conhecidos pelo menos:

- natureza e características do solo no local da obra (investigação geotécnica “in situ” e ensaios de laboratório);
- posicionamento do lençol freático (investigação geotécnica e poços de prova);
- disposição, grandeza e natureza das cargas a serem transferidas ao subsolo (fornecidas pelo projeto de estrutura);
- limitações dos tipos 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 orçamento completo (material, mão-de-obra, transporte) das soluções possíveis.

Tipos de Fundação:

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”, podem ser:

- Brocas manuais
- Estacas Escavadas peq. diâm.
- Estacas Strauss
- Hélice Contínua Monitorada Franki
- Raiz**
- Estaca Escada gde. diâm.
- Barrete

CRITÉRIOS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO

Estado Limite Último (ELU)

- Limite de ruptura do elemento estrutural

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

- Limite de ruptura do sistema estaca/solo



CRITÉRIOS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO

CARGA DE RUPTURA - ELU

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

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

Em que:

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

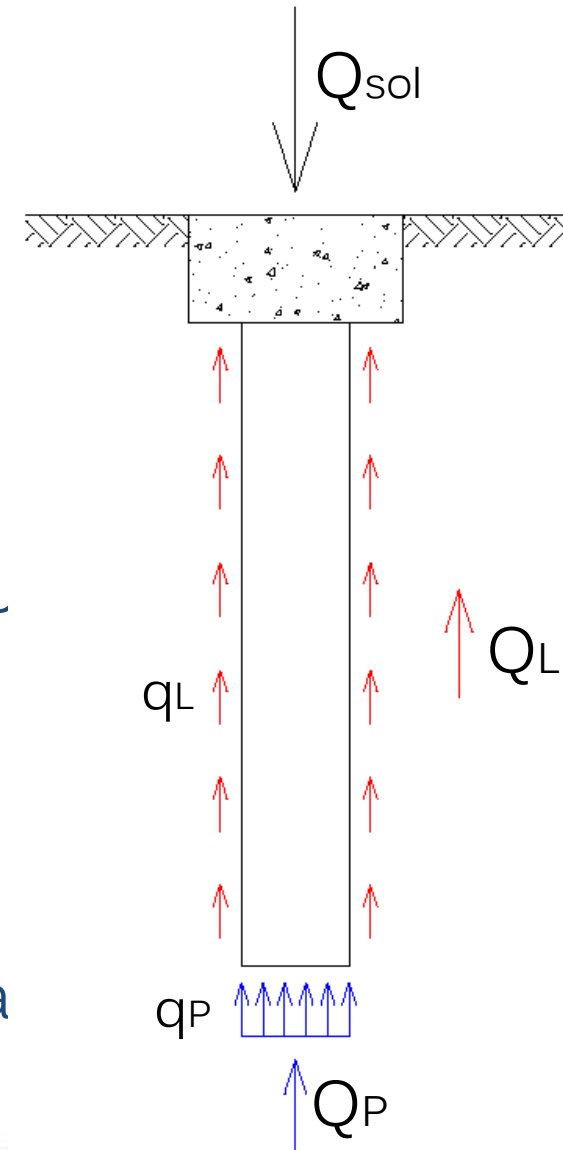
A_P : área de ponta;

q_P : resistência de ponta;

U : perímetro da estaca;

q_L : adesão lateral;

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



CRITÉRIOS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO

Estado Limite de Serviço (ELS)

- Limite de recalques e deslocamentos excessivos



CRITÉRIOS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO

CARGA ADMISSÍVEL - ELS

Carga admissível é a carga suportada pelo sistema estaca/solo que não causa ruptura e provoca apenas recalques suportáveis pela estrutura. A carga máxima aplicada pela estrutura (Q_{sol}) pode ser no máximo igual a carga admissível.

$$Q_{sol} \leq Q_{adm} \quad \gg \text{Atendido ELS}$$

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

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE: ESTACÕES E BARRETES

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Existem basicamente dois tipos de estacas escavadas com fluido estabilizante:

- a) Estacões: estacas circulares com diâmetro variável entre 0,60 e 2,00 m, escavadas por rotação.

- b) Barretes ou estacas diafragma: estacas com seção transversal retangular, escavadas com “clam-shells”. Normalmente de 0,30 a 0,60 m na menor dimensão e 2,50 e 3,20 na maior dimensão, ou ainda formando figuras geométricas com esses elementos.

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Definições e características

- Trata-se de estacas moldadas in loco com uso de fluido estabilizante (lama bentonítica ou polímero) cuja função é estabilizar as paredes das escavações, garantir a boa qualidade das peças executadas por concretagem submersa e manter resíduos da escavação em suspensão, evitando sua deposição no fundo da escavação.
- Essas estacas são executadas geralmente quando se tem cargas elevadas e condições adversas do subsolo, tais como solo mole, areias fofas lençol freático a pouca profundidade etc.
- Devido à degradação ambiental, tem-se utilizado polímeros, ou técnicas para substituição total ou parcial da lama bentonítica para concretagem.

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Características do fluido estabilizante

- Densidade – Balança de lama
1,025 a 1,100 g/cm³
- Viscosidade – Funil de Marsh
30 a 90 s (lama bentonítica)
> 100s (polímero)
- pH – Papel pH
7 a 11
- Teor de areia – Baroid sand content
≤ 3% (lama bentonítica)
0% (polímeros – toda a areia decanta)

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Características do concreto

- $f_{ck} \geq 30$ MPa
 - Consumo mínimo de cimento = 400kg/m^3
 - Abatimento (“Slump-test”) = $22 \pm 3\text{cm}$
 - Fator água/cimento = 0,55
 - Diâmetro máximo do agregado não superior a 10% do diâmetro interno do tubo tremonha – pedra 1 com dimensão máxima característica de 19mm.

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Características

- Esse tipo de estaca não causa vibração, ruído é suportável, porém 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, portanto é muito utilizada em casos onde não é possível escavar a obra antes da execução das estacas.
- Os métodos 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 em projeto 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.

“Pode-se observar que essas diversas teorias conduzem a resultados tremendamente díspares. De fato, o fator N_q varia cerca de cinco vezes entre os valores máximo e mínimo para $f = 30^\circ$ e cerca de dez vezes para $f = 40^\circ$.

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

ESTACA ESCAVADA, BARRETE E RAIZ

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em solo



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em solo



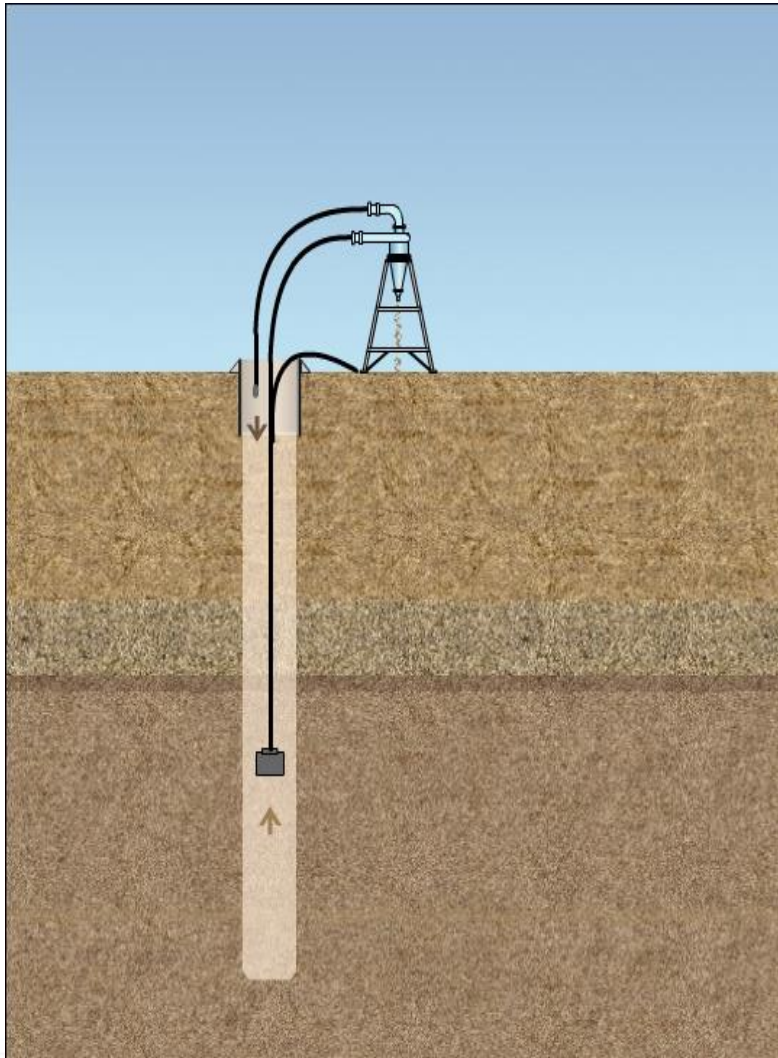
ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

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

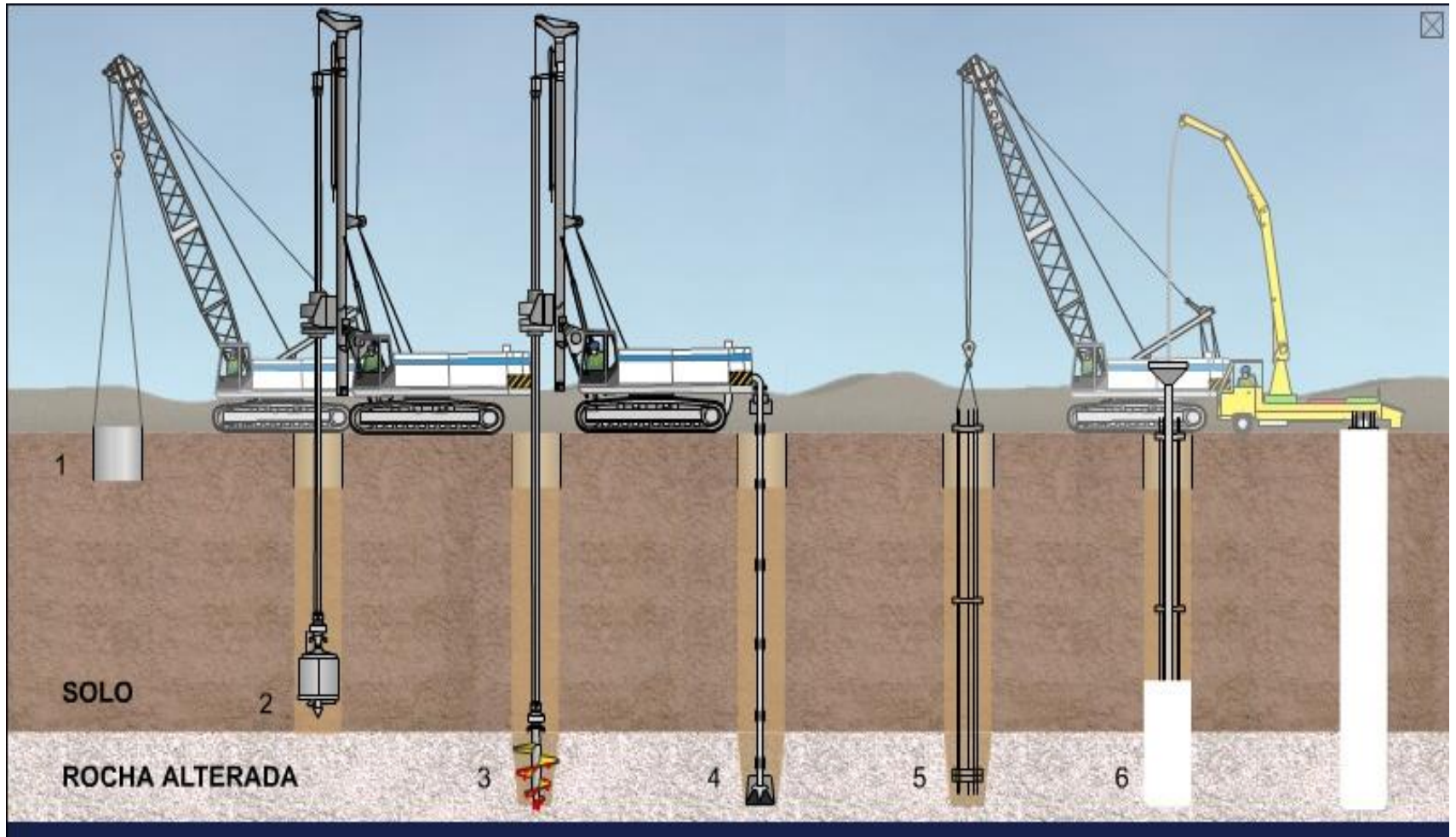
Arrasamento das estacas, executado com rompedor na posição horizontal.

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



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



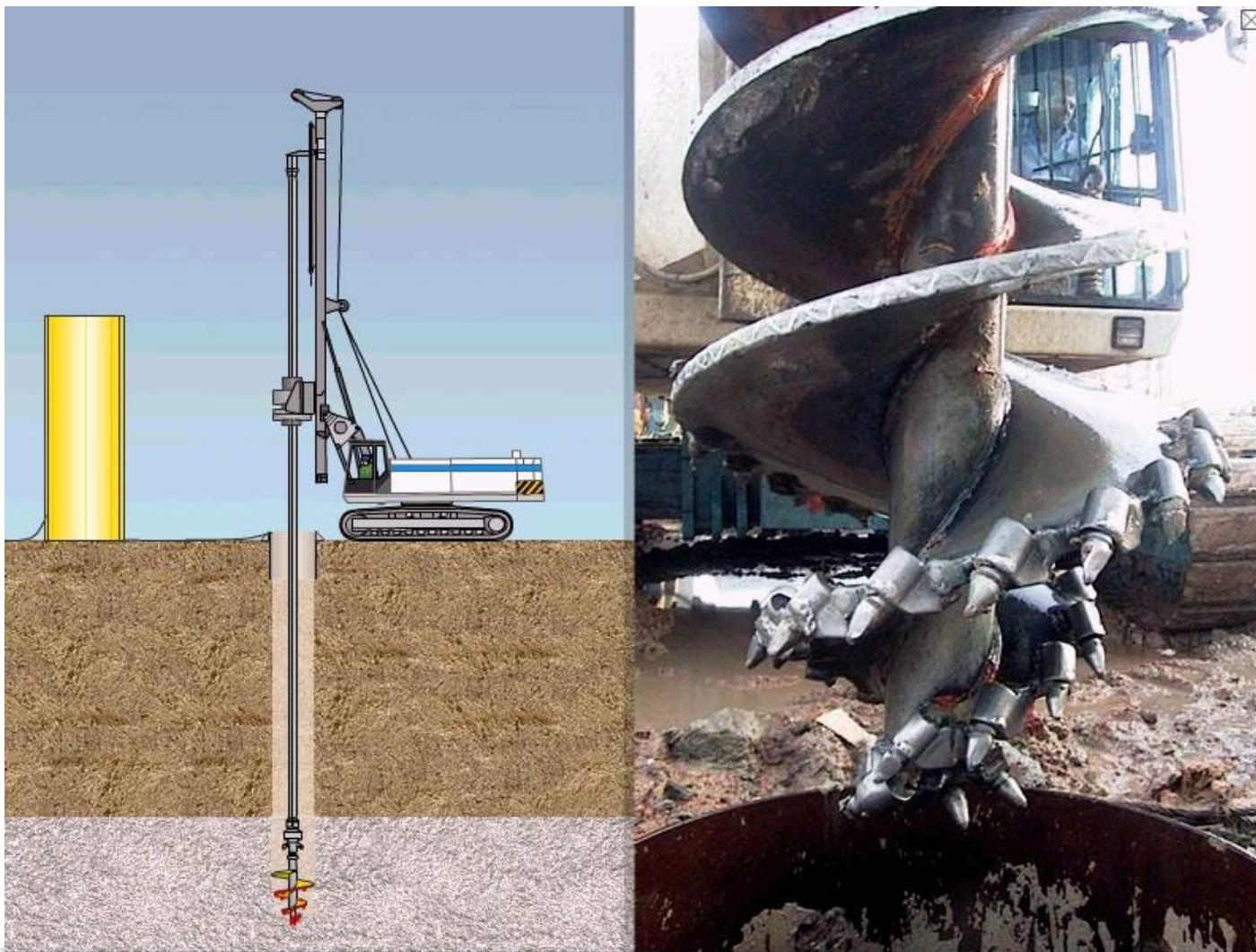
ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha alterada



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha alterada



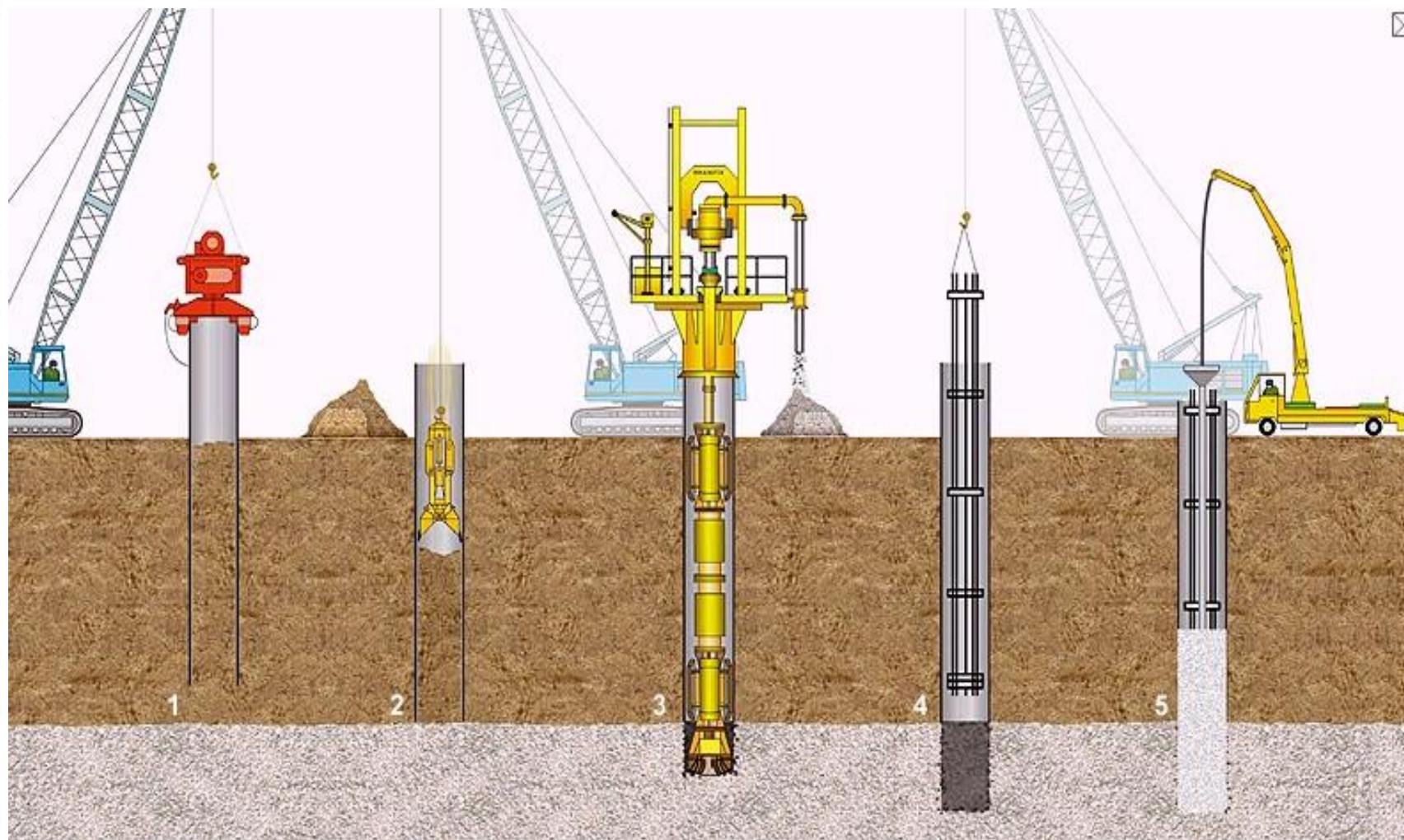
ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha alterada



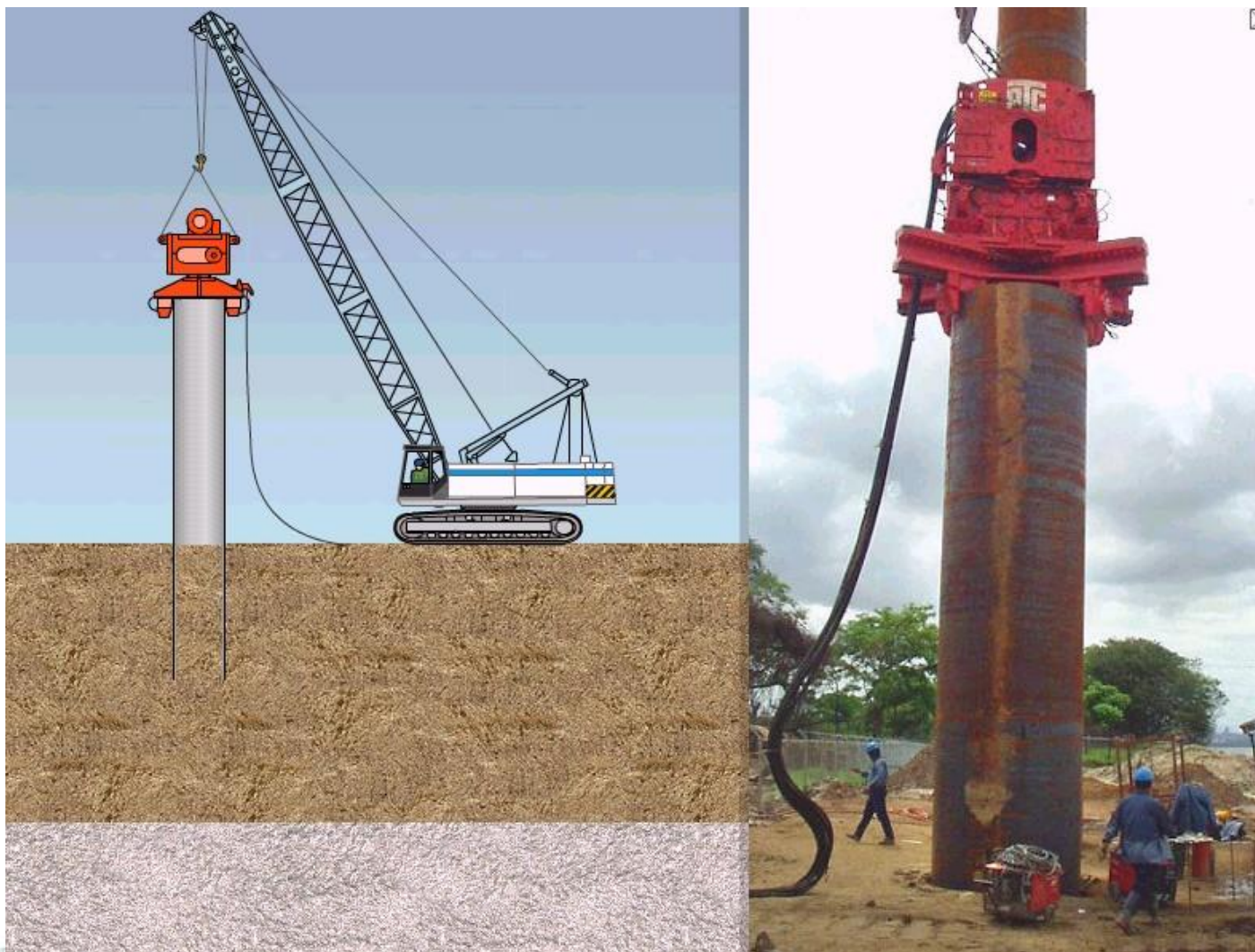
ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha sã



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha sã



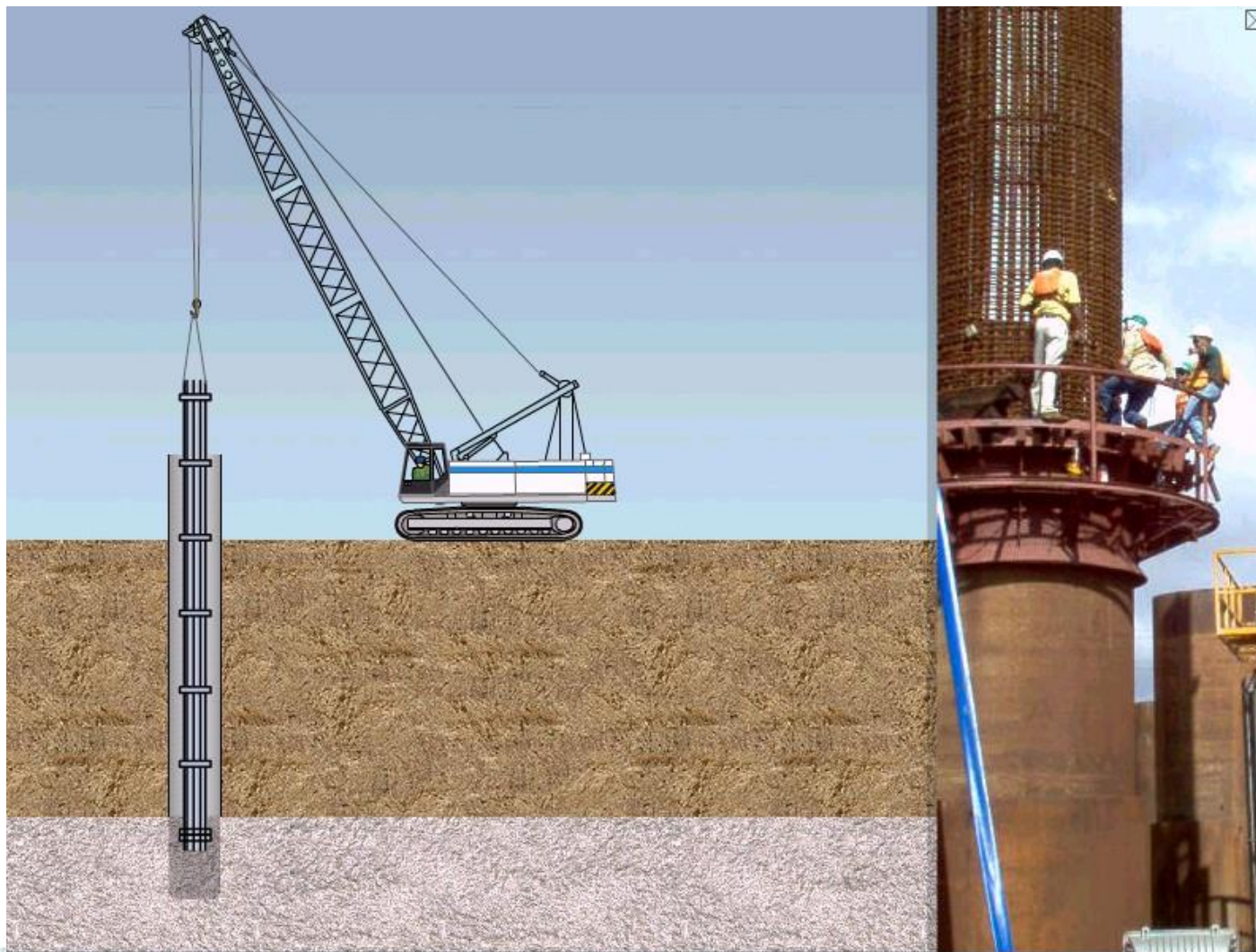
ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha sã



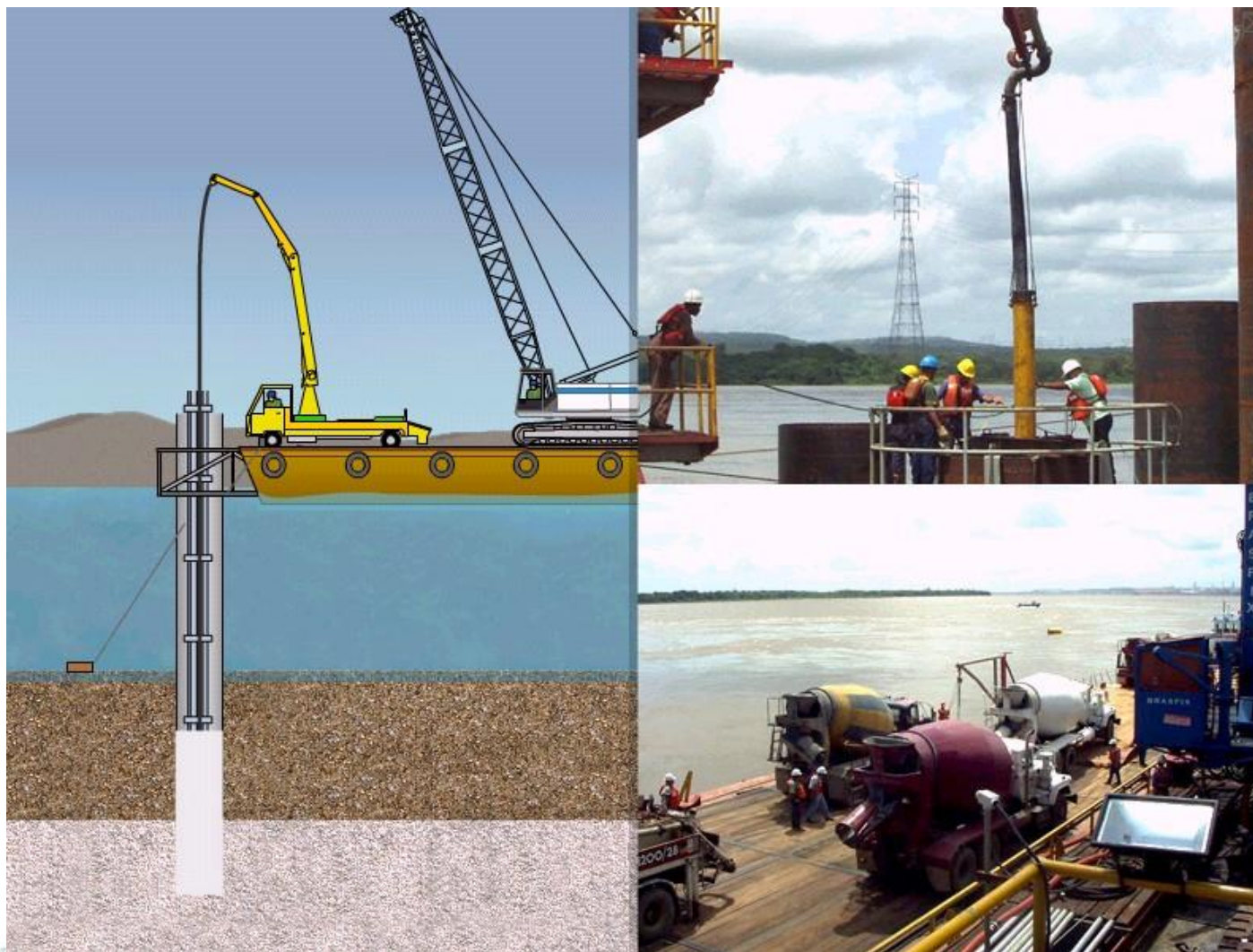
ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha sã



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha sã

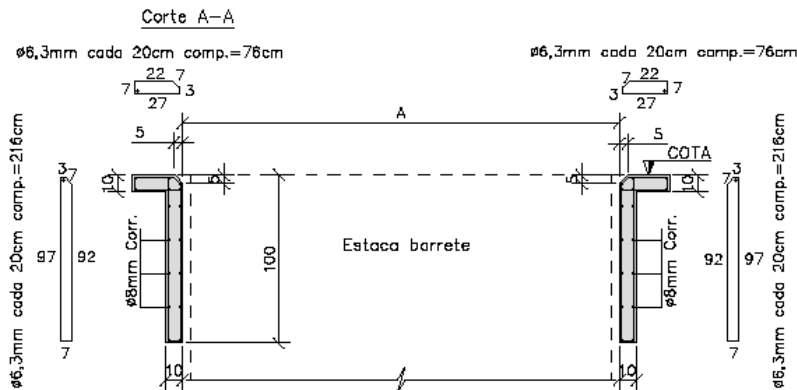
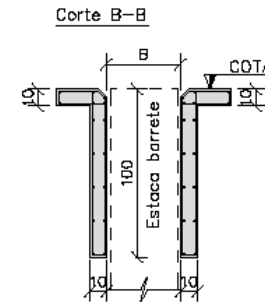
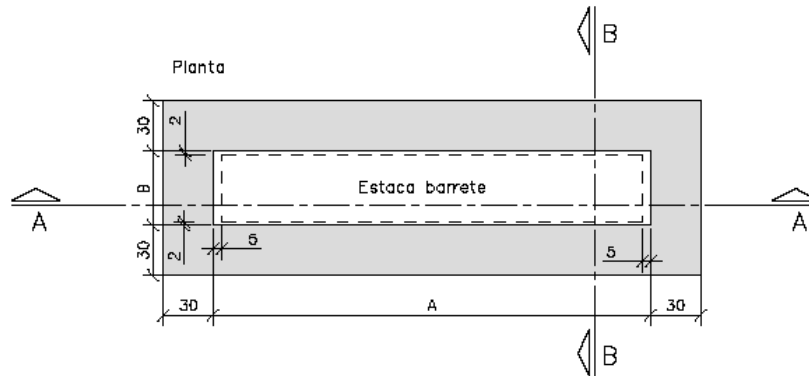


ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estacas barrete

DETALHE DE MURETA GUIA PARA BARRETE

(Sem escala)



Barrete		Peso da 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

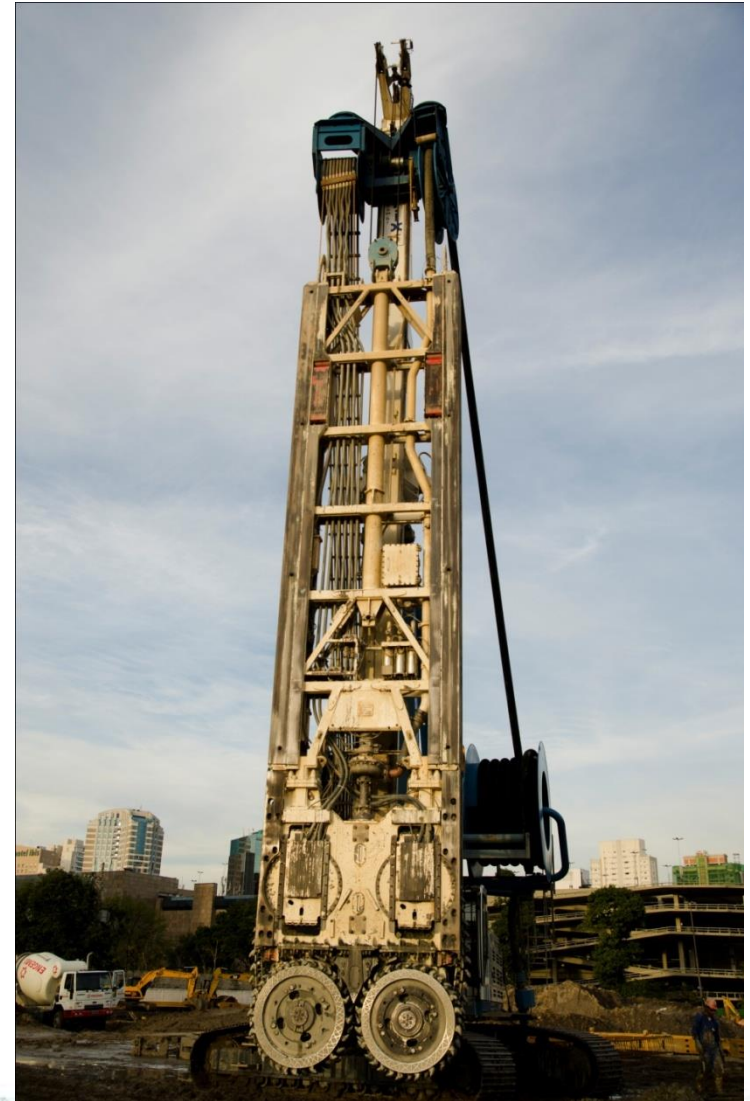


Vídeo: Escavação com “clam shell”.
Fonte: Acervo ZF.

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estacas barrete

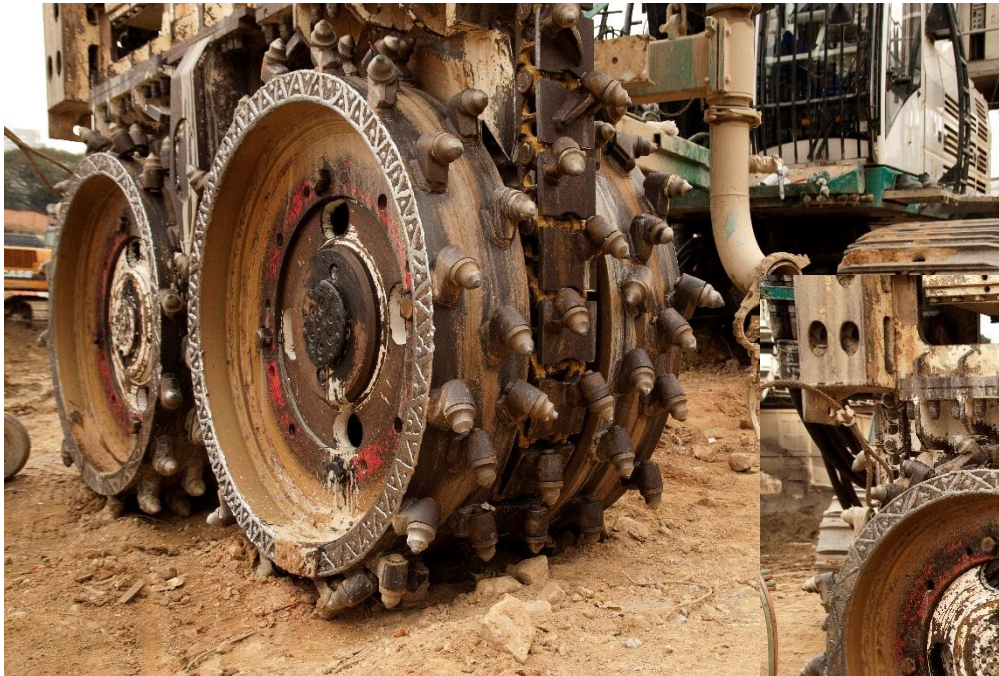
Equipamento – perfuração em rocha:



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estacas barrete

Equipamento – fresa:



ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estacas barrete



Vídeo: Arrasamento de estaca barrete.

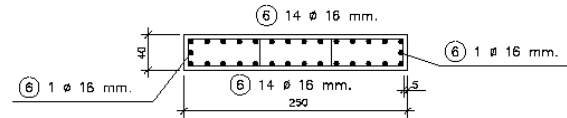
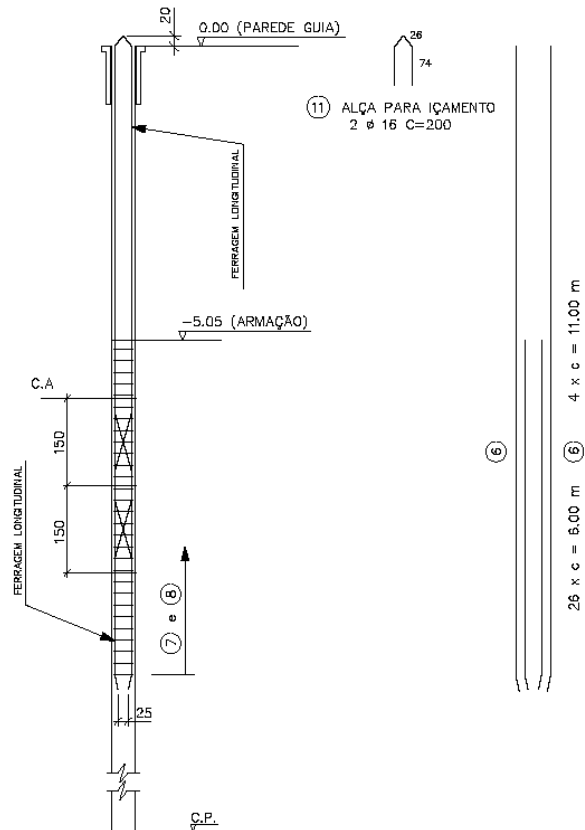
Fonte: Acervo ZF.

ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estacas barrete

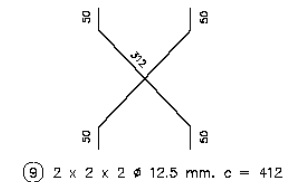
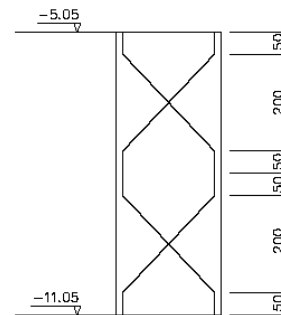
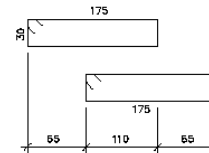
DETALHE DE ARMAÇÃO DAS ESTACAS BARRETE

(Sem escala)



7 E ϕ 12.5 cd 100

8 E ϕ 8 cd 20
C = 430



10 4 x 2 x 2 ϕ 12.5 mm. c/ 150 c = 150

6 c = 6.00 m.

6 c = 6.00 m.

ESTACAS RAIZ

ESTACAS RAIZ

Definições e propriedades

- Estaca raiz é uma estaca escavada moldada in loco, injetada com argamassa e considerada de pequeno diâmetro, entre 100 e 450mm, elevada capacidade de carga baseada essencialmente na resistência por atrito lateral do terreno;
- Indicada para grande variedade de situações como locais de difícil acesso, subsolo com presença de matacões, reforço de fundações existentes, entre outros;
- Se constatada a presença de rocha na ponta, pode ser empregada também como estaca com resistência de ponta. Em ambos os casos, o cálculo de uma fundação em estacas raiz é semelhante ao método clássico utilizado em outros tipos de estacas, e baseia-se na capacidade de carga da mesma isoladamente;
- As estacas raiz tem a grande vantagem de atravessar qualquer tipo de terreno, inclusive rocha, matacão, concreto armado e alvenaria. Não causam vibração nem descompressão do terreno.

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.



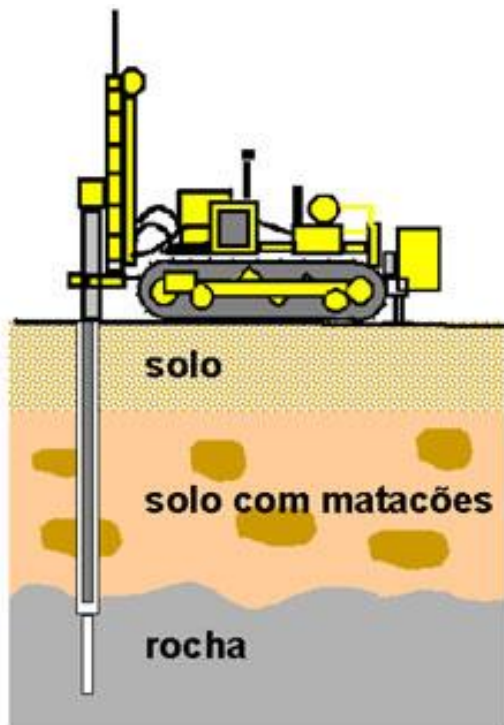
ESTACAS RAIZ

Procedimento

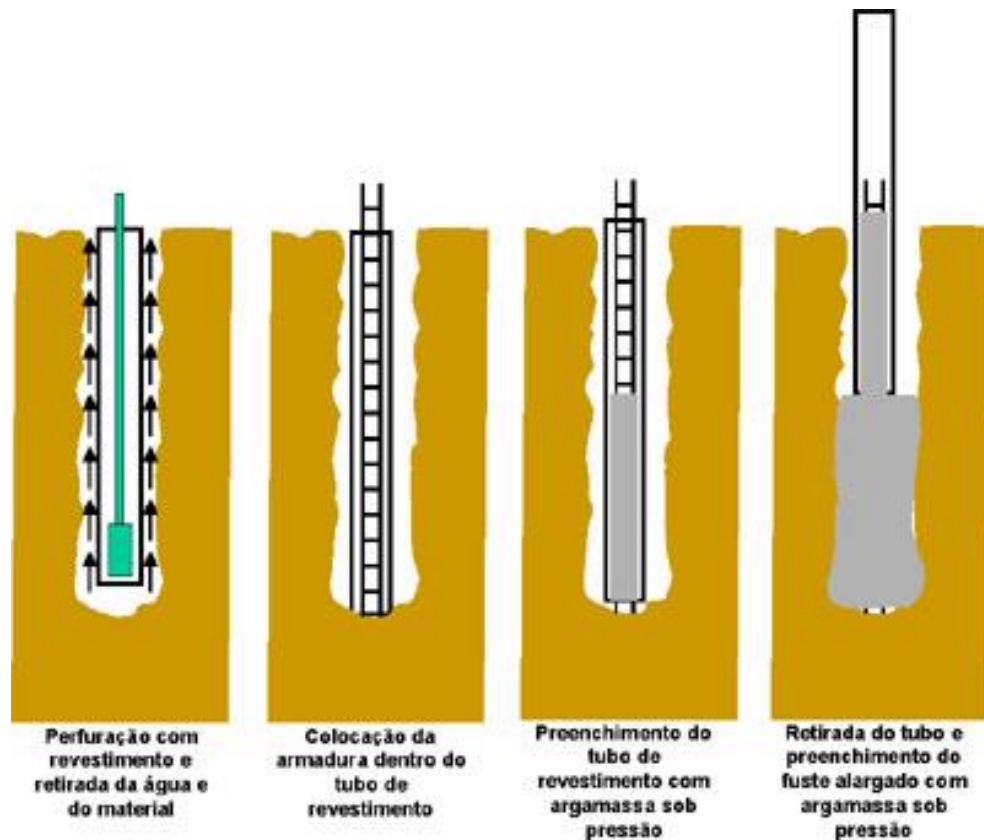
2. Instalação da armação: após a perfuração, continua-se com a injeção de água sem avançar a perfuração, para limpeza do furo. A seguir instala-se a armadura.



ESTACAS RAIZ



Equipamento de perfuração de estacas raiz



Execução de estaca tipo raiz

ESTACAS RAIZ



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: Metodologia executiva – estacas raiz.
Fonte: Roca Fundações S/S Ltda.

ESTACAS RAIZ



Vídeo: Estaca raiz – perfuração em rocha.

Fonte: Acervo ZF.

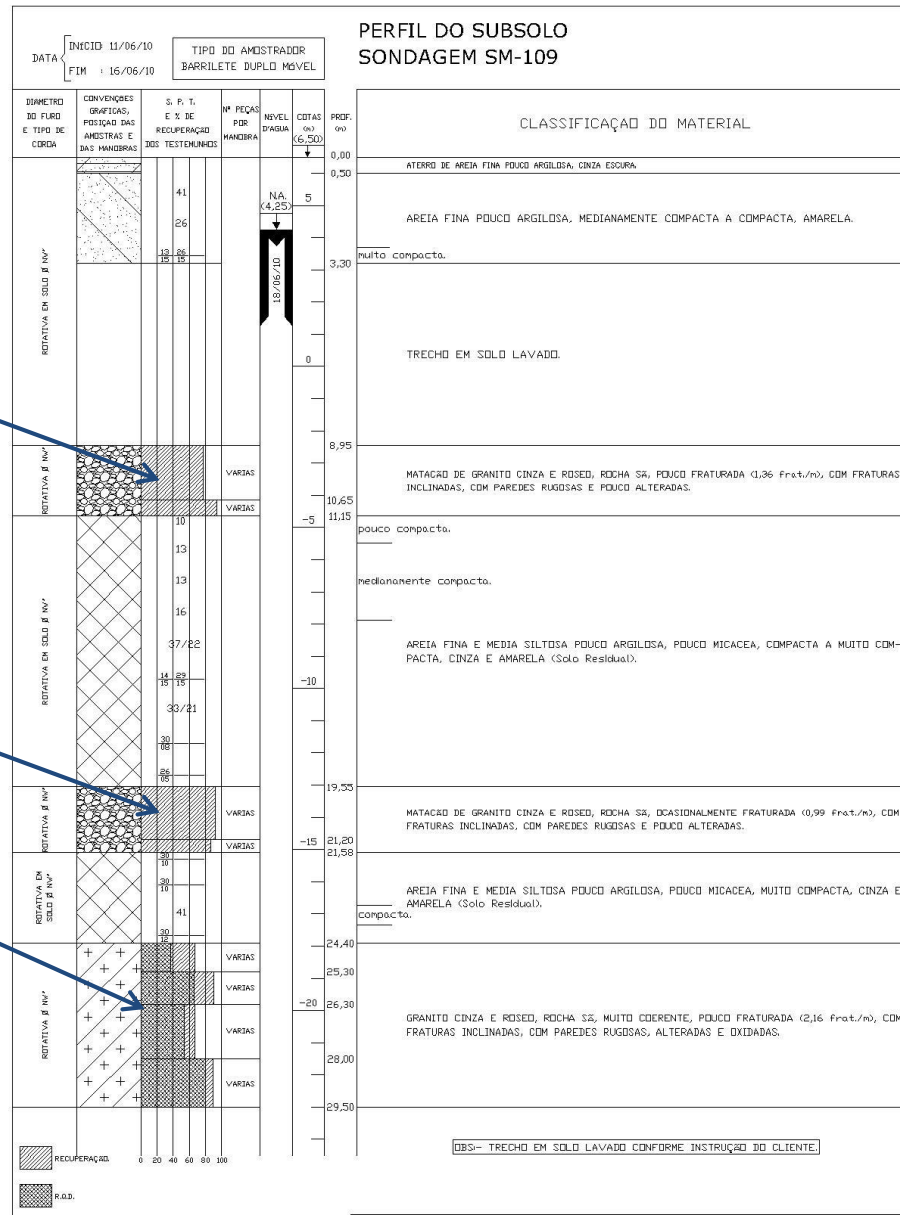
ESTACAS RAIZ

Reforço de fundações



ESTACAS RAIZ

Sondagem – necessidade de estaca raiz



Matacão

Matacão

Rocha

ESTACAS RAIZ

Métodos de previsão de capacidade de carga

David Cabral (1986)

O método de David Cabral é utilizado na previsão de capacidade de carga de estacas raiz pois leva em conta a pressão de injeção da nata de cimento durante o processo de execução.

Esse método leva em consideração a variação de camadas atravessadas pela estaca.

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.

Caso de obra onde foram utilizadas
as duas soluções combinadas.

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



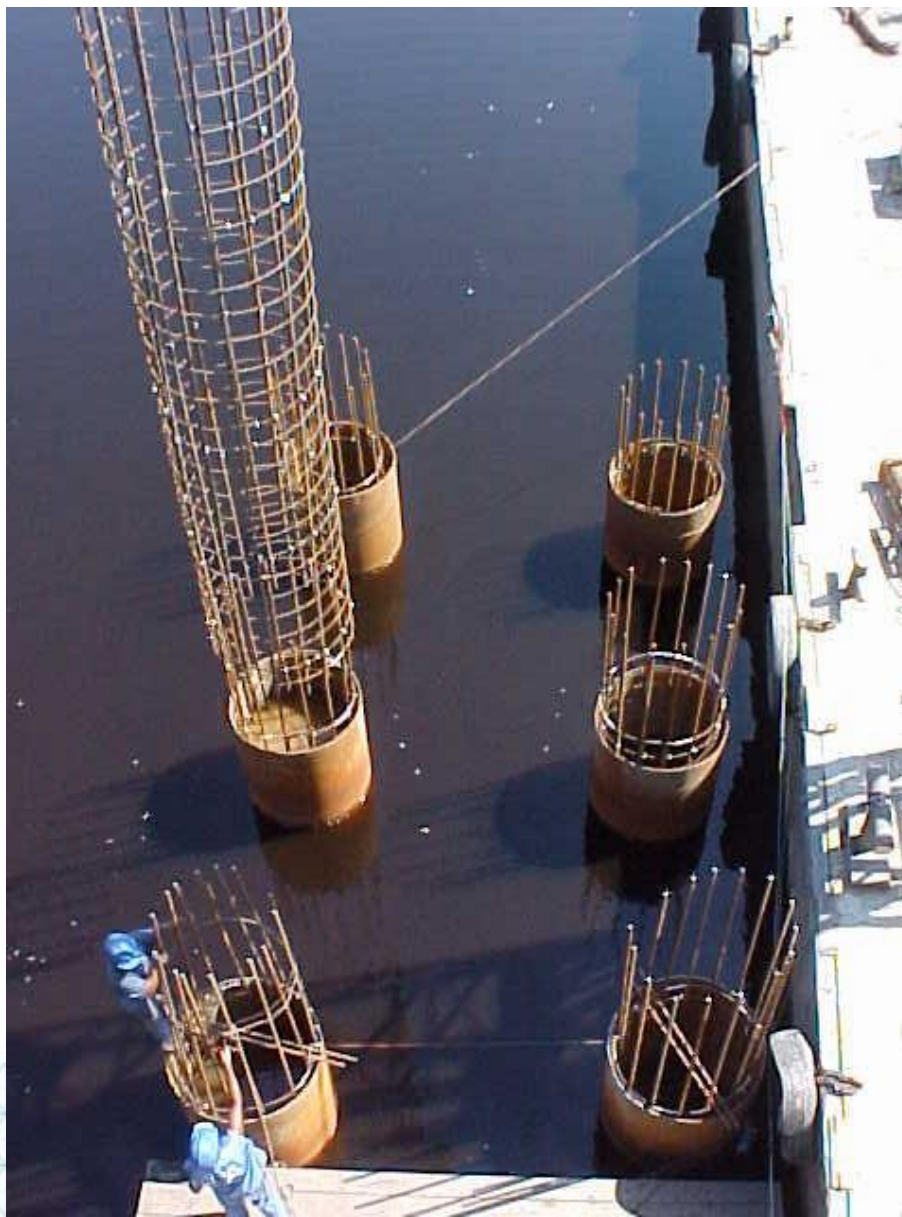
ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

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



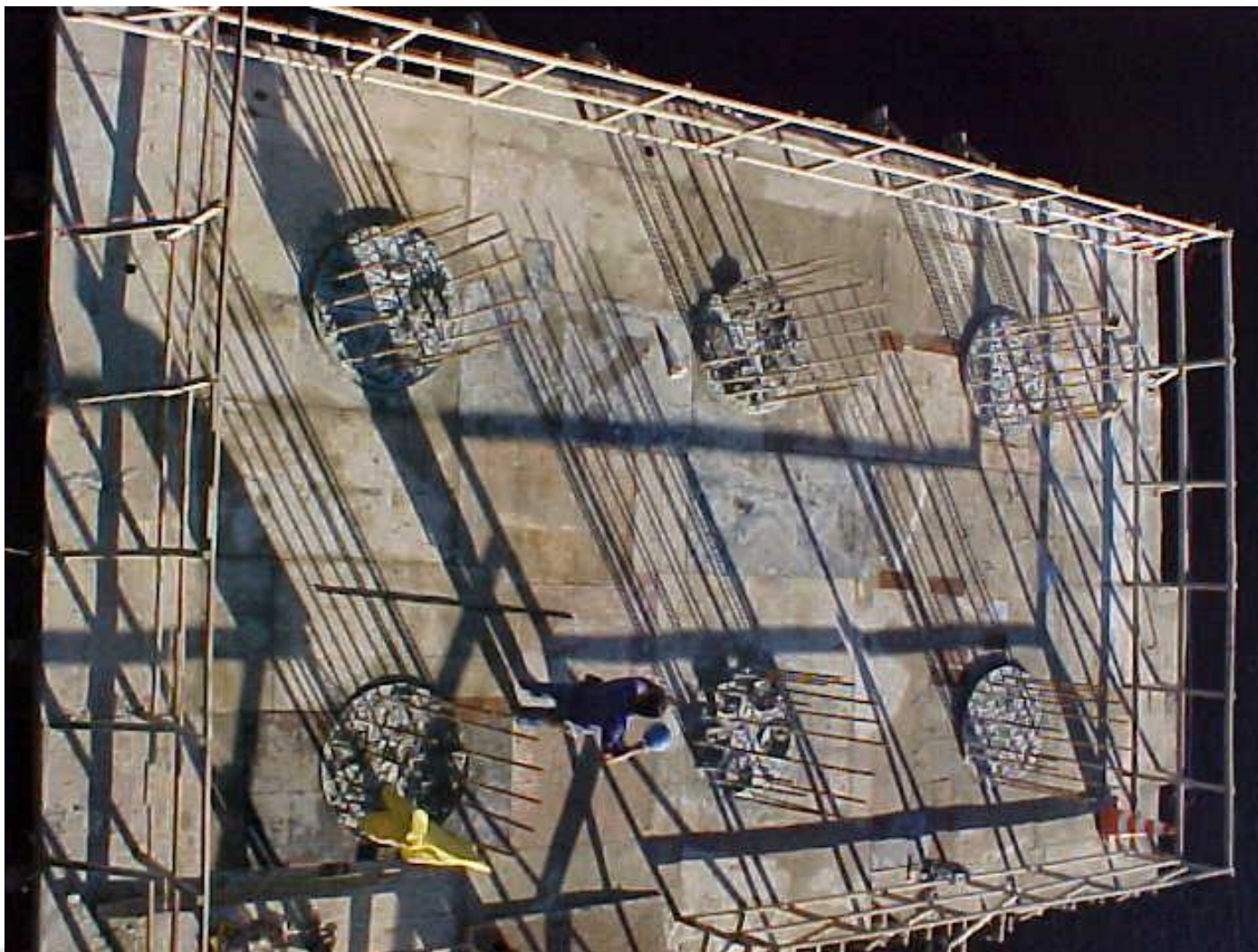
ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

Casos de obra



FIM
OBRIGADO
CONTATO P/DÚVIDAS:
CELSO@ZF SOLOS.COM.BR