

geofix

7º Curso de  
**ENGENHARIA  
APLICADA ÀS  
OBRAS DE  
FUNDAÇÕES E  
CONTENÇÕES**



**FAAP**  
Desde 1947



**ZF** & ENGENHEIROS  
ASSOCIADOS  
S/S

# 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 da fundação deve considerar:

- natureza e características do solo (**investigação geotécnica “in situ” e ensaios de laboratório**);
- lençol freático (**investigação geotécnica e poços de prova**);
- 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:

**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 Escavada gde. diâm.
- Barrete**

# CRITÉRIOS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO

## Estado Limite Último (ELU)

- Limite de ruptura do elemento estrutural

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



# 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 admissíveis pela estrutura**. A carga máxima aplicada pela estrutura ( $Q_{sol}$ ) pode ser no máximo igual a carga admissível.

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

$Q_{adm}$  não deve causar recalques excessivos:

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

# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE: ESTACÕES E BARRETES

# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Existem dois tipos de estacas escavadas com fluido estabilizante:

- a) Estacões: estacas **circulares** com diâmetro variável entre **0,60 e 2,50 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 m** na maior dimensão, ou ainda formando figuras geométricas com esses elementos.

# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

## Definições e características

- São 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. O ideal é que o **nível da lama na escavação esteja pelo menos 1,00 m acima do nível do lençol freático**.
- 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 às questões ambientais, o uso dos polímeros, ou técnicas para substituição da lama bentonítica tem crescido.

# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

## Características do fluido estabilizante

- Densidade – Balança de lama  
1,025 a 1,100 g/cm<sup>3</sup>
- Viscosidade – Funil de Marsh  
30 a 90 s (lama bentonítica)  
> 90 s (polímero)
- pH – Papel pH  
7 a 11
  - Teor de areia – Baroid sand content  
 $\leq 3\%$

# 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
  - Consumo mínimo de cimento =  $400\text{kg/m}^3$
  - 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 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).

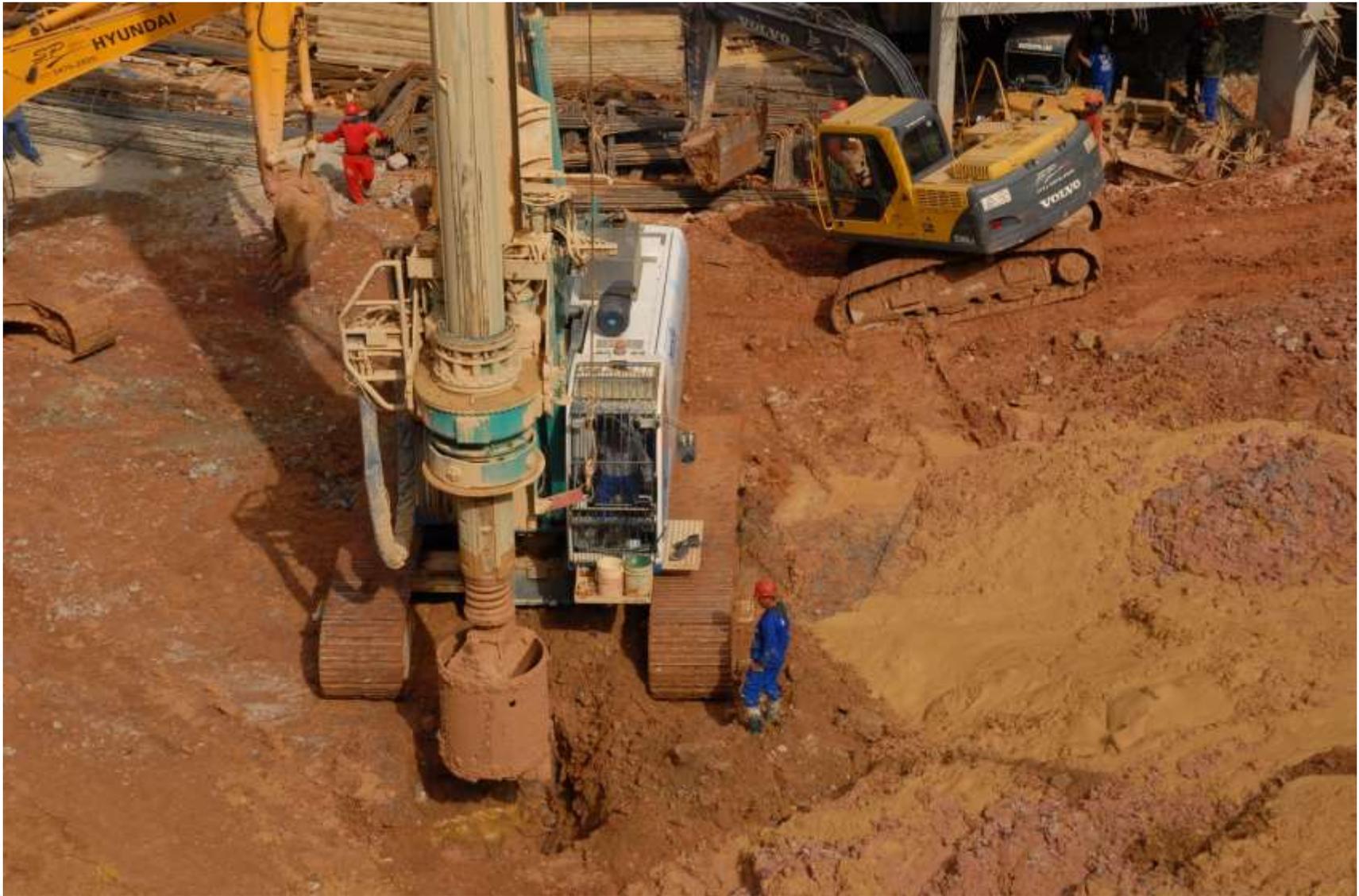
# EXECUÇÃO DAS ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

## Estação em solo



# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE



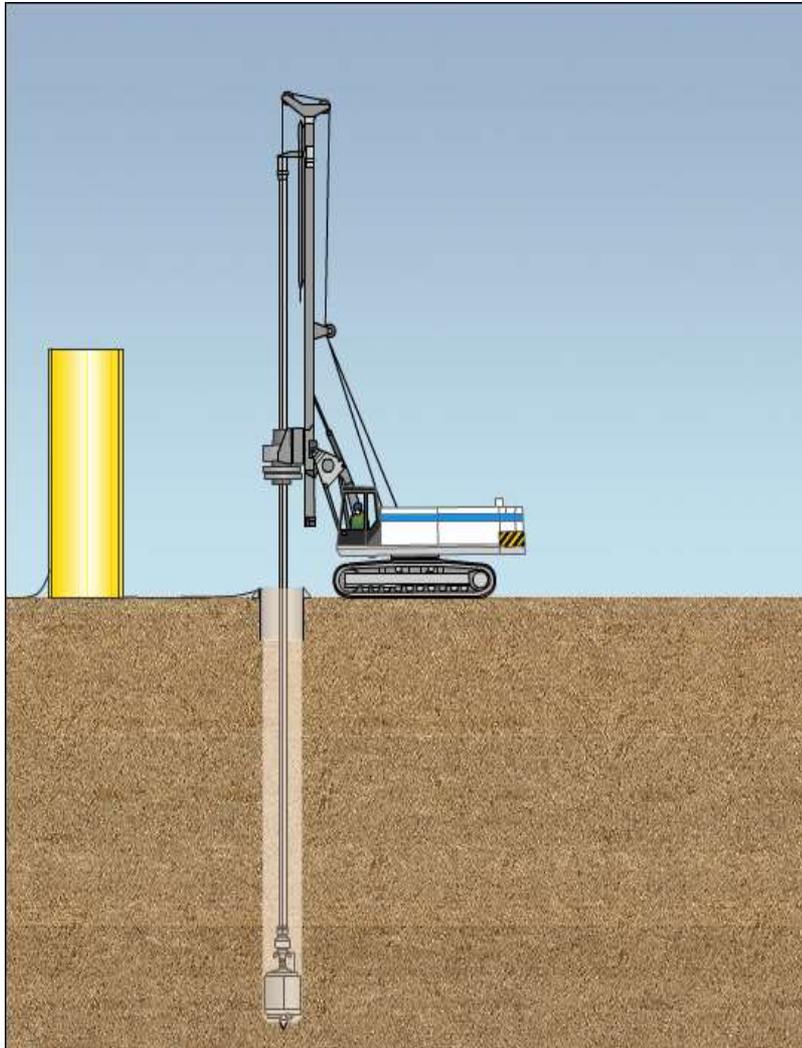
# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

## Estação em solo



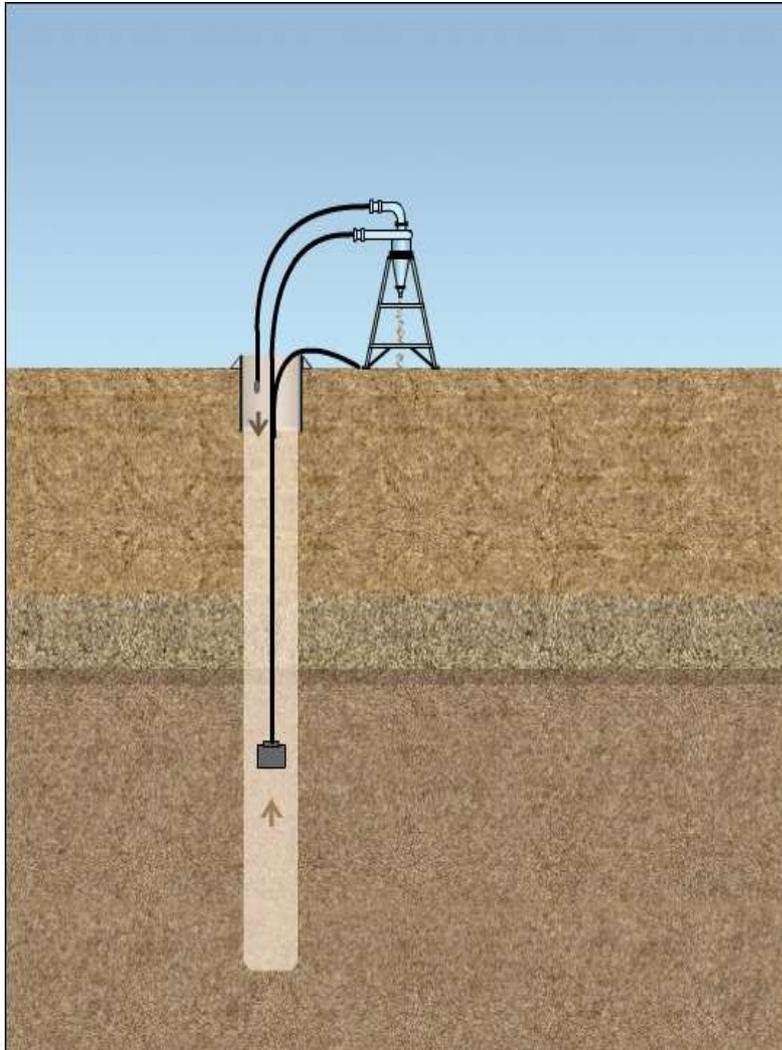
# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

## 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

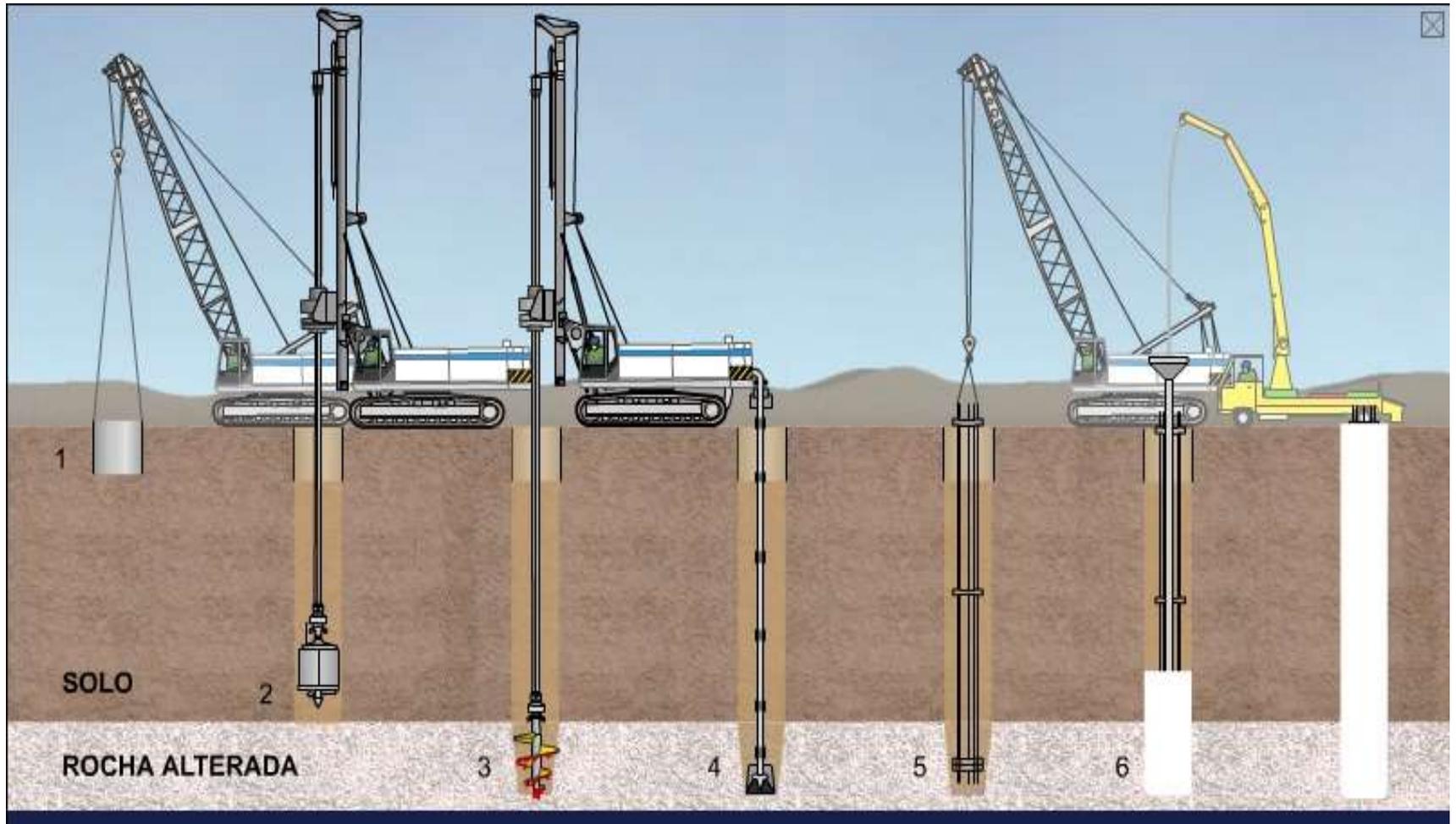
Arrasamento das estacas, executado com rompedor na posição horizontal.

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



# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

## Perfuração em solo e rocha alterada



# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha alterada



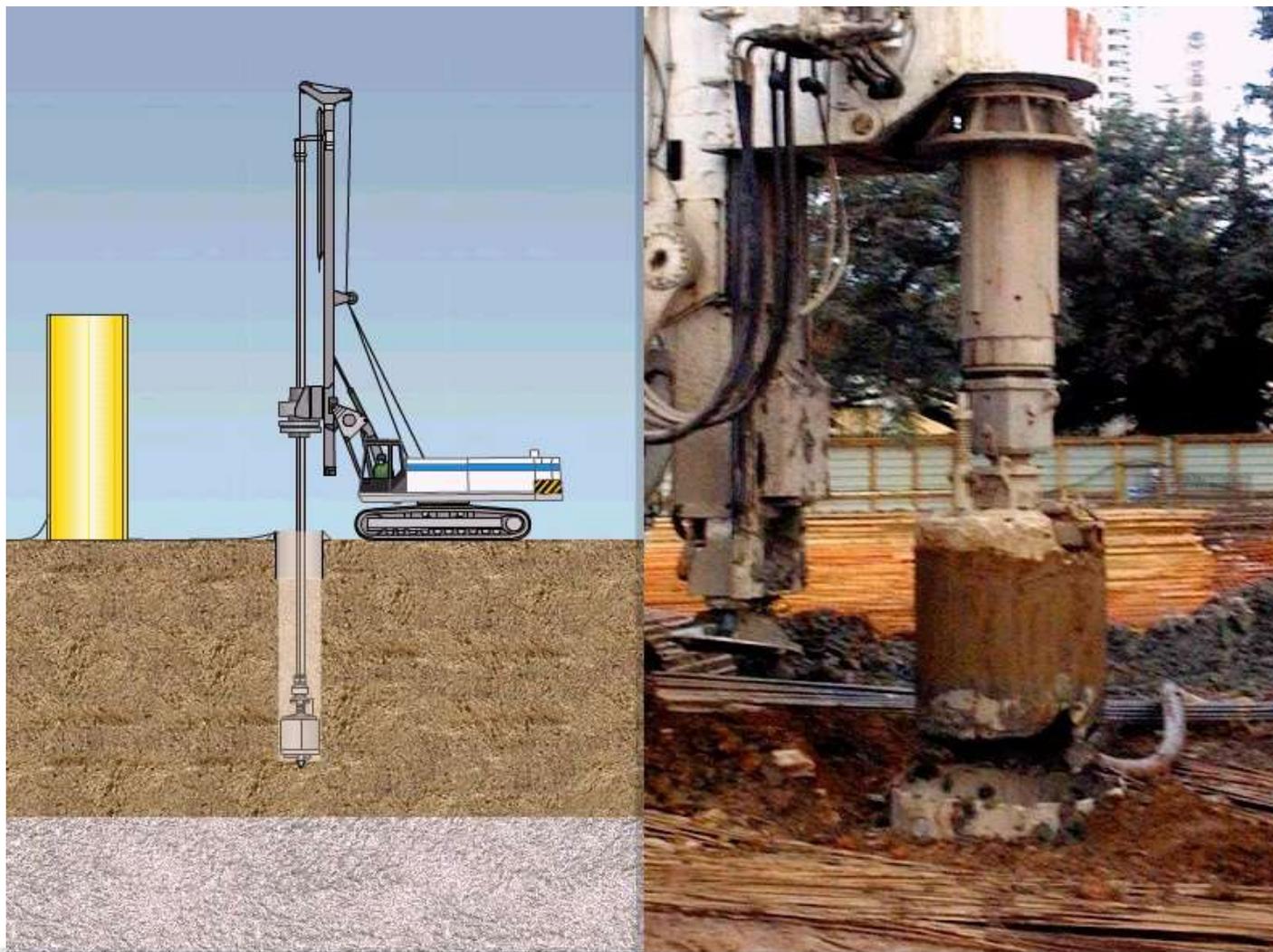
# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

## Estação em rocha alterada



# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha alterada



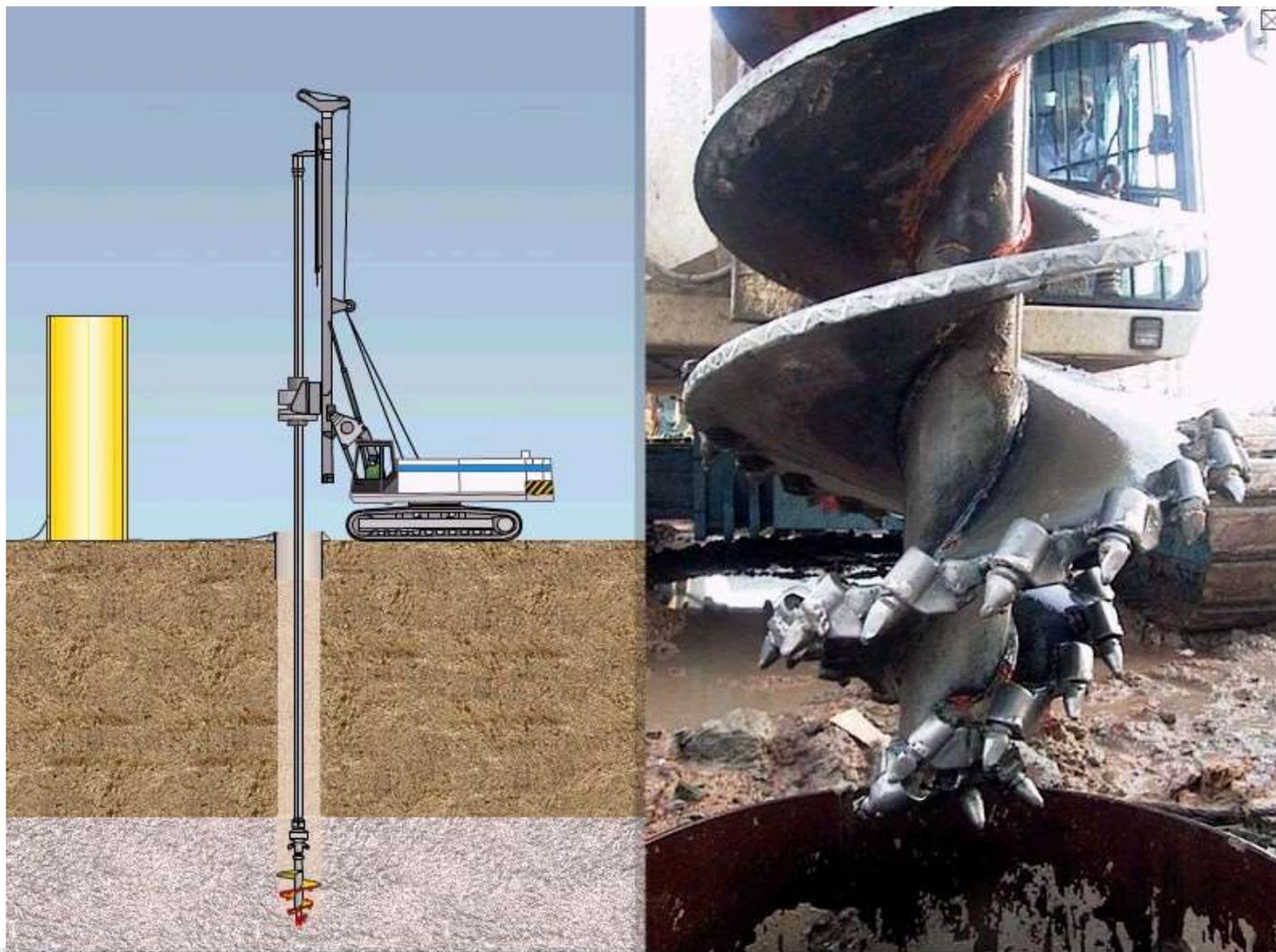
# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

## Estação em rocha alterada



# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha alterada



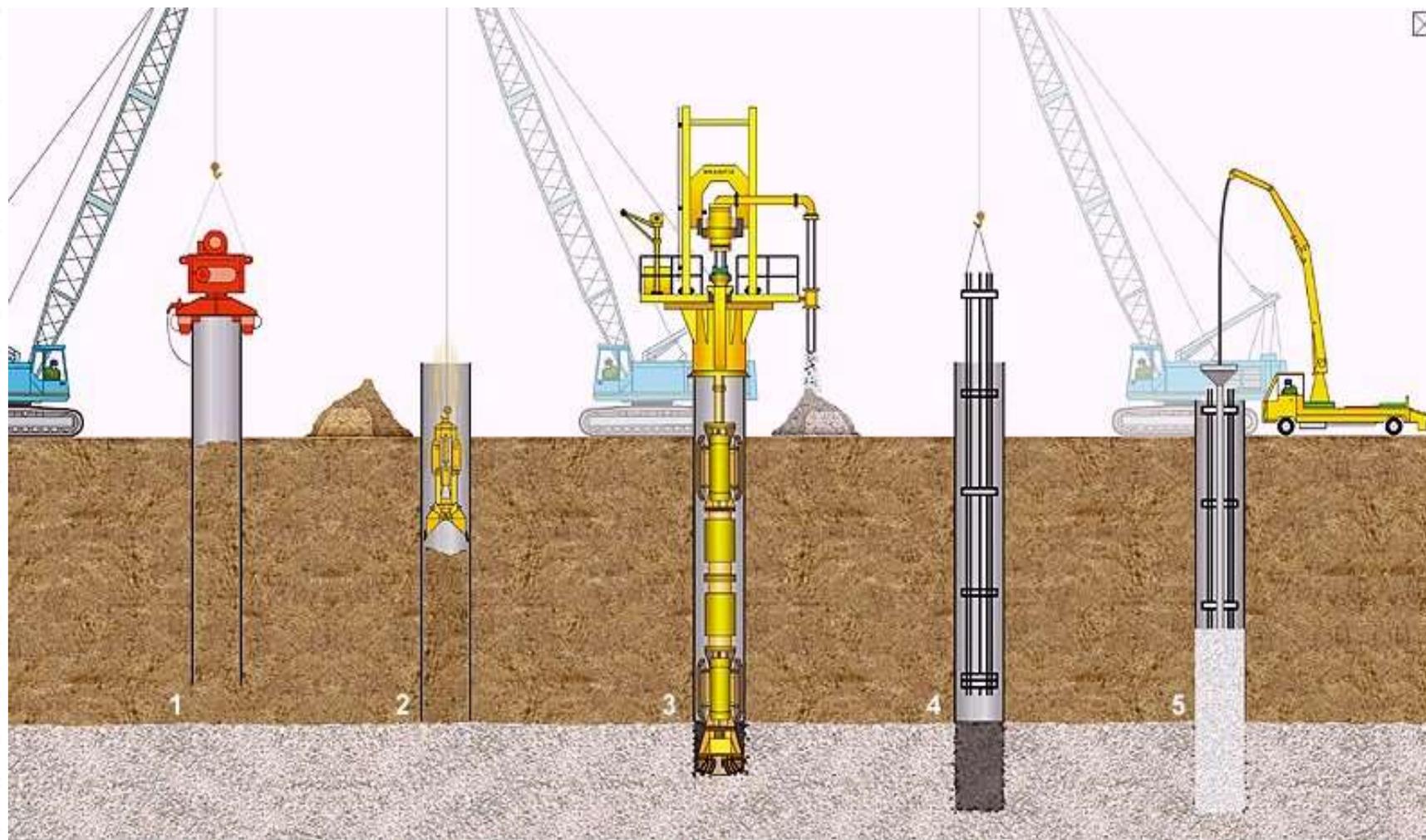
# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha alterada



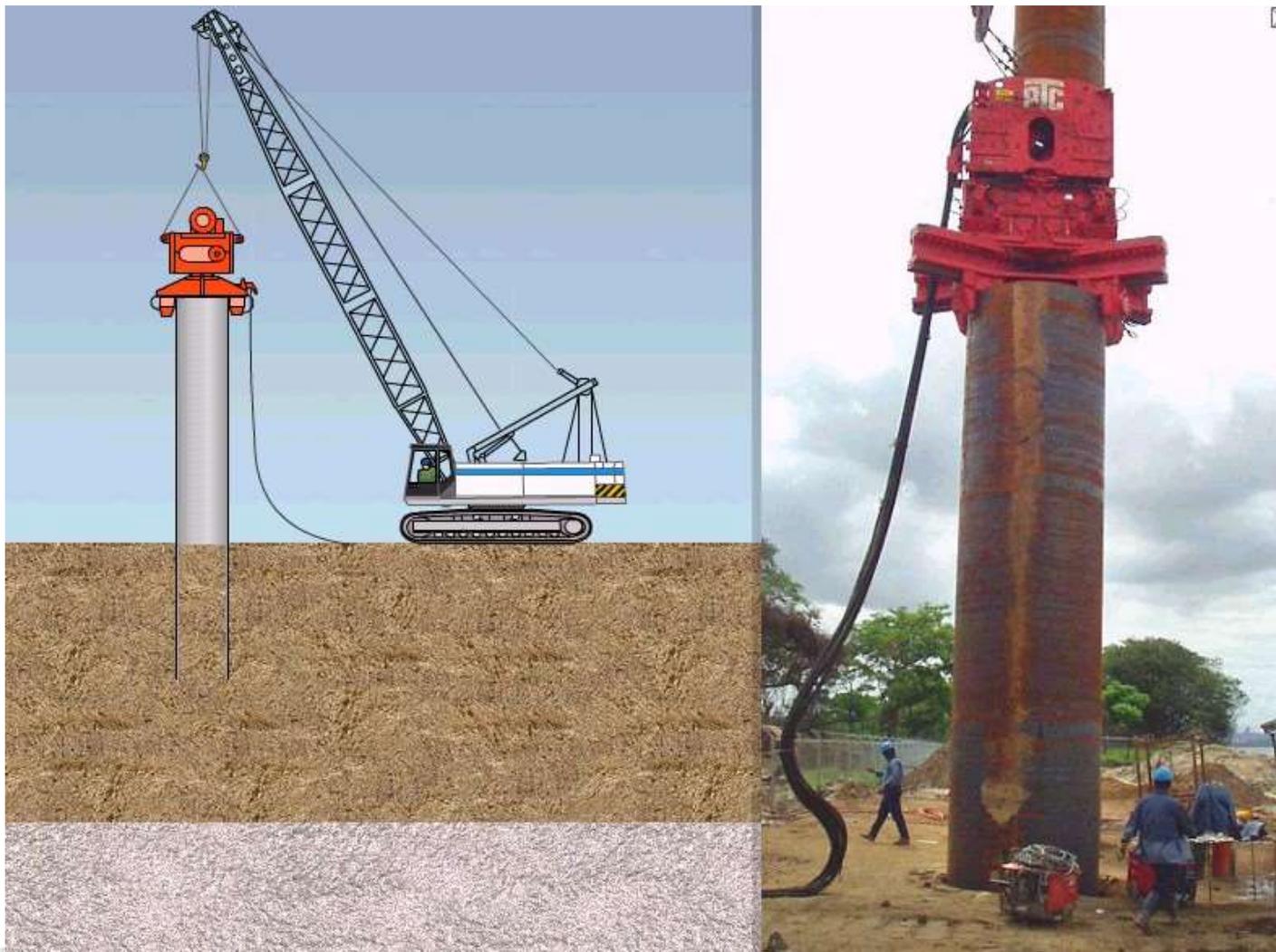
# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

## Estação em rocha sã e camisa metálica integral



# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

## Estação em rocha sã e camisa metálica integral



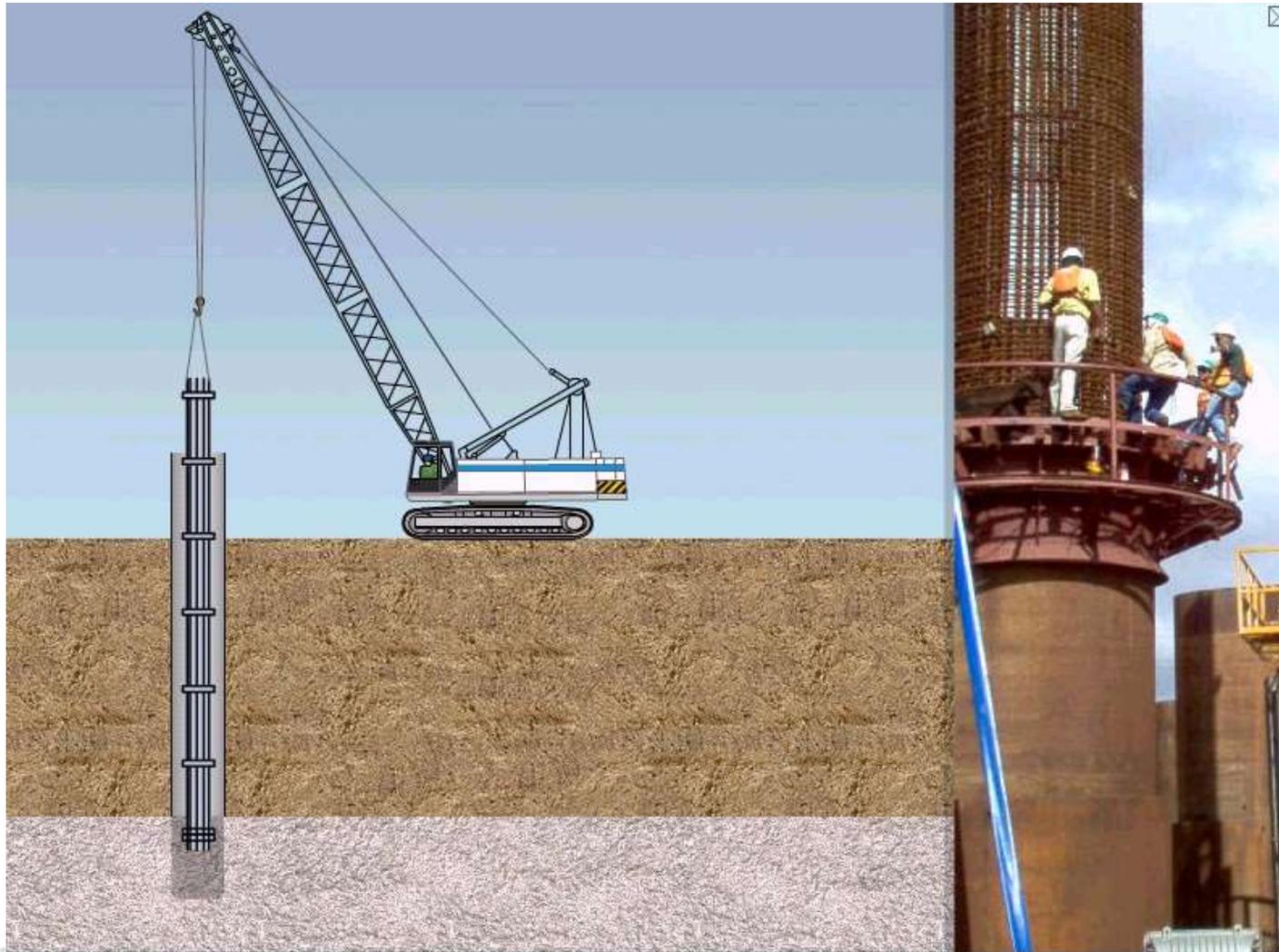
# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

## Estação em rocha sã e camisa metálica integral



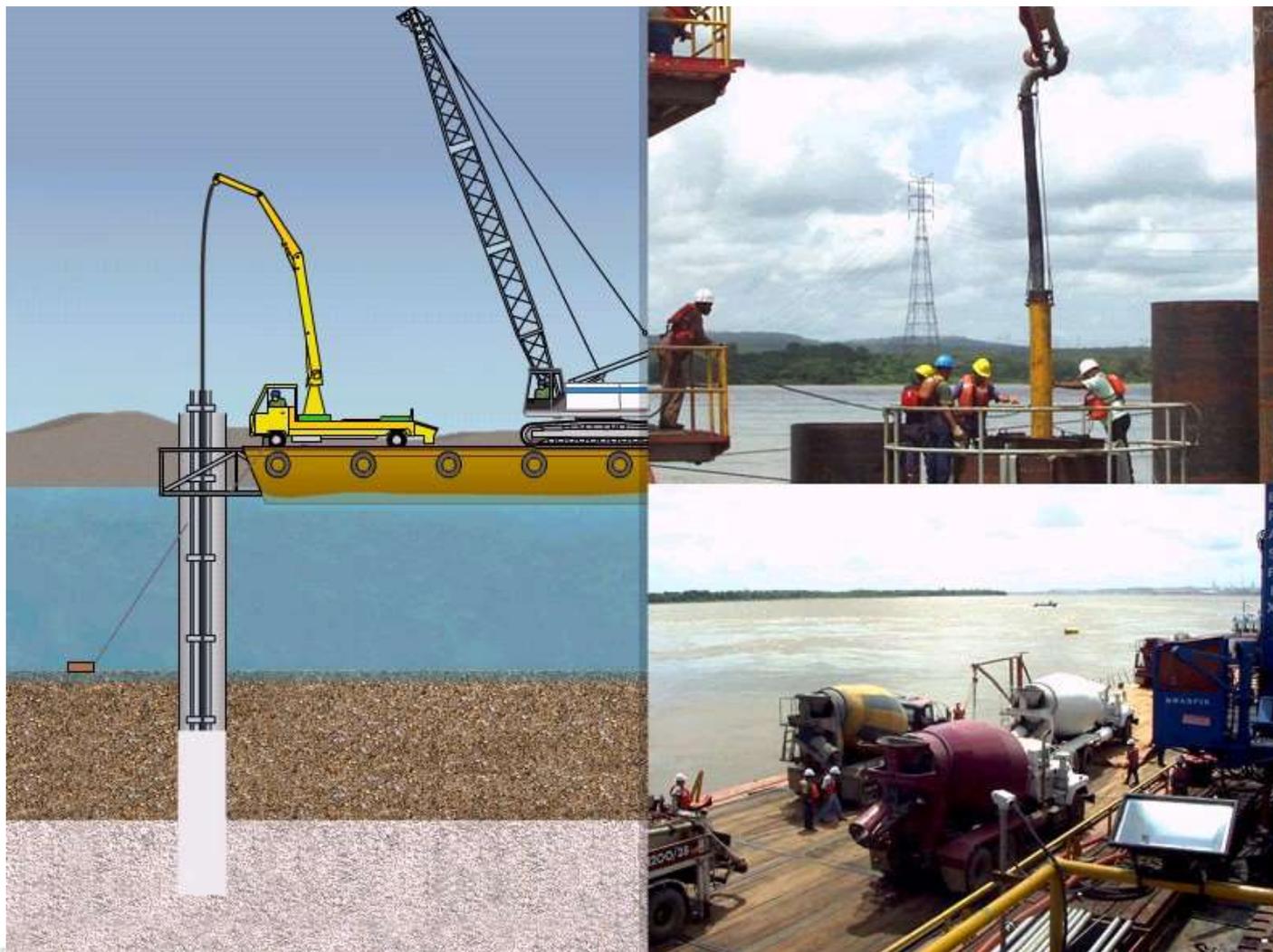
# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

## Estação em rocha sã e camisa metálica integral



# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

Estação em rocha sã e camisa metálica integral

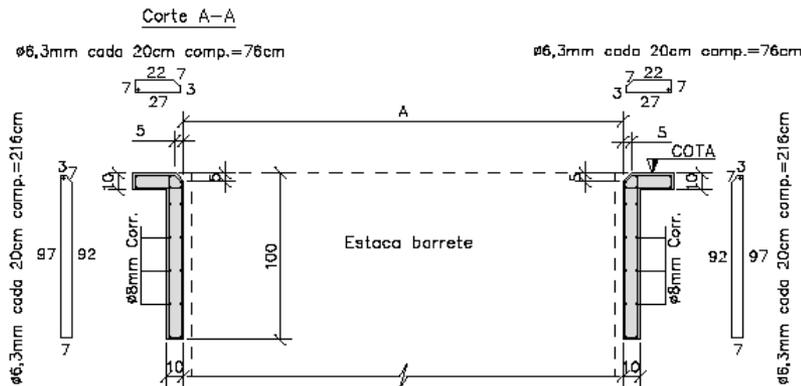
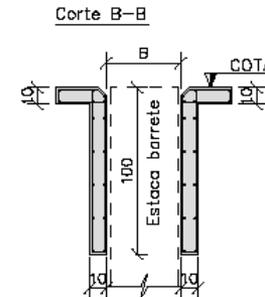
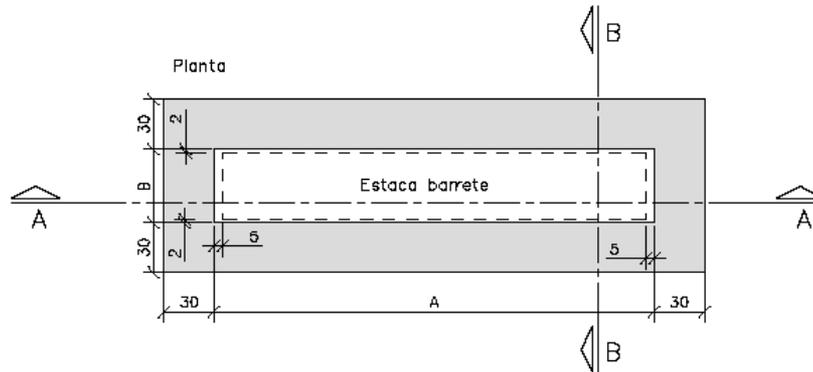


# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

## Estacas barrete

### DETALHE DE MURETA GUIA PARA BARRETE

(Sem escala)



Barrete		Peso 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  $f_{ck} \geq 20 \text{ MPa}$

BARRETE – MURETA GUIA

# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

## Estacas barrete

Equipamento – perfuração em solo:



# ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

## Estacas barrete

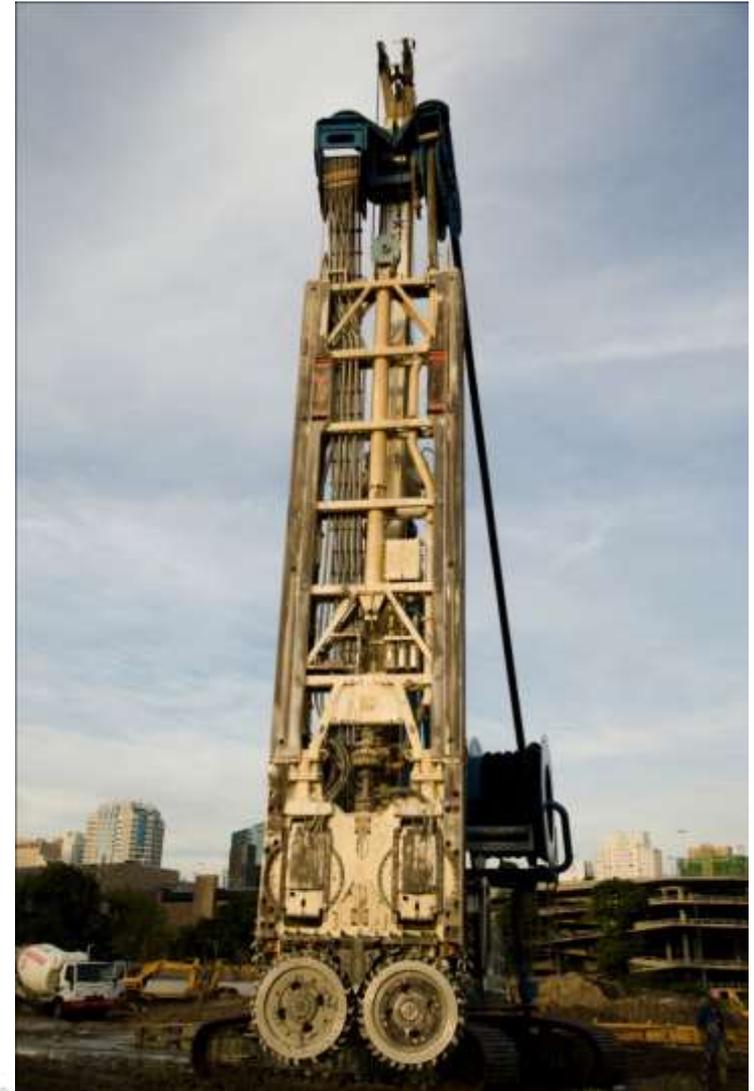


Vídeo: Escavação com “clam shell”.  
Fonte: Acervo ZF.

# 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

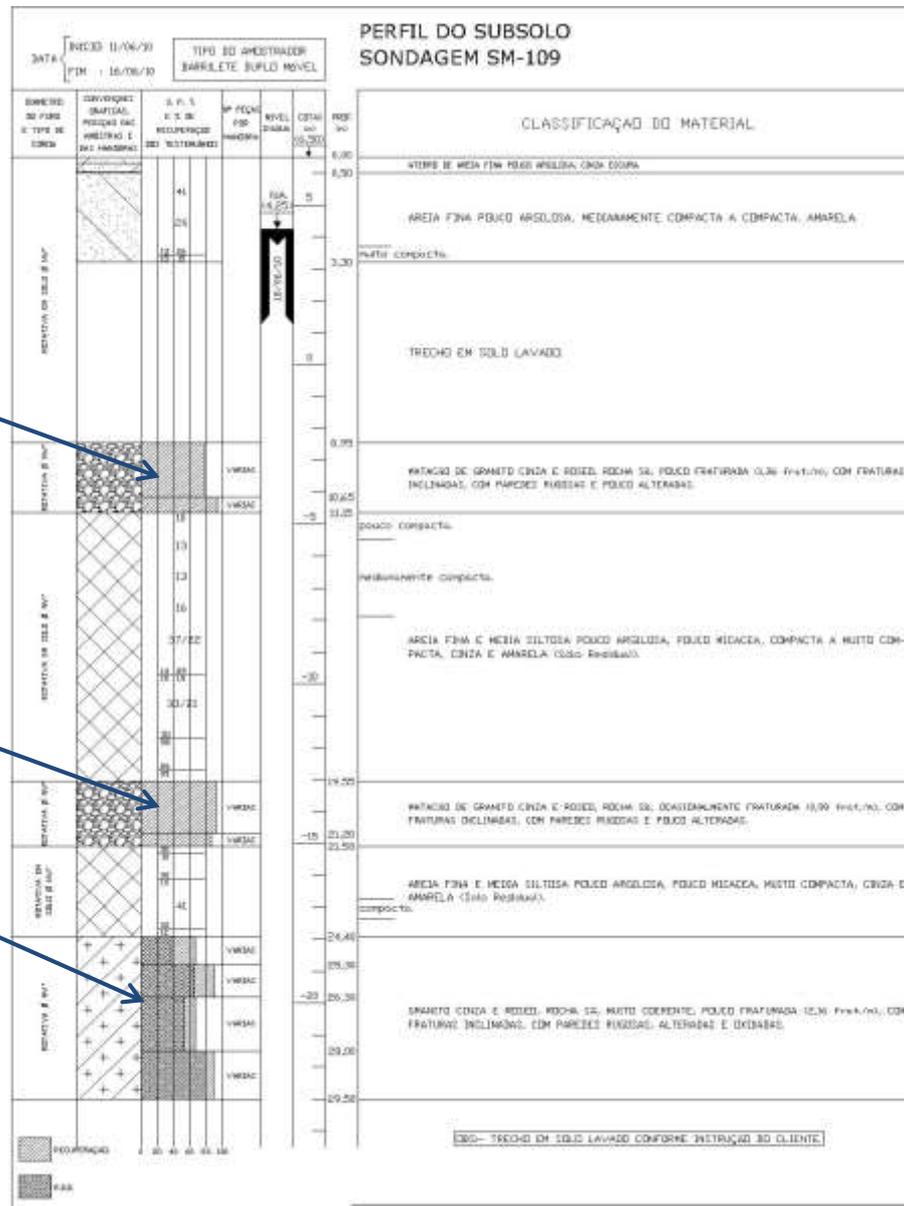
# ESTACAS RAIZ

## Definições e propriedades

- É uma estaca escavada moldada in loco 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

## 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 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)

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

$\alpha$ : 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;

$\beta$ : 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.



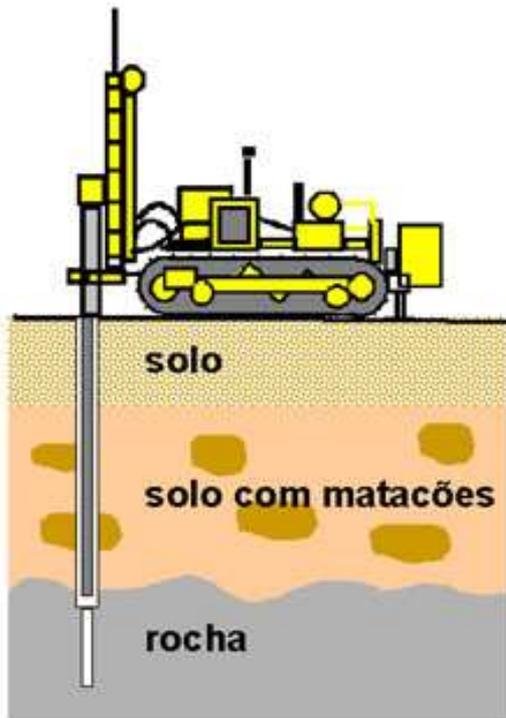
# ESTACAS RAIZ

## Procedimento

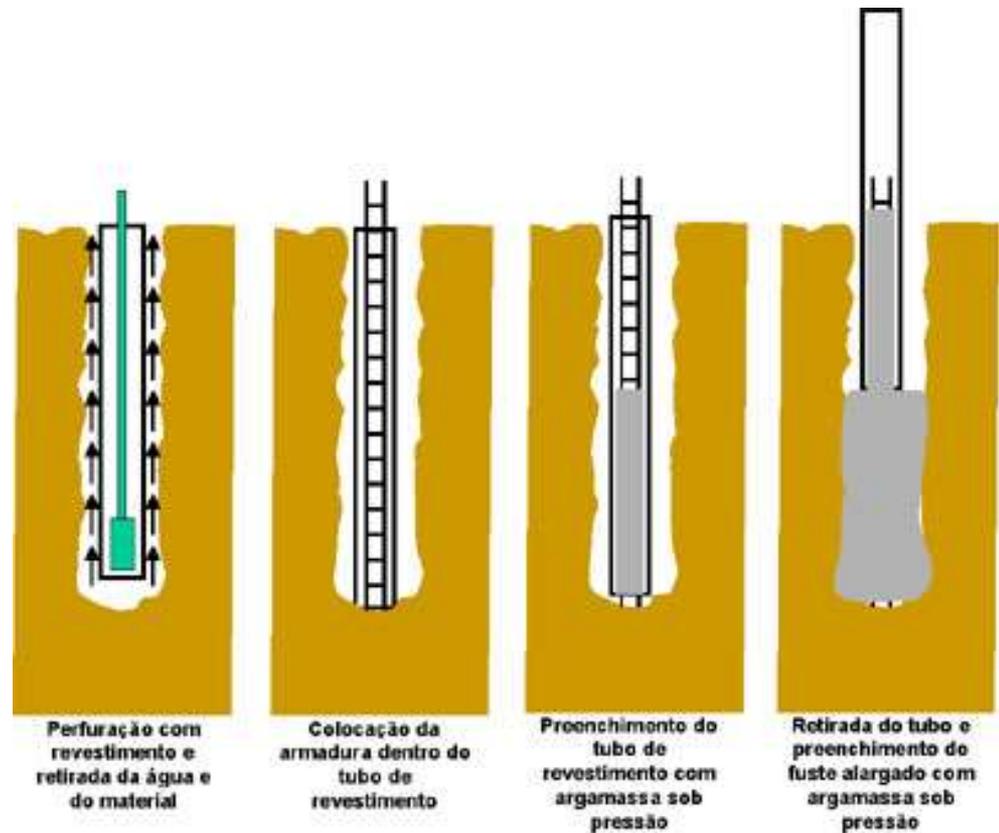
2. Instalação da armação: após a perfuração, continua-se com a injeção de água sem avançar a perfuração, para limpeza do furo. A seguir instala-se a armadura.



# 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 <sup>3</sup> c/20	Ø 5 <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> )	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

## Reforço de fundações



Caso de obra onde foram utilizadas  
as duas soluções combinadas.

# ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

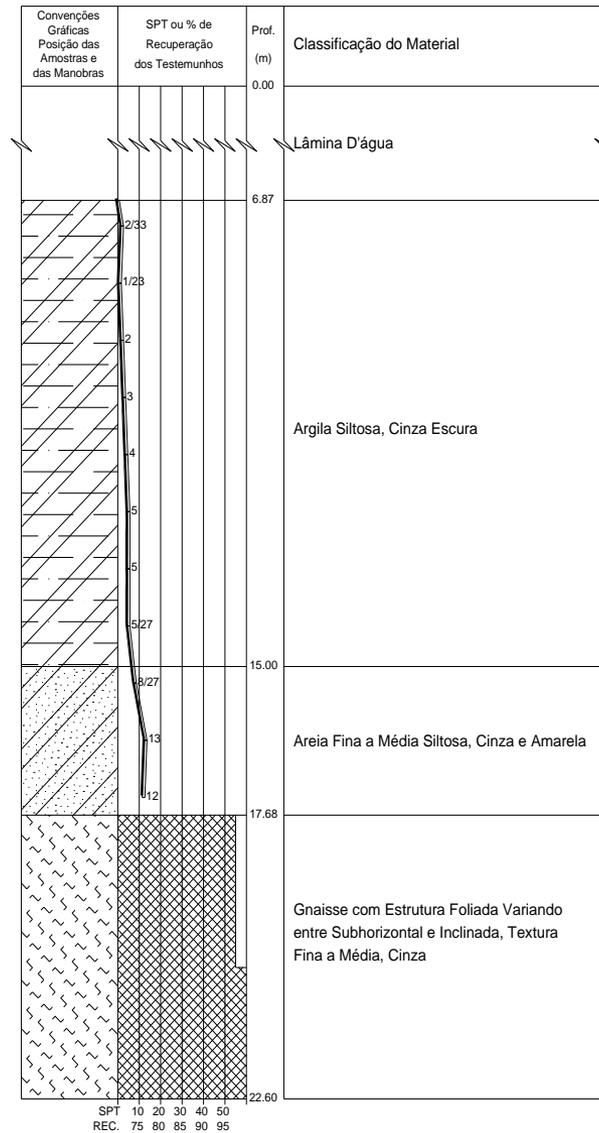
## Casos de obra



# 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



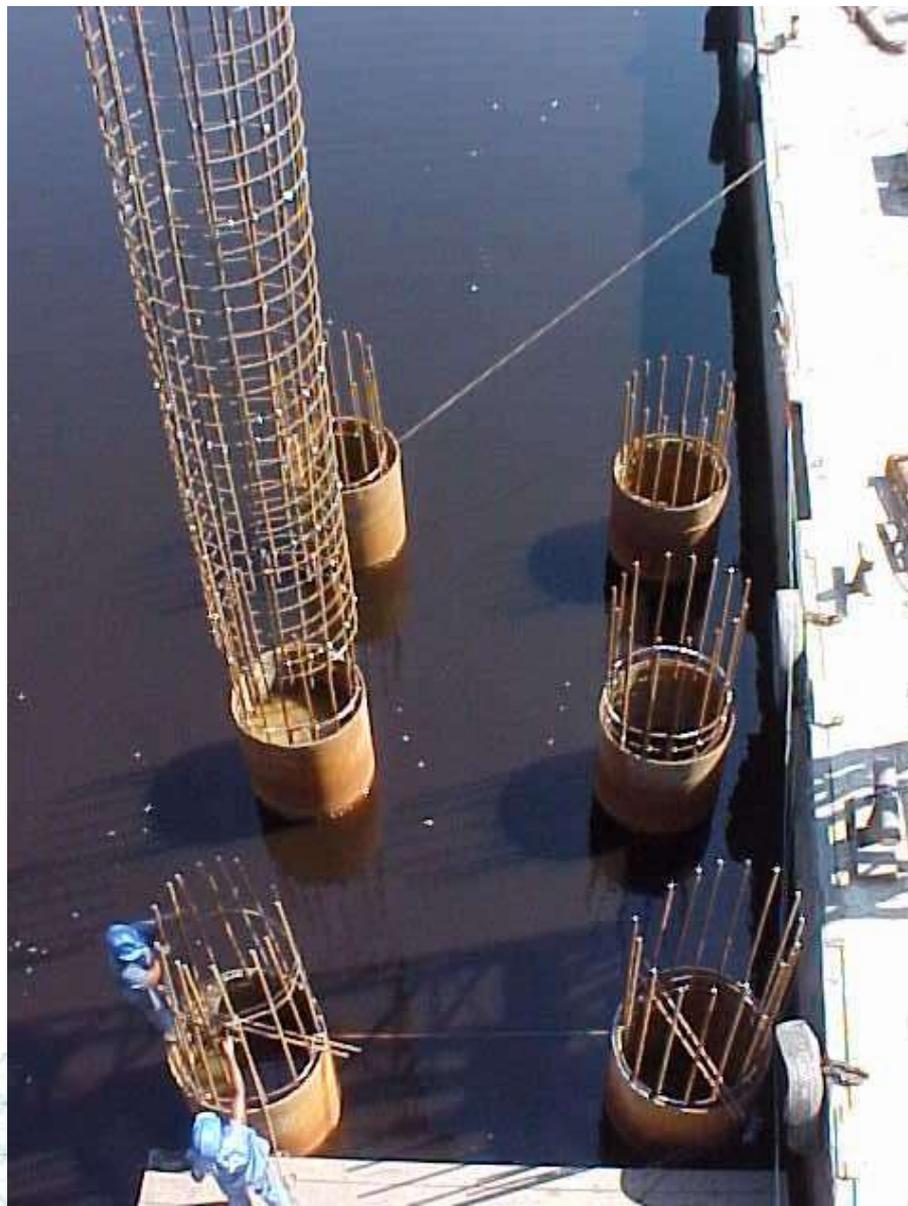
# ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

## 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



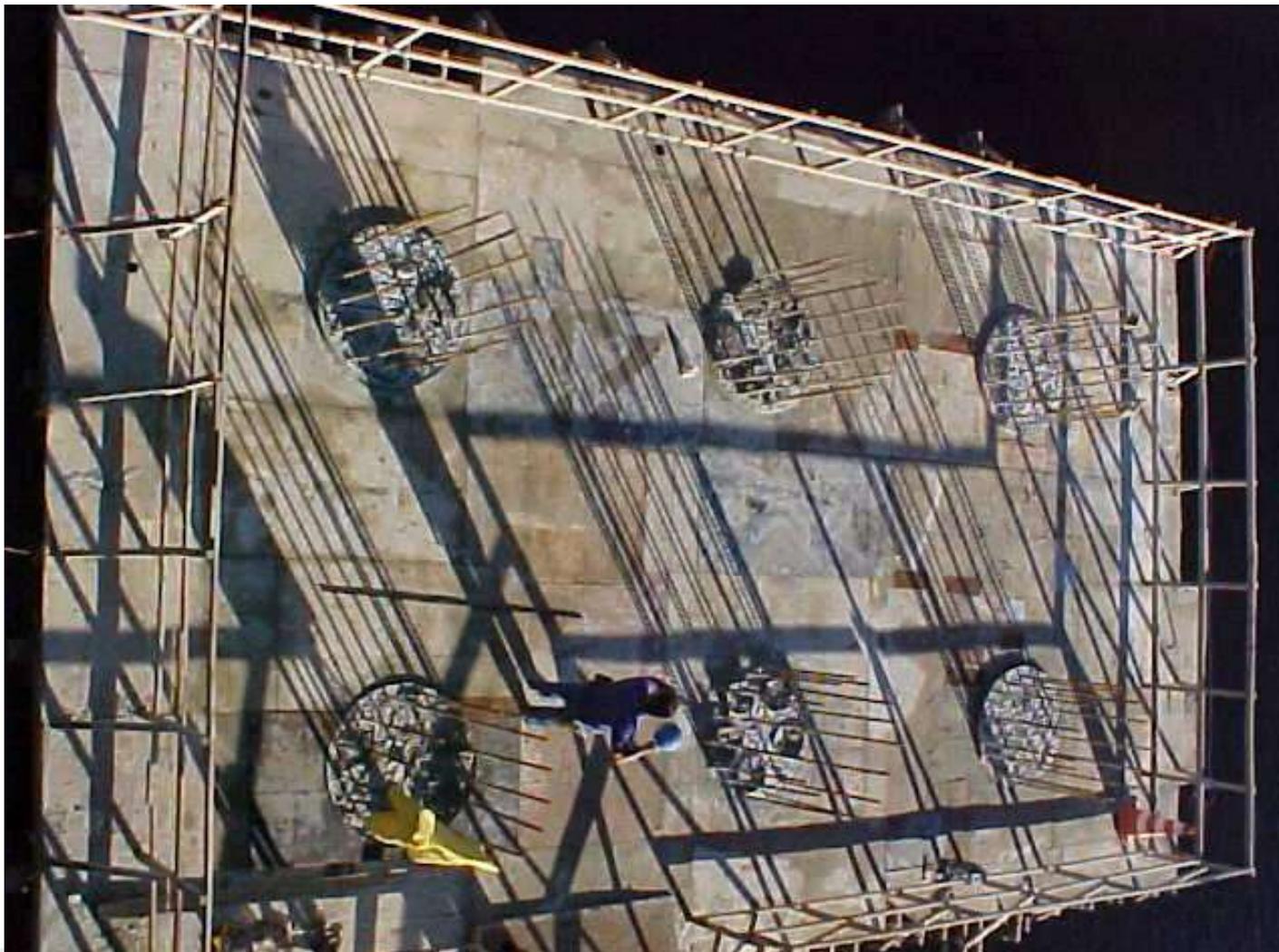
# ESTACAS RAIZ E ESTACÃO

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