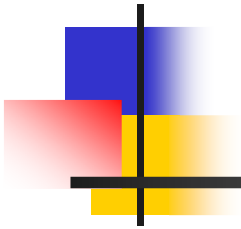


# Tubulões



Prof. Waldemar Hachich  
Prof. Mauricio Abramento



# Introdução

---

- Fundação profunda
- Pode receber cargas bastante elevadas
- Poços escavados no terreno, com ou sem base alargada
- Se é tubulão, em alguma fase da execução algum operário executou escavação manual em profundidade
- Profundidade: até cerca de 30 m



# Vantagens

---

- Elemento único por pilar (ao contrário de blocos de estacas)
- Permite inspeção do solo *in situ*
- Limpeza da base executada por operário, inspecionada por engenheiro
- Serve também para terrenos com matacões
- Baixa intensidade de vibração e ruído
- Baixo custo de mobilização, versatilidade

# Execução em terreno íngreme



# Execução em espaço restrito







# Requisitos

---

- Verificações dimensionais: locação, diâmetro, prumo, profundidade
- Verificações geotécnicas:
  - Inspeção por engenheiro geotécnico para aprovação (ou não) da cota de apoio; quando aprovada, liberação para alargamento da base
  - Inspeção por engenheiro geotécnico para aprovação (ou não) do alargamento de base; quando aprovado, liberação para concretagem
- Verificação da armadura (ainda que só de arranque)

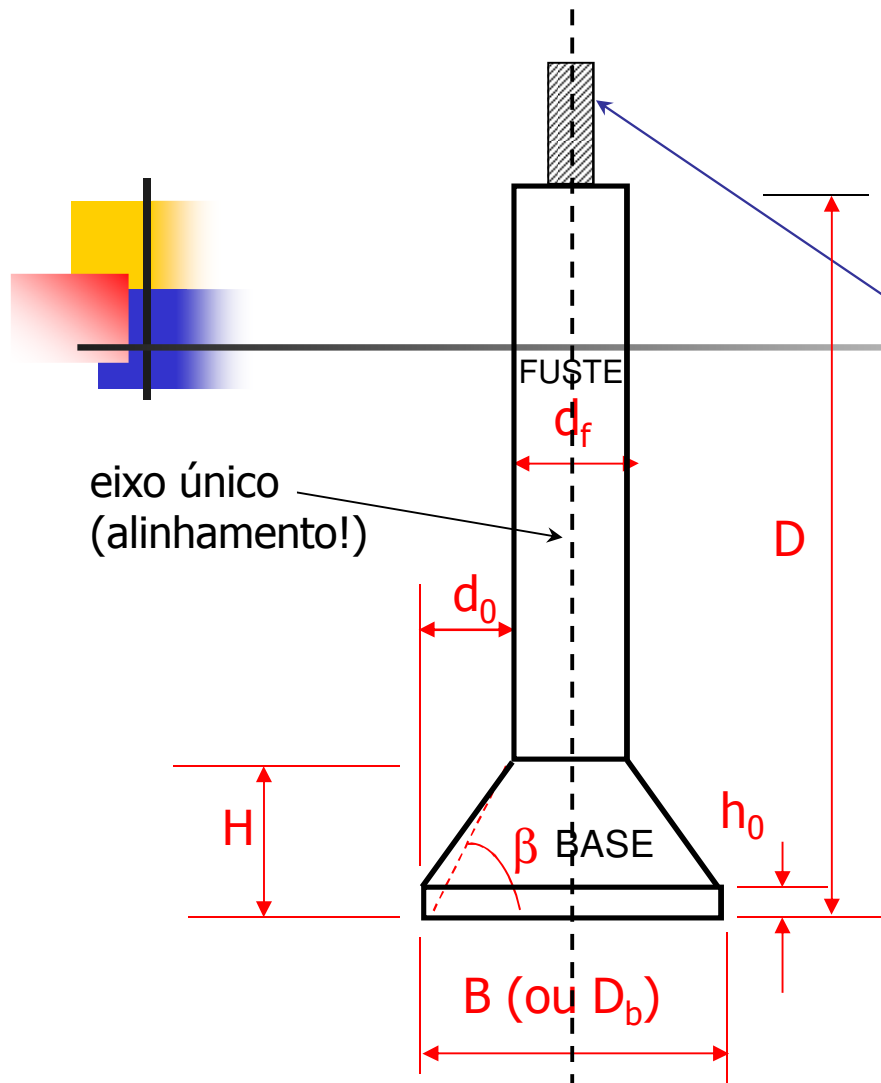


# Riscos

---

- Estabilidade do poço e do alargamento de base: sempre ouvir poceiros (eles vivem os riscos do dia-a-dia)
- Camadas instáveis
  - localizadas: utilizar revestimento
  - ao longo de todo o perfil: utilizar ar comprimido (ou outra solução de fundação)
- Solos colapsíveis
- Gases (metano, de decomposição orgânica: inodoro e asfixiante)

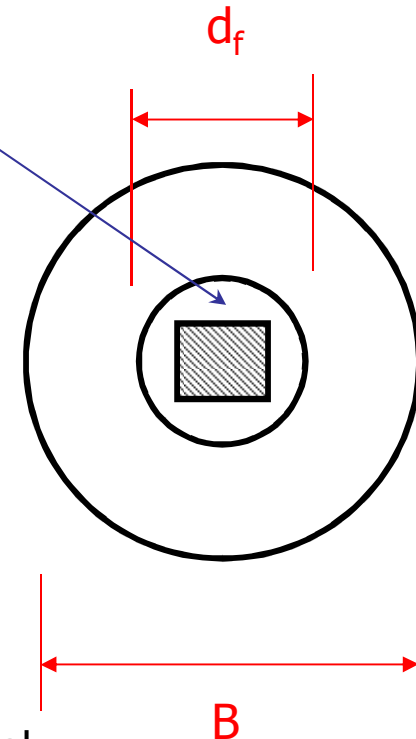
# Geometria



Pilar

$$d_0 = \frac{B - d_f}{2}$$

$d_0$  = disparo  
 $h_0$  = rodapé  
 $H$  = altura da base



$$\frac{\tan \beta}{\beta} = \frac{\sigma_b}{\sigma_t} + 1$$

para não haver necessidade de armar a base à tração, como no caso dos blocos de fundação

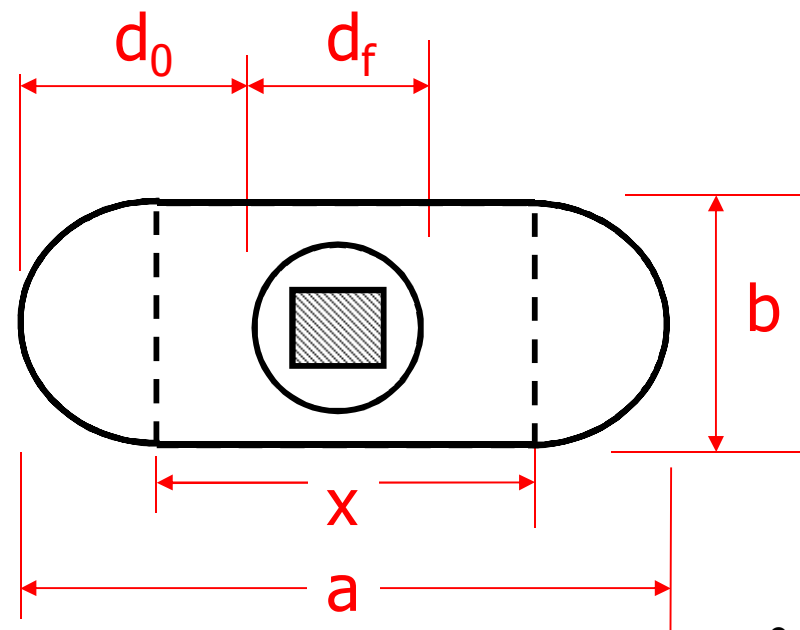
Em geral:

- $\beta = 60^\circ \Rightarrow H/d_0 = 1,732$
- $h_0 = 20 \text{ cm}$



# Base em falsa elipse

- Divisa: reduzir excentricidade para projetar viga alavanca mais econômica
- Pilares próximos: acomodar bases
- $A_b = \frac{\pi b^2}{4} + bx$
- Usual:  $1 \leq \frac{x}{b} \leq 1,5$
- $d_0 = (a - d_f)/2$
- $\beta = 60^\circ \Rightarrow H/d_0 = 1,732$





# Dimensionamento

---

- Precisa atender a todas as condições seguintes

$$A_b \geq \frac{P}{\sigma_b}$$

$$A_f \geq \frac{P}{\sigma_c}$$

$$H \leq 1,80 \text{ m}$$

$$\sigma_c \leq 5000 \text{ kPa para fuste não armado}$$

$$0,7 \text{ m} \leq d_f \leq 1,2 \text{ m}$$

$$h_0 = 0,20 \text{ m}$$

$$d_0 \leq d_f \text{ equivalente a } B \leq 3d_f$$

- Consequência: só é econômica a fundação em tubulão se  $\sigma_b \geq 500 \text{ kPa}$



# Tensão admissível na base

---

- Diretrizes gerais
  - Referência:  $\sigma_s$  = tensão admissível à superfície
  - Não exceder  $2\sigma_s$
- Areias: 40% de acréscimo por metro de profundidade, a partir do segundo metro
  - $\sigma_b = \sigma_s [1 + 0,4(D - 1)] \leq 2\sigma_s$
- Argilas (solicitação não drenada): acrescentar tensão vertical correspondente à profundidade D
  - $\sigma_b = \sigma_s + \gamma D \leq 2\sigma_s$



# Tipos

---

- A céu aberto (sempre que possível!)
  - Escavação manual ou mecânica
  - Sem ou com revestimento
- A ar comprimido (quando indispensável controlar influxo de água ou solo mole)
  - Escavação manual
  - Com revestimento

# Perfuração mecânica do fuste





# A céu aberto sem revestimento

---

- Poços escavados no terreno
- Abaixo do N.A., vazão (que depende de  $k$  e de  $\Delta h$ , lei de Darcy!) precisa ser suficientemente pequena para permitir esgotamento por bombeamento
- Necessidade de solo ser estável
  - argila de consistência média ou superior
  - solos com cimentação (lateríticos, por exemplo)
  - areia argilosa
    - acima do N.A.: argilosa o suficiente para garantir estabilidade
    - abaixo do N.A.: argilosa o suficiente para garantir estabilidade, impedir carreamento de grãos de areia, reduzir a vazão (que depende também da carga hidráulica – lei de Darcy!)





## A céu aberto com revestimento

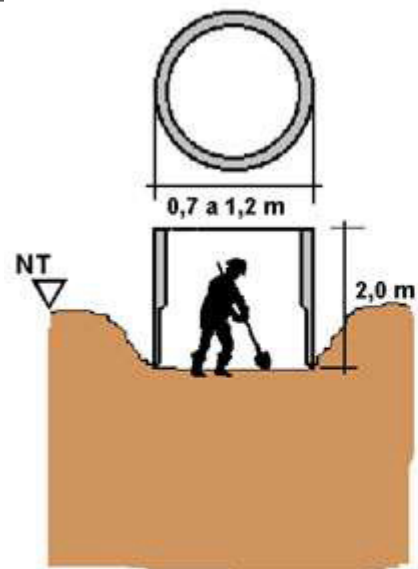
---

- Em camadas de solos instáveis (areias puras abaixo no N.A., argilas moles saturadas)
- Revestimento (total ou parcial): tubos de concreto (sem bolsa) ou camisa de aço
- Possível incorporação na resistência
- Alargamento da base: viável se for possível esgotar a água por bombeamento

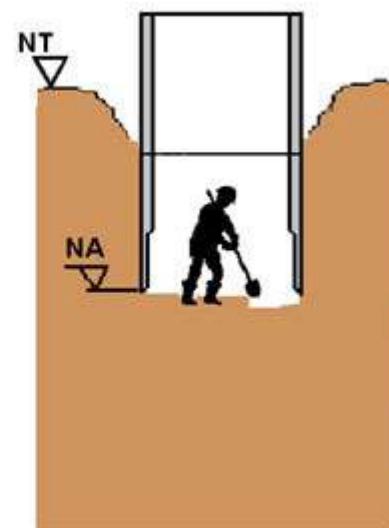
# Tubos sem bolsa para revestimento



# Escavação com revestimento



Preparação do terreno e colocação do anel de concreto



Escavação a céu aberto até o nível do lençol freático e colocação do segundo anel de concreto

# Início da escavação manual



Foto de Gustavo Mendes 9876

# Escavação com sarilho





# Içando o material escavado





# Execução em andamento



# Içando o próprio escavador



# Inspeção por engenheiro



# Tromba para concretagem



# Fim da concretagem

---





# Concretagem acabada e arranques







# A ar comprimido

---

- Indicação
  - Cargas elevadas (pontes, viadutos, etc.)
  - Solos instáveis abaixo do N.A., elevados influxos de água previstos
  - Alternativas em estacas oneradas por mobilização custosa de equipamento (fora dos grandes centros)
- Revestimento
  - Aço (pode ser incorporado como armadura)
  - Concreto (incorporado)
- Riscos
  - Descompressão descontrolada
  - Embolia gasosa

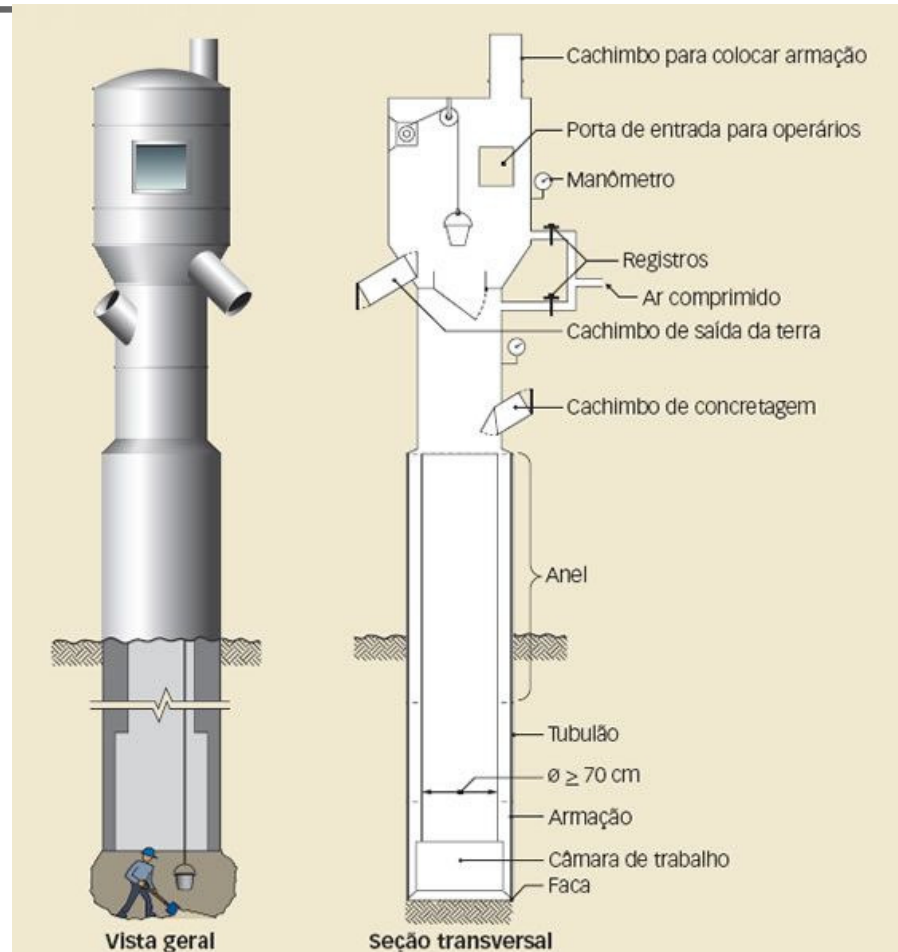


# A ar comprimido

---

- Requisitos
  - Pressão de ar no mínimo 10% superior à pressão de água externa (melhor inverter o sentido do fluxo)
  - Pressão máxima da ordem de 3 atm (300 kPa)
  - Duração dos turnos limitada pela pressão de trabalho
  - Duração da descompressão ditada pela pressão de trabalho e tempo de permanência
- Consequências
  - Produtividade baixa
  - Custo muito elevado

# Perfuração a ar comprimido



# Campânulas de ar comprimido

