

1. Para cada perfil de subsolo abaixo apresentado indique, justificando sua escolha, os tipos de tubulões mais adequados.

Para todos os perfis será considerado a execução das fundações na cota 100,0m (cota da sondagem).

Perfil A: A primeira informação importante é a ausência de nível d'água. Sendo assim, a melhor opção seria tubulão a céu aberto. Atualmente a regulamentação indica o revestimento em toda extensão, porém, caso fosse autorizada a escavação sem revestimento, possivelmente a camada de argila siltosa com N_{SPT} médio de 11 não apresentaria essa necessidade.

Perfil B: Com o N.A. na cota 97,0m, poderia se pensar em tubulão a ar comprimido. Porém, como o solo apresentado é uma argila siltosa na maior parte do fuste do tubulão, a permeabilidade é muito baixa e é possível bombear a água para fora da escavação, tornando possível a utilização de tubulão a céu aberto com revestimento.

Perfil C: A princípio seria necessário tubulão a ar comprimido por conta da camada de areia argilosa. Porém, como a coluna d'água é pequena (2m) e o material tem parcela argilosa, além de compacidade mediana, pode ser que não seja necessário um tubulão a ar comprimido a depender da vazão de água para dentro da escavação. Caso seja possível bombear para fora da escavação, então o ideal é tubulão a céu aberto.

Perfil D: Acredita-se ser inviável escavação a céu aberto na camada de argila mole a muito mole por conta de instabilidade do solo e do nível d'água elevado. O ideal talvez seja até mesmo mudar a solução de fundação, porém, no caso de tubulão, o melhor seria a ar comprimido.

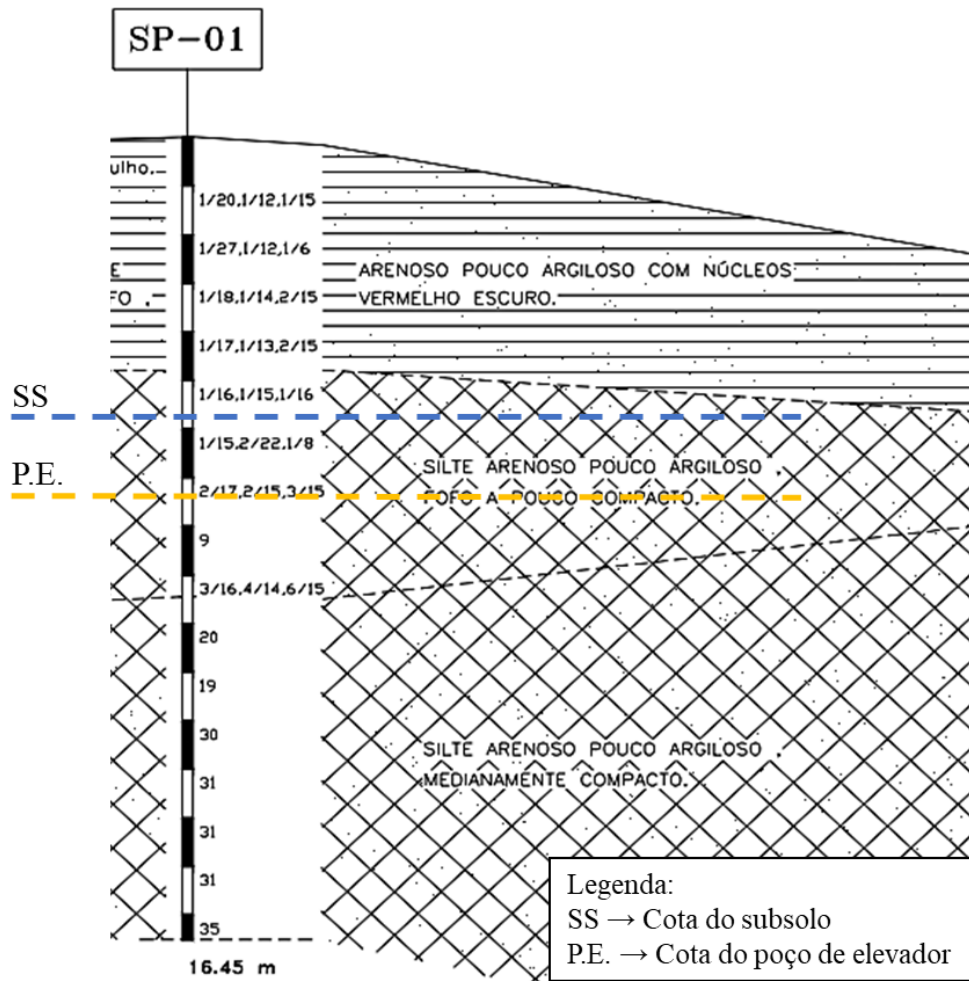
As próximas questões referem-se ao edifício de 18 andares e dois subsolos (ver Planta de cargas de edifício simples). Considera-se agora a utilização de fundação por tubulões, no perfil de subsolo apresentado a seguir, com as seguintes condições:

- **Nível do piso do pavimento térreo na profundidade 0,00m;**
- **Subsolo na profundidade -5,80 m;**
- **Poço de elevador na profundidade -7,30 m;**
- **Vizinhos de divisa edificados com piso na profundidade -1,50 m.**

Todas as profundidades estão referidas à boca da sondagem SP-01

2. Escolha o método executivo mais recomendável a ser adotado para a execução de fundação por tubulões nesse terreno.

Pelo perfil de sondagem indicado, não haveria necessidade de tubulão a ar comprimido por conta da ausência de nível d'água e da cota final de escavação (cota do subsolo), conforme indicado na figura a seguir. Dessa forma, o ideal seria utilização de tubulão a céu aberto com revestimento.



3. Qual a profundidade que recomendaria para apoio das bases dos tubulões? Justifique.

Por meio da sondagem, é possível observar um aumento progressivo do N_{SPT} na camada de silte arenoso pouco argiloso medianamente compacto, com alguma constância a partir de $N_{SPT} = 31$. Dessa forma, seria necessário alcançar ao menos a cota -13,0m.

4. Quais os tipos de recalques que podem ocorrer neste caso? Como avaliá-los? Quais os pilares mais críticos em relação a ELS?

Com a sondagem é possível dizer que não haverá recalque por adensamento, principalmente pelo fato de não apresentar nível d'água. Pode-se considerar apenas o recalque imediato, calculado por meio da Teoria da Elasticidade. Observando a diferença de carregamento e a proximidade entre pilares, os pilares P8 e P13 podem vir a apresentar problema em relação a ELS, por conta de recalque diferencial específico.

5. Que tensão você recomendaria para apoio das bases nessa profundidade? Justifique considerando sempre os critérios de segurança.

Com a base do tubulão em camada com $N_{SPT} \approx 30$, tem-se:

$$\sigma_{adm_superfície} = 20N_{SPT} \rightarrow \sigma_{adm_sup} = 600kPa$$

O material na base do tubulão é um silte arenoso pouco argiloso, entretanto, por razão de segurança, será considerado o acréscimo de tensão conforme descrito para argilas. Uma parcela pequena de material argiloso altera consideravelmente o comportamento da areia (Curiosidade: calcule a tensão admissível com a formulação para areias e veja a diferença).

$$\sigma_{adm_base} = \sigma_{adm_sup} + \gamma D \leq 2\sigma_{adm_sup}$$

$$\sigma_{adm_base} = 600 + 18 \cdot 13 \therefore \sigma_{adm_base} = 830 \text{ kPa}$$

6. Proceder ao dimensionamento geométrico dos tubulões seguintes, discutindo a transferência das cargas dos pilares para os tubulões, para uma tensão admissível $\sigma_{adm} = 800 \text{ kPa}$ (= 0,8 MPa = 80 tf/m² = 8 kgf/cm²).

- a. Pilares P6 e P9 (pilares de 30cm x60 cm, com 3300kN cada).

Dimensionamento do fuste:

Para o fuste, utiliza-se a tensão admissível do concreto igual a 5000kPa.

$$\sigma_c = \frac{P}{A_{fuste}} \rightarrow d_f = 2 \cdot \sqrt{\frac{P}{\pi \cdot \sigma_c}} \therefore d_f = 0,95 \text{ m [95cm]} \rightarrow \text{Maior que 90cm ok!}$$

Dimensionamento da base:

Para o rodapé, é prática comum considerar $h_o = 0,20 \text{ m}$.

Considerando base alargada circular, tem-se:

$$\sigma_{adm} = \frac{P}{A_{base}} \rightarrow B = 2 \cdot \sqrt{\frac{P}{\pi \cdot \sigma_{adm}}} \therefore B = 2,30 \text{ m [230cm]}$$

O disparo é calculado com os diâmetros da base e do fuste:

$$d_o = \frac{(B - d_f)}{2} \rightarrow d_o = 67,5 \text{ cm}$$

A altura da base é definida com $\beta = 60^\circ$:

$$\tan 60^\circ = \frac{H}{d_o} \rightarrow H = 1,20 \text{ m [120cm]}$$

- b. Pilares P20 e P5 (pilares de 40cm x 250cm, com 3100kN cada).

Para pilares alongados, é comum dimensionar dois tubulões de base em falsa elipse (vide anexo da coleção).

$$\sigma_c = \frac{P/2}{A_{fuste}} \rightarrow d_f = \sqrt{\frac{2P}{\pi \cdot \sigma_c}} \therefore d_f = 0,65 \text{ m [65cm]} \rightarrow \text{Não ok, considerar 90cm.}$$

Dimensionamento da base:

$h_o = 0,20m$.

$$\sigma_{adm} = \frac{P/2}{A_{base}} \rightarrow A_{base} = 1,94m^2$$

A dimensão **b** de cada tubulão deve ser tal que $(2b + 10cm) \geq 250cm$ (para facear o pilar), logo:

$b = 1,20m$ [120cm]

Dessa forma, **x** pode ser calculado por:

$$A_{base} = \frac{\pi b^2}{4} + bx \rightarrow x = 0,70m$$
 [70cm]

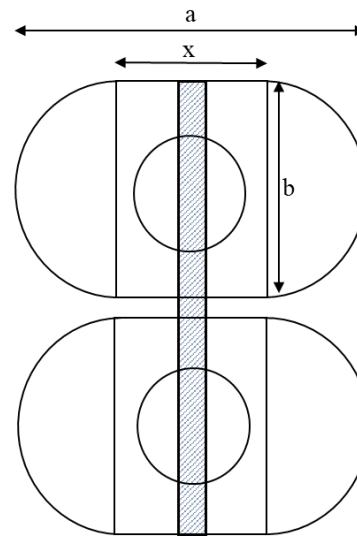
$a = b + x \rightarrow a = 1,90m$ [190cm]

O disparo é calculado com as dimensões:

$$d_o = \frac{(a - d_f)}{2} \rightarrow d_o = 50,0cm$$

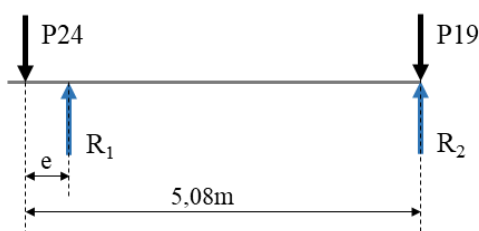
A altura da base é definida com $\beta = 60^\circ$:

$$\tan 60^\circ = \frac{H}{d_o} \rightarrow H = 0,90m$$
 [90cm]



- c. Pilares P24 (30cm x 30cm, 1500kN, na divisa) e P19 (30cm x 60cm, 2900kN).

O cálculo para pilares de divisa é feito de forma iterativa. Como visto na aula, para se dimensionar viga alavanca mais econômica e reduzir a excentricidade, os pilares de divisa devem ter a base na geometria de falsa elipse. Para facilitar a visualização do caso em questão, pode-se considerar as tensões nos tubulões e a carga em cada pilar conforme o diagrama seguinte:



Para a fundação do tubulão do pilar P24, podemos adotar estimativas com relação às dimensões do tubulão e ao acréscimo de carga devido à excentricidade da fundação. Para uma aproximação inicial, podemos adotar: $a = 2b$ e $R_1 = 1,20 \cdot P_1$, sendo P_1 a carga do pilar P24.

Com $a = 2b$, tem-se: $b = x$.

$$R_1 = 1,20 \cdot 1500kN \therefore R_1 = 1800kN$$

$$A_{base} = \frac{R_1}{\sigma_{adm}} \rightarrow A_{base} = 2,25m^2$$

$$A_{base} = \frac{\pi b^2}{4} + bx \rightarrow x = b = 1,15m$$

Com as dimensões do tubulão, é possível calcular a excentricidade da carga:

$$e = \frac{b}{2} - \frac{b_0}{2} \rightarrow e = 42,5cm$$

Para equilíbrio de momentos em relação ao pilar P19, tem-se:

$$R_1 \cdot (5,08 - e) = P_1 \cdot 5,08 \rightarrow R_1 = \frac{1500 \cdot 5,08}{5,08 - 0,425} \therefore R_1 = 1637kN$$

Dessa forma, como a tensão calculada foi diferente da estimada no começo dos cálculos, adota-se agora $R_1 = 1637kN$. A área da base para essa carga vale:

$$A_{base} = 2,05m^2$$

Agora, pode-se fixar $b = 1,15m$, para que a excentricidade, e por consequência, a tensão R_1 , não se alterem.

O valor de x é então calculado:

$$A_{base} = \frac{\pi b^2}{4} + bx \rightarrow 2,05 = \frac{\pi \cdot 1,15^2}{4} + 1,15 \cdot x \therefore x = 0,90m$$

$$a = b + x \rightarrow a = 2,05m.$$

O restante do dimensionamento do tubulão do pilar P24 é similar ao já calculado nos outros itens.

Com R_1 , calcula-se o diâmetro do fuste:

$$\sigma_c = \frac{R_1}{A_{fuste}} \rightarrow d_f = 2 \cdot \sqrt{\frac{R_1}{\pi \cdot \sigma_c}} \therefore d_f = 0,65m [65cm] \rightarrow \text{Não ok, considerar } 90cm.$$

$$h_0 = 0,20m.$$

O disparo é calculado com as dimensões:

$$d_0 = \frac{(a - d_f)}{2} \rightarrow d_0 = 57,5cm$$

A altura da base é definida com $\beta = 60^\circ$:

$$\tan 60^\circ = \frac{H}{d_0} \rightarrow H = 1,0m [100cm]$$

Para o dimensionamento do tubulão do pilar P9, deve-se considerar a metade do alívio de carga causado pela excentricidade do tubulão do pilar P24.

O alívio da carga é dado pela diferença entre a carga no tubulão e a carga no pilar:

$$\Delta P = 1637 - 1500 \therefore \Delta P = 137 \text{ kN}$$

$$R_2 = P_2 - \frac{\Delta P}{2} \rightarrow R_2 = 2900 - \frac{137}{2} \therefore R_2 = 2832 \text{ kN}$$

Agora, dimensiona-se o tubulão como feito nos itens anteriores, com base circular:

$$\sigma_c = \frac{P}{A_{\text{fuste}}} \rightarrow d_f = 2 \cdot \sqrt{\frac{P}{\pi \cdot \sigma_c}} \therefore d_f = 0,85 \text{ m [85cm]} \rightarrow \text{Considerar 90cm!}$$

Para o rodapé $\rightarrow h_o = 0,20 \text{ m}$.

Considerando base alargada circular, tem-se:

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{P}{A_{\text{base}}} \rightarrow B = 2 \cdot \sqrt{\frac{P}{\pi \cdot \sigma_{\text{adm}}}} \therefore B = 2,15 \text{ m [215cm]}$$

O disparo é calculado com os diâmetros da base e do fuste:

$$d_o = \frac{(B - d_f)}{2} \rightarrow d_o = 65,0 \text{ cm}$$

A altura da base é definida com $\beta = 60^\circ$:

$$\tan 60^\circ = \frac{H}{d_o} \rightarrow H = 1,15 \text{ m [115cm]}$$