

Identificação da equipe (anotar membros presentes no verso):



Verifique a segurança contra deslizamento e contra tombamento de um muro de arrimo de flexão, construído por corte do terrapleno com posterior reaterro. O muro tem 6,5 m de altura e 4 m de base. O NA é admitido estático, 2 m acima da base do muro. O solo do reaterro tem ângulo de atrito de 27° , coesão de 5 kPa e peso específico de 19 kN/m^3 . O solo de fundação tem ângulo de atrito de 33° .

Gabarito (unidades do sistema SI: m, kN, kPa)

Solo do reaterro:

$$\varphi = 27^\circ$$

$$c = 5 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

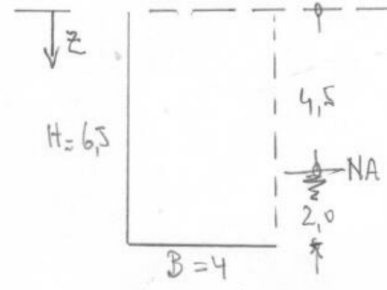
Solo de fundação:

$$\varphi_{\text{fund}} = 33^\circ$$

Rankine para empuxo ativo

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad K_a \cong 0,376$$

Se quisesse levar em conta atrito solo-muro, deveria utilizar o coeficiente de empuxo ativo do processo de Coulomb, que seria menor, menos conservador portanto.



Cálculo das **tensões** efetivas horizontais (ativas)

$$\sigma'_H = K_a * \sigma'_V - 2c\sqrt{K_a}$$

Já que σ'_V será necessário, sempre interessante começar com o cálculo das tensões efetivas verticais em pontos suficientes para bem definir o diagrama dessas tensões em profundidade.

$$\text{Para } 0 \leq z \leq 4,5 \rightarrow \sigma'_V = \sigma_V = \gamma \times z$$

$$\sigma'_V(z = 4,5) = 19 \times 4,5 = 85,5$$

$$\text{Para } 4,5 \leq z \leq 6,5 \rightarrow \sigma'_V = \sigma_V - u = \gamma \times z - \gamma_w \times (z - z_w)$$

$$\sigma'_V(z = 6,5) = 19 * 6,5 - 10 \times (6,5 - 4,5) = 103,5$$

Ou...

$$\sigma'_V(z = 6,5) = \sigma'_V(z = 4,5) + (\gamma - \gamma_w) \times (z - z_w)$$

$$\sigma'_V(z = 6,5) = 85,5 + (19 - 10) \times (6,5 - 4,5) = 103,5$$

Pode-se agora passar com segurança ao cálculo de $\sigma'_H = K_a * \sigma'_V - 2c\sqrt{K_a}$

$$\sigma'_H(z = 0) = -2c\sqrt{K_a} = -2 \times 5 \times \sqrt{0,376} = -6 \quad (\text{desprezam-se valores negativos acima da profundidade da fenda de tração})$$

$$\sigma'_H(z_0) = 0 \quad z_0 = \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}} = 0,86 \text{ m} \quad (\text{profundidade da fenda de tração})$$

$$\sigma'_H(z = 4,5) = K_a \times \sigma'_V(z = 4,5) - 2c\sqrt{K_a}$$

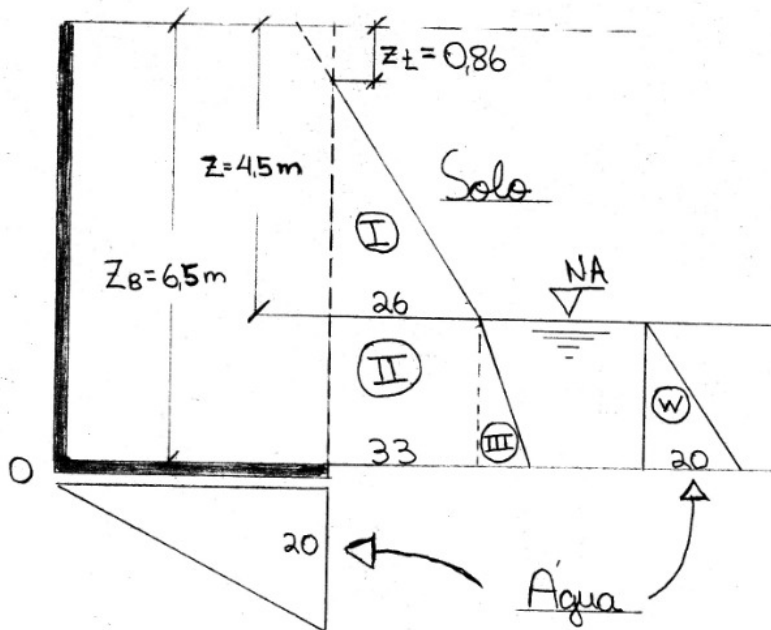
$$\sigma'_H(z = 4,5) = 0,376 \times 85,5 - 6,0 = 26$$

$$\sigma'_H(z = 6,5) = K_a \times \sigma'_V(z = 6,5) - 2c\sqrt{K_a}$$

$$\sigma'_H(z = 6,5) = 0,376 \times 103,5 - 6,0 = 33$$

Cálculo das **pressões** ($u_H = u_V = u$) de água

$$u(z = 6,5) = \gamma_w * (z - z_w) = 20$$

**DESLIZAMENTO**

Empuxo (solicitação)

$$E = (E_I + E_{II} + E_{III}) + E_w$$

$$E = \{[0,5 \cdot 26 \cdot 3,64] + [26 \cdot 2] + [0,5 \cdot (33 - 26) \cdot 2]\} + (0,5 \cdot 20 \cdot 2)$$

$$E = (47,3 + 52 + 7) + 20 \cong 127,3 \text{ kN/m}$$

Atrito (resistência)

$$W \cong B \cdot H \cdot \gamma = 4 \cdot 6,5 \cdot 19 \cong 494 \text{ kN/m}$$

Normalmente o sistema de drenagem é projetado para eliminar o empuxo de água no muro. Se há um acúmulo de 2 m de água junto ao muro, o sistema de drenagem não deve estar funcionando adequadamente. Essa água, estando acumulada junto ao muro, seguramente provoca fluxo sob o muro, de montante (reaterro) para jusante (pé do muro). Só não haveria fluxo se na frente do muro também houvesse 2 m de água, eliminando a diferença de cargas hidráulicas.

Admitindo variação linear da carga hidráulica (e da pressão neutra) ao longo da largura B da base, pode-se calcular a força gerada pelo diagrama triangular de pressão neutra na base:

$$U_B = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot (z_B - z_w) \times B = 0,5 \cdot 10 \cdot 2 \times 4 = 40 \text{ kN/m}$$

$$\text{Portanto, } W' = W - U_B = 494 - 40 = 454 \text{ kN/m}$$

$$\text{Força de atrito resistente } R = W' \times \tan(\delta_{\text{fund}})$$

$$\text{Adotando } \delta_{\text{fund}} = \frac{2}{3} \varphi_{\text{fund}} \text{ (incertezas na preparação do apoio da base do muro),}$$

$$R = 454 \times \tan 22 = 454 \times 0,404 \cong 183,4 \text{ kN/m}$$

$$F = \frac{\text{Resistência}}{\text{Solicitação}} = \frac{183,4}{127,3} = 1,44$$

Esse valor é um pouco inferior ao desejável $F = 1,5$, portanto seria a base deve ser alargada, de modo a aumentar W' e, em consequência, F .

TOMBAMENTO

Momentos sempre em relação ao pé do muro (ponto O)

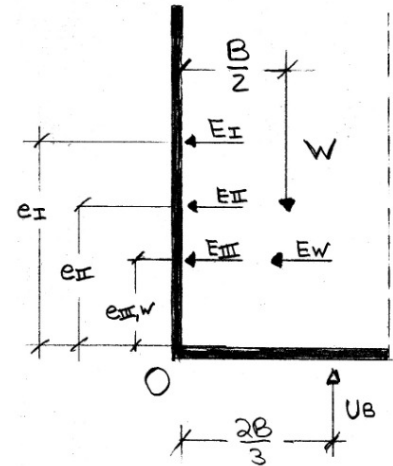
$$M_s = M_I + M_{II} + M_{III} + M_w + M_{U_B}$$

$$M_s = 47,3 \times \left(2 + \frac{3,64}{3}\right) + 52 \times \frac{2}{2} + 7 \times \frac{2}{3} + 20 \times \frac{2}{3} + 20 \times \frac{2 \times 4}{3} = 275,3 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{Resist} = W \times \frac{B}{2} = 494 \times \frac{4}{2} = 988 \text{ kN.m/m}$$

$$F = \frac{M_{Resistente}}{M_{Solicitante}} = \frac{988}{275,3} = 3,6$$

Esse valor é adequado (superior a 1,5).



VERIFICAÇÕES ADICIONAIS (não solicitadas neste exercício)

CARGA ÚLTIMA DA SAPATA DO MURO

Verificar utilizando as expressões de carga última (Prandtl-Reissner, Terzaghi, Meyerhof, etc.), com os ajustes para cargas inclinadas e excêntricas. Essas expressões estão disponíveis em livros de Engenharia Geotécnica, Engenharia de Fundações, etc. (exemplo: Braja Das, Fundamentos de Engenharia Geotécnica).

Critério: $F \geq 2$

ESTABILIDADE GERAL DO MURO

Verificar o fator de segurança mínimo de superfícies potenciais de escorregamento passando pelo solo abaixo do muro. Utilizar um dos processos de equilíbrio limite (Bishop simplificado, por exemplo) utilizados para a verificação da segurança de encostas e taludes.

Critério: $F \geq 1,5$