

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP
PEF 0522 - MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES
8ª LISTA DE EXERCÍCIOS: Resistência ao cisalhamento dos solos - RESOLUÇÃO

Questão 1. Um bloco apoiado sobre um plano horizontal e com peso próprio de 10 kN, começou a deslizar quando uma força horizontal a ele aplicada atingiu o valor de 4 kN. Qual o coeficiente de atrito entre o bloco e a superfície de apoio?

Resposta: O coeficiente de atrito (f) pode ser obtido pela razão entre a força horizontal aplicada e a força normal (força peso). O ângulo de atrito (ϕ) é o arco tangente desse coeficiente.

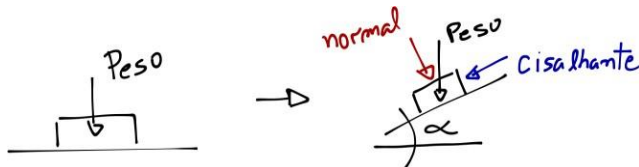
$$\begin{aligned} F_n &= 10 \text{ kN} & f &= F_h/F_n = 0,4 \\ F_h &= 4 \text{ kN} & \phi &= \text{atan}(0,4) = 21,8^\circ \end{aligned}$$

Questão 2. Considere o mesmo bloco do exercício anterior, agora sem a força horizontal mas com inclinação progressiva da superfície de apoio, até que se inicie o deslizamento. Qual a relação entre essa inclinação da superfície de apoio e o coeficiente de atrito do exercício anterior?

Resposta: A inclinação da superfície de apoio faz com que a força peso, que no exercício anterior era a força normal, se decomponha (imagem abaixo). Essa decomposição gera duas parcelas, uma componente cisalhante que induz o bloco ao deslizamento (papel que F_h fazia) e uma componente normal ao plano. O deslizamento ocorrerá quando a relação entre a parcela cisalhante e a parcela normal for maior que o coeficiente de atrito do item anterior (0,4). Na iminência de movimento ocorre o equilíbrio das forças, onde se tem a igualdade:

$$0,4 = (P * \text{sen}\alpha) / (P * \text{cos}\alpha)$$

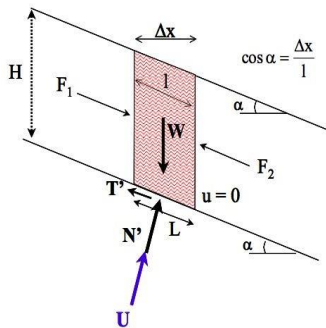
Logo $\alpha = \text{atan}(0,4) = 21,8^\circ = \phi$, onde α é a inclinação da superfície de apoio.



Questão 3. Considere a seção de um talude cuja espessura é muito pequena se comparada à sua extensão ("talude infinito"), como ocorre, por exemplo, em algumas encostas da Serra do Mar. Suponha uma inclinação de 28° e uma espessura de solo de 2 m até se atingir a rocha alterada bem mais resistente. Nesses casos, quando ocorre ruptura o escorregamento se dá ao longo de uma superfície plana aproximadamente paralela à face do talude (por exemplo, o contato solo-rocha). Discuta, através do equilíbrio das forças em jogo a condição de estabilidade do talude.

Resposta: Para que não ocorra deslizamento e o talude permaneça estável, a força que promove o deslizamento (atuante) deve ser menor ou igual a força resistente. A força que promove o deslizamento do talude é proveniente do peso próprio do solo decomposto na direção do deslizamento. Esta parcela de força está escrita no divisor da equação do fator de segurança apresentada abaixo. A força resistente ao deslizamento é a força de atrito entre o solo e a interface de rocha. Esta força pode ser calculada através da equação que representa o critério de ruptura de Mohr-Coulomb, composta por coesão e por atrito.

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
 FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP
 PEF 0522 - MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES
 8ª LISTA DE EXERCÍCIOS: Resistência ao cisalhamento dos solos - RESOLUÇÃO



$$F = \frac{c' + (\gamma H \cos^2 \alpha - \mu) g \phi}{\gamma H \sin \alpha \cos \alpha}$$

Questão 4. Quais as semelhanças e diferenças entre o exercício 3 e o exercício 1?

Respostas: Os problemas são similares pois partem do princípio de um corpo deslizando sobre uma superfície e ambos utilizam o critério de Mohr-Coulomb para ruptura. Em ambos os casos existe uma força desestabilizante e uma força resistente. No entanto, no exercício 1 o bloco se encontra em uma superfície horizontal e nele é aplicada a força horizontal para promover o deslocamento. No caso do exercício 3, o material que está suscetível a deslizamento é o solo que se encontra em um plano inclinado. O solo, diferente do bloco, é um material que pode apresentar coesão e alteração de sua resistência com o umedecimento.

Questão 5. Suponha que num trecho da Serra do Mar ocorre uma situação semelhante à do exercício 3, com um solo de parâmetros de resistência ao cisalhamento de coesão 2 tf/m^2 e ângulo de atrito de 28° . Qual o fator de segurança deste trecho de encosta? Como este valor de FS mudaria em função da ocorrência de chuvas que elevariam o nível d'água até 1 metro abaixo da superfície do terreno?

Resposta: Assumindo que o solo do trecho da Serra do Mar tem peso específico de 18 kN/m^3 .

i. Sem elevação do nível de água:

$$\begin{aligned} c &= 20 \text{ kPa} & H &= 2 \text{ m} \\ \phi &= 28^\circ & u &= 0 \text{ kPa} \\ i &= 28^\circ \end{aligned}$$

$$FS = 2,34$$

ii. Com elevação do nível de água de 1 m:

A elevação do NA em 1 m promoveria um acréscimo de pressão neutra na interface solo-rocha de 10 kPa. Este valor deve ser considerado como redução na tensão efetiva na interface solo-rocha. Logo:

$$\begin{aligned} c &= 20 \text{ kPa} & H &= 2 \text{ m} \\ \phi &= 28^\circ & u &= 10 \\ i &= 28^\circ \end{aligned}$$

$$FS = 1,98$$

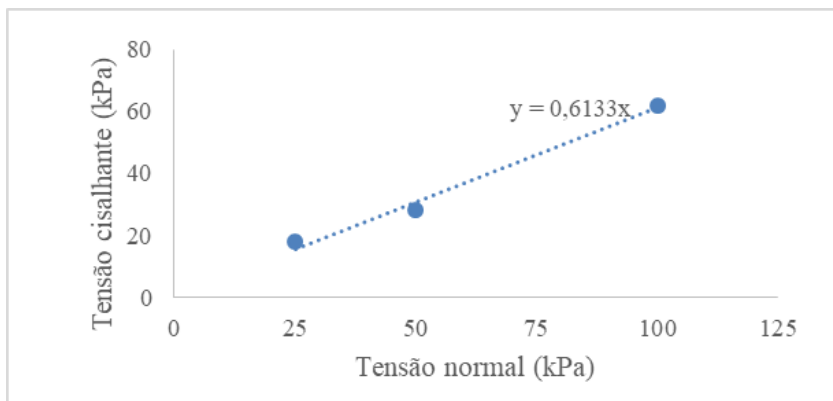
O fator de segurança reduziria por conta da elevação do nível de água.

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
 FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP
 PEF 0522 - MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES
 8ª LISTA DE EXERCÍCIOS: Resistência ao cisalhamento dos solos - RESOLUÇÃO

Questão 6. Apresentam-se abaixo os resultados de três ensaios de cisalhamento direto realizados sobre uma mesma areia com peso específico de 19 kN/m^3 . Determine a envoltória de resistência da areia e complete o quadro abaixo.

Ensaio	1	A	2	B	3
σ (kN/m ²)	25	30	50	66	100
τ (kN/m ²)	18		28		62

Resposta: Primeiramente deve-se traçar uma envoltória de resistência média para os ensaios realizados passando pela origem visto que se trata de uma areia e não possui coesão.



Com arco tangente do coeficiente angular da envoltória de resistência obtém-se o ângulo de atrito.

$$a = 0,6133$$

$$\phi = \text{atan}(0,6133) = 31,52^\circ$$

Sabendo o ângulo de atrito é possível calcular a resistência ao cisalhamento para qualquer tensão normal. Logo:

Para 30 kPa de tensão normal:

$$\tau \text{ (kPa)} = 30 \cdot \tan(31,52) = 18,4$$

Para 66 kPa de tensão normal:

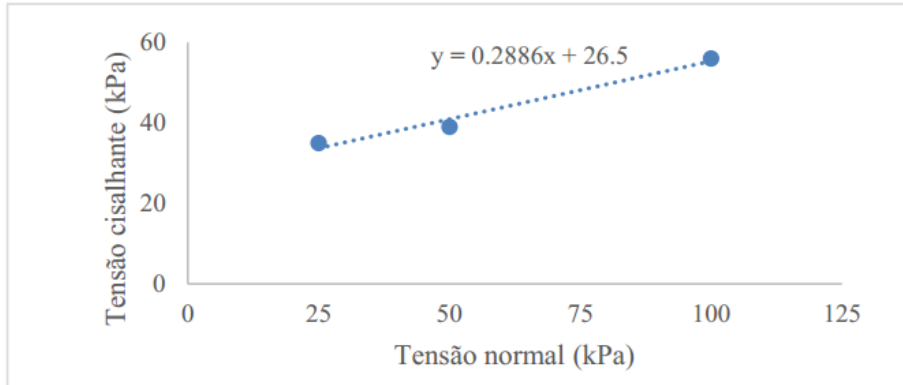
$$\tau \text{ (kPa)} = 66 \cdot \tan(31,52) = 40,5$$

Questão 7. Idem para um solo argilo-siltoso com peso específico de 18 kN/m^3 .

Ensaio	1	A	2	B	3
σ (kN/m ²)	25	30	50	66	100
τ (kN/m ²)	35		39		56

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP
PEF 0522 - MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES
8ª LISTA DE EXERCÍCIOS: Resistência ao cisalhamento dos solos - RESOLUÇÃO

Resposta: Primeiramente deve-se traçar uma envoltória de resistência média para os ensaios realizados sem forçar a envoltória cruzar a origem, visto que nesse caso se trata de um solo coesivo.



Com o arco tangente do coeficiente angular da envoltória de resistência obtém-se o ângulo de atrito, e com o intercepto obtém-se a coesão

$$a = 0,2886 \quad b = 26,5 \text{ kPa}$$

$$\phi = \text{atan}(0,2886) = 16,1^\circ$$

Sabendo o ângulo de atrito é possível calcular a resistência ao cisalhamento para qualquer tensão normal. Logo:

Para 30 kPa de tensão normal:

$$\tau \text{ (kPa)} = 30 * \tan(16,1) + 26,5 = 35,2$$

Para 66 kPa de tensão normal:

$$\tau \text{ (kPa)} = 66 * \tan(16,1) + 26,5 = 45,5$$