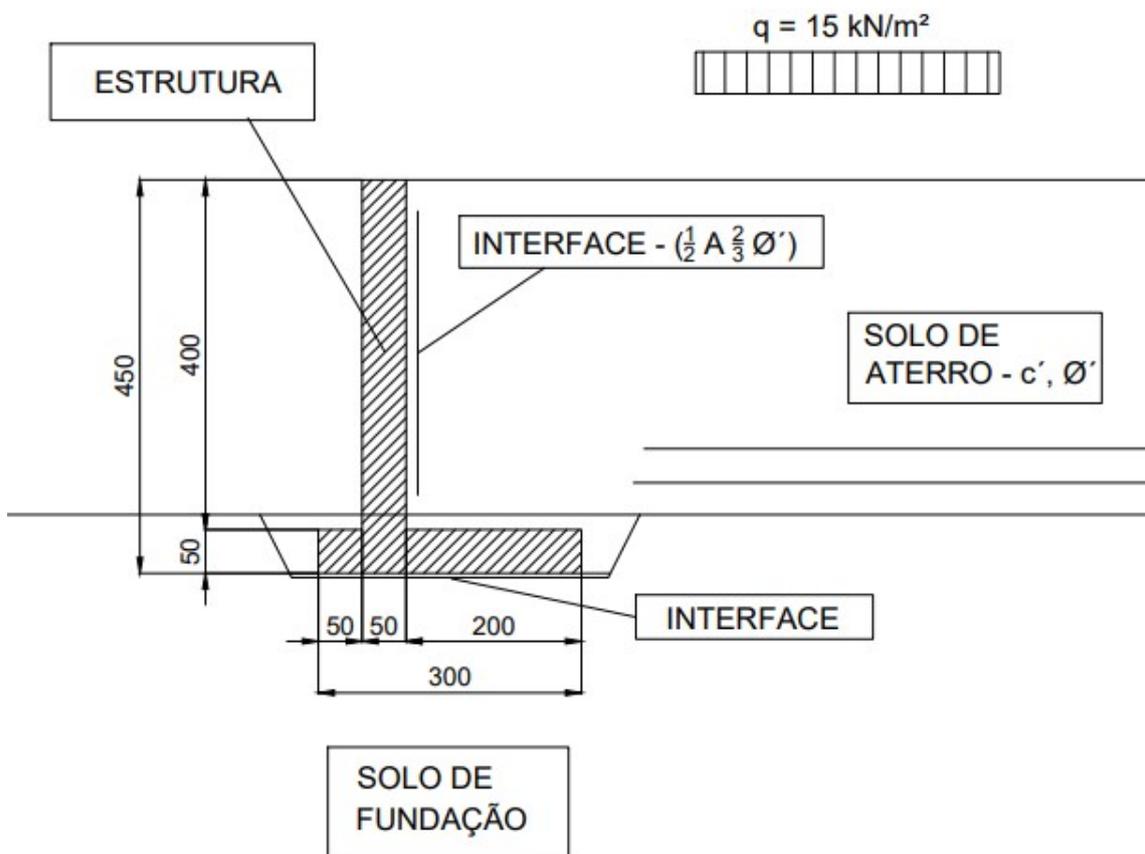


## PEF 3405 (2020-II) – EXERCÍCIO 5

Seja o problema, analisar a estabilidade de um muro de flexão que apresenta as seguintes características:

- Altura de 4,50 m; largura da base de 3,00 m; espessura da laje e da parede de 50 cm; recuo da parede de 50 cm em relação à laje de inferior; profundidade da fundação de aproximadamente 60 cm;
- Solo de fundação predominantemente granular com  $\phi' = 35^\circ$  e  $\gamma' = 19 \text{ kN/m}^3$ ; N.A. profundo;
- Material da estrutura: concreto armado com  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ ;
- Solo de aterro com  $c' = 5 \text{ kPa}$ ,  $\phi' = 30^\circ$  e  $\gamma' = 18 \text{ kN/m}^3$ ;
- Sobrecarga de  $15 \text{ kN/m}^2$  na superfície do aterro;
- As interfaces podem ser tratadas com parâmetros reduzidos por fator 2/3;

A figura abaixo ilustra.



Inicialmente, será feita o equacionamento da resolução e em seguida serão feitas questões adicionais para serem respondidas pela equipe.

## EQUACIONAMENTO DA RESOLUÇÃO

Na seqüência, serão realizados os seguintes cálculos:

1. Cálculo dos empuxos:
  - Coeficientes de empuxo (será usado Rankine para  $k_a$  e  $k_p$ );
  - Tensões ativas (a favor da segurança será desconsiderado o empuxo passivo):
    - Empuxo de terra;
    - Empuxo da sobrecarga;
  - Empuxos  $E_{\text{solo}}$  e  $E_q$  (valores e pontos de aplicação);
2. Verificações:
  - a. Deslizamento;
  - b. Tombamento;
  - c. Capacidade de carga da fundação;
  - d. Ruptura geral;

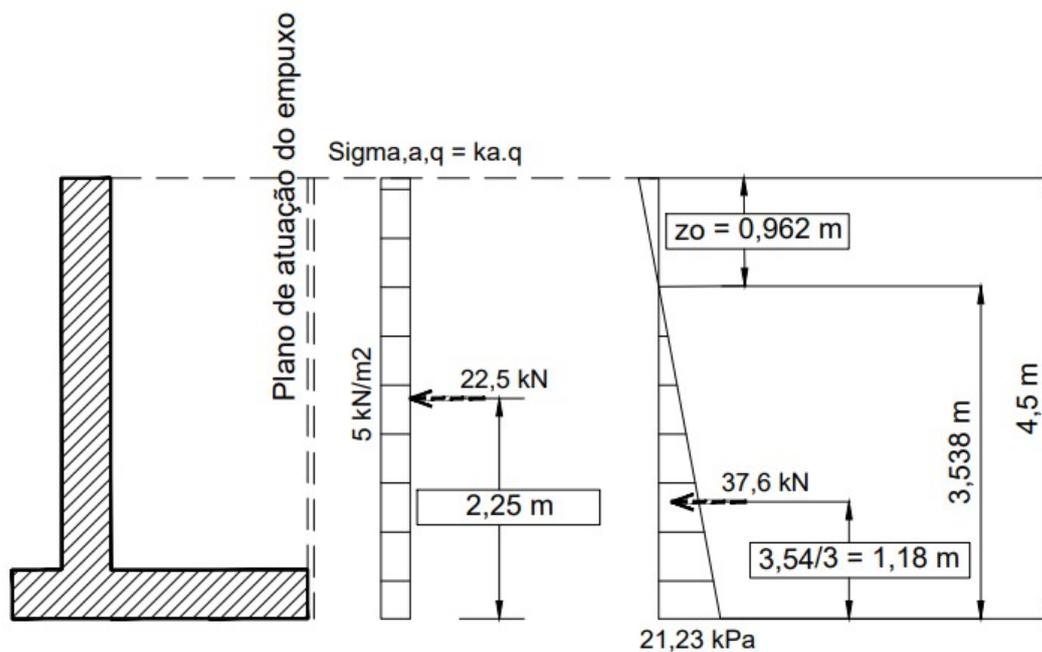
### 1. CÁLCULO DOS EMPUXOS

De acordo com Rankine:

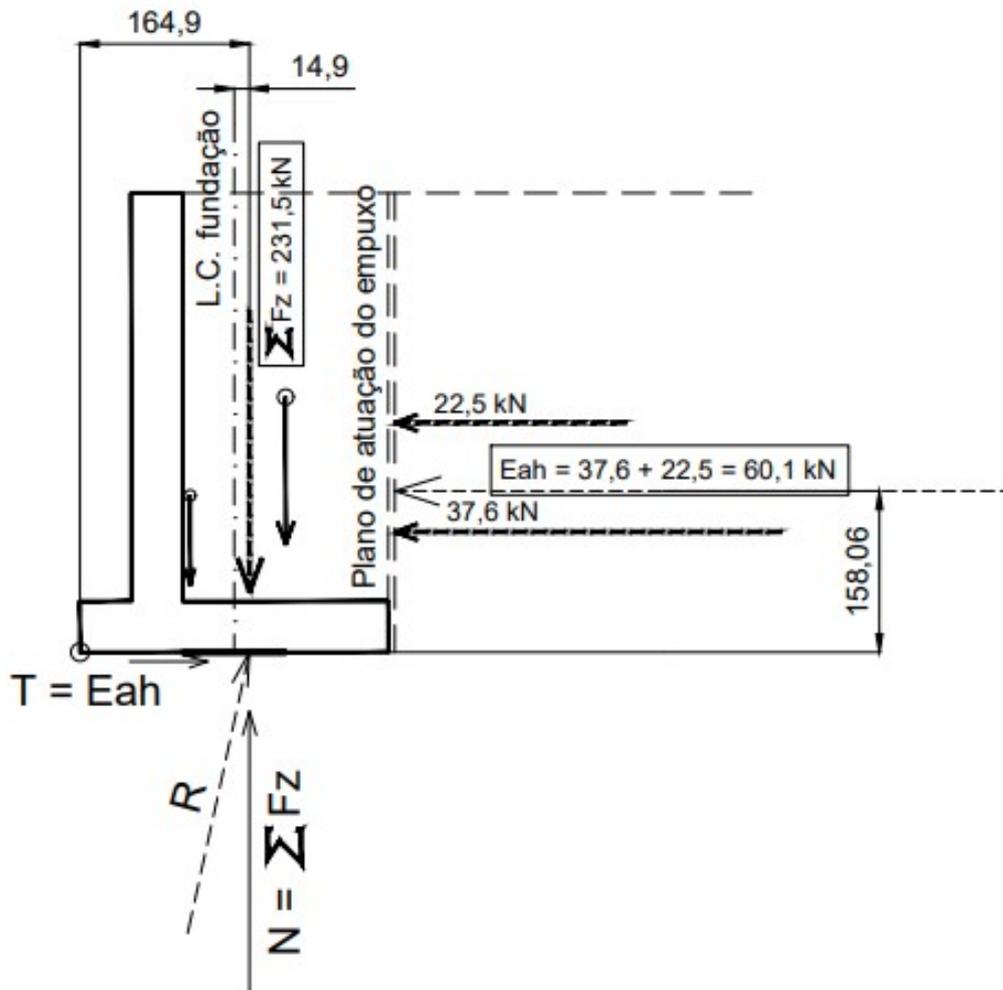
- $k_a = (1 - \text{sen } \phi') / (1 + \text{sen } \phi') = 1/3$  ( $\phi' = 30^\circ$ );
- $k_p = (1 + \text{sen } \phi') / (1 - \text{sen } \phi') = 3$  ( $\phi' = 30^\circ$ );

As tensões ativas serão calculadas conforme a figura abaixo, bem como os empuxos:

- $E_{\text{solo}} = 37,6 \text{ kN}$ ;
- $E_q = 22,5 \text{ kN}$ ;



Com os valores acima, é feito um diagrama de corpo livre da estrutura, com todas as forças atuantes, empuxos e cargas, com seus respectivos pontos de aplicação.



## 2. VERIFICAÇÕES

### 2.1. Deslizamento

- $E_{ah} = 60,1 \text{ kN}$ ;
- $F_{at} = 231,5 \times \tan(2 \times 35 / 3) = 99,9 \text{ kN}$ ;
- $FS = 99,9 / 60,1 = 1,66 > 1,5 \text{ (OK)}$ ;

### 2.2. Tombamento

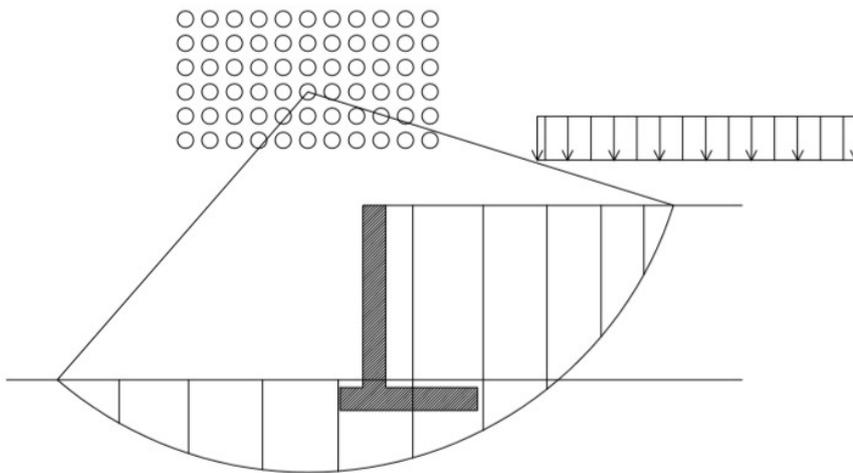
- $M_{\text{tombamento}} = 60,1 \times 1,58 = 95 \text{ kN.m}$ ;
- $M_{\text{estabilizador}} = 231 \times 1,65 = 381 \text{ kN.m}$ ;
- $FS = 4,01 \gg 1,5 \text{ (OK)}$

### **2.3. Tensões no solo – capacidade de carga**

Abaixo se apresentam as tensões normais na base, que devem ser usadas para verificar a capacidade resistente da fundação. Para este ELU devem ser empregados fatores de segurança de 2,0 a 3,0 (questões adicionais 1 e 2).

### **2.4. Estabilidade geral**

Finalmente, abaixo se encontra esquematizada a verificação de estabilidade geral, onde o  $FS_{\min}$  deve ser  $\geq 1,5$ .



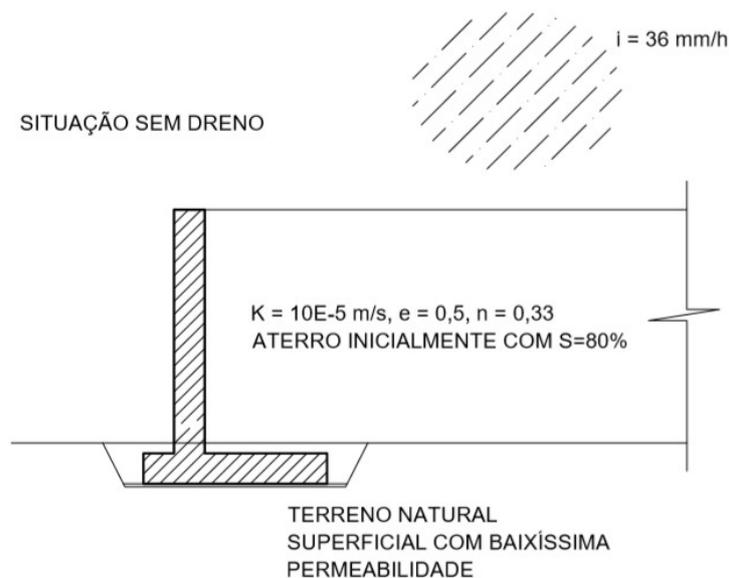
### QUESTÕES ADICIONAIS

**Q1.** Desenhar o diagrama de tensões na base da sapata do muro de flexão.

**Q2.** Verificar a capacidade de carga.

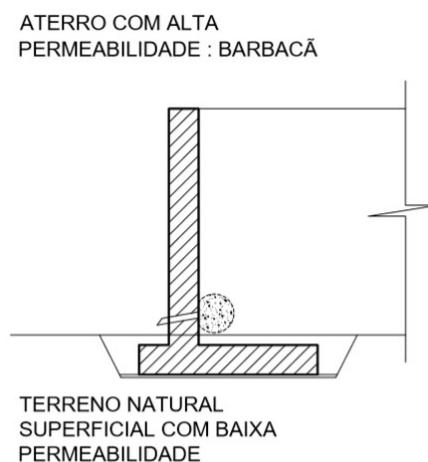
**Q3.** Analisar a situação de acúmulo de água no aterro, conforme descrito abaixo.

Para a questão adicional (Q3), inicialmente, considere-se que as primeiras camadas do solo natural sejam impermeáveis e que não haja drenos na parede do muro, conforme a figura abaixo.



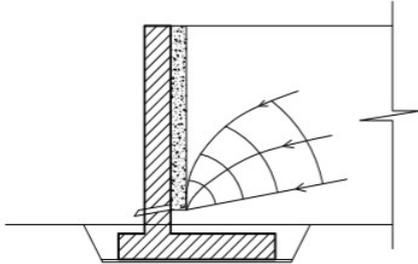
Nesta situação, considerando que o fluxo será vertical, com gradiente  $i = 1$ , a velocidade de percolação aparente será  $v = 10^{-5} \text{ m/s}$  (36 mm/h). Como  $v$  é igual à intensidade da chuva, teoricamente toda a água de chuva irá infiltrar.

Com chuva intensa, poderia haver saturação do aterro. Dessa forma é interessante prever drenos. Se o aterro for muito permeável, é suficiente em muitos casos empregarem-se barbacãs, conforme figura abaixo.



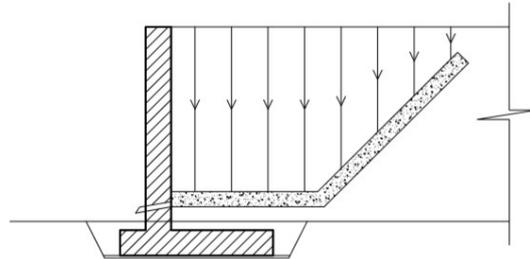
Caso o aterro não seja tão permeável, seguem abaixo outras considerações.

ATERRO COM MÉDIA A BAIXA  
PERMEABILIDADE: DRENO VERTICAL  
OBS.: NA SUPERFÍCIE DE RUPTURA  
PODEM AINDA OCORRER PRESSÕES  
NEUTRAS ELEVADAS



TERRENO NATURAL  
SUPERFICIAL COM BAIXA  
PERMEABILIDADE

SOLUÇÃO MELHOR PARA ATERRO  
COM MÉDIA A BAIXA PERMEABILIDADE:  
DRENO HORIZONTAL COMBINADO COM  
DRENO INCLINADO  
FLUXO VERTICAL



TERRENO NATURAL  
SUPERFICIAL COM BAIXA  
PERMEABILIDADE

Diante disso, pede-se que seja feita análise da estabilidade considerando que o sistema de drenagem não funcionou de forma adequada e, por hipótese, que houve acúmulo de 1,5 m de água no aterro, contados a partir do nível da fundação.