

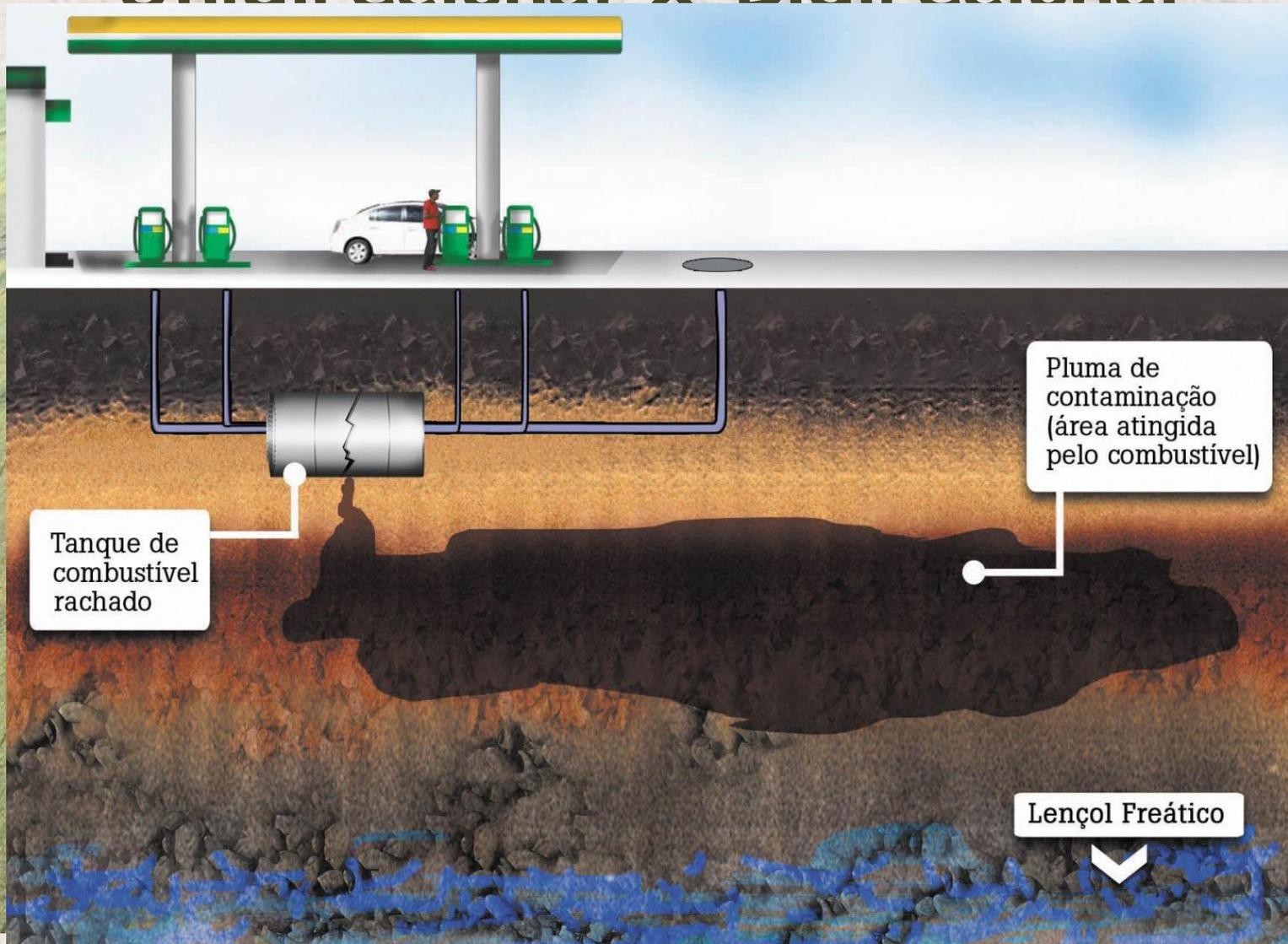


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
PEF-3309 – Mecânica dos Solo Ambinetal

Aula 7

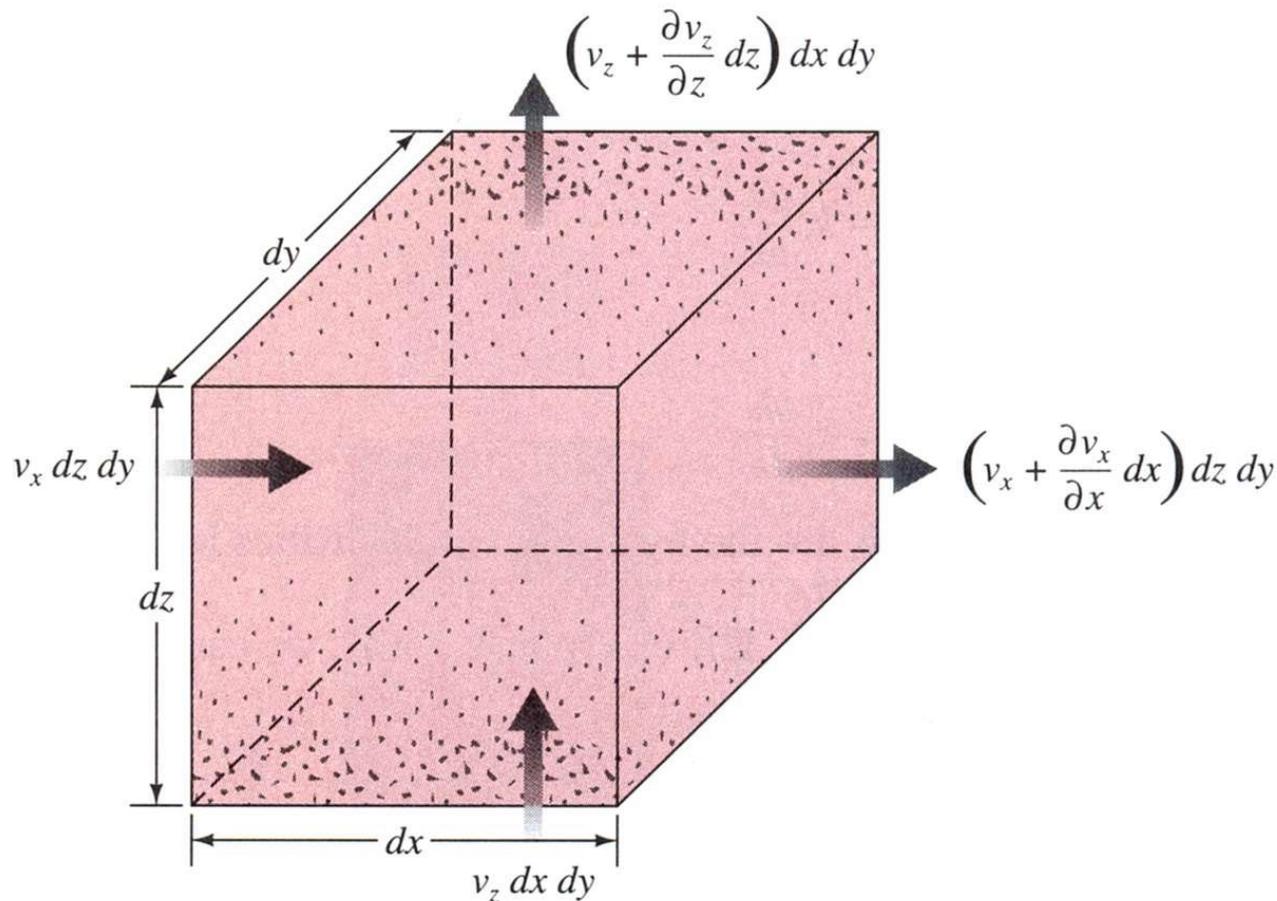
Fluxo 2D

Unidirecional x Bidirecional



- Unidimensional x Bidimensional

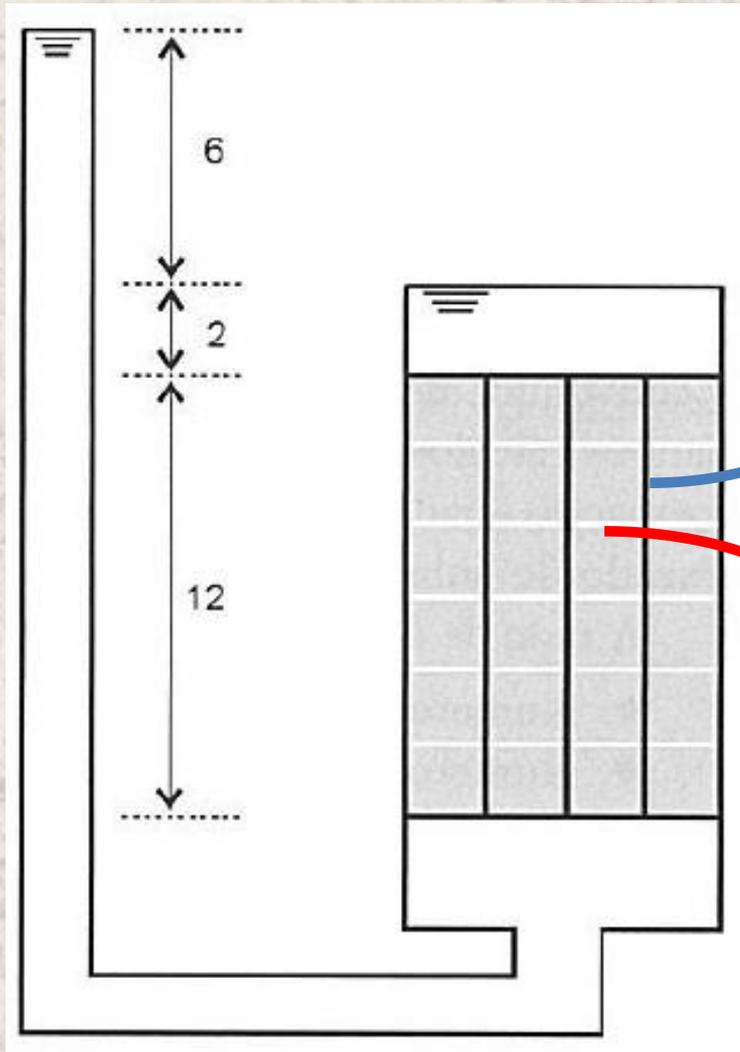
Equação da continuidade (La Place)



$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

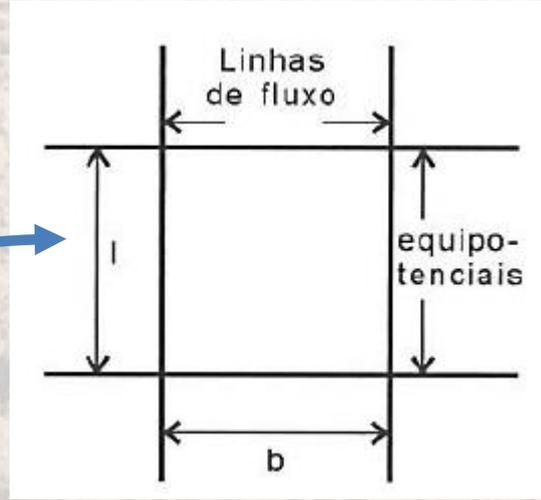
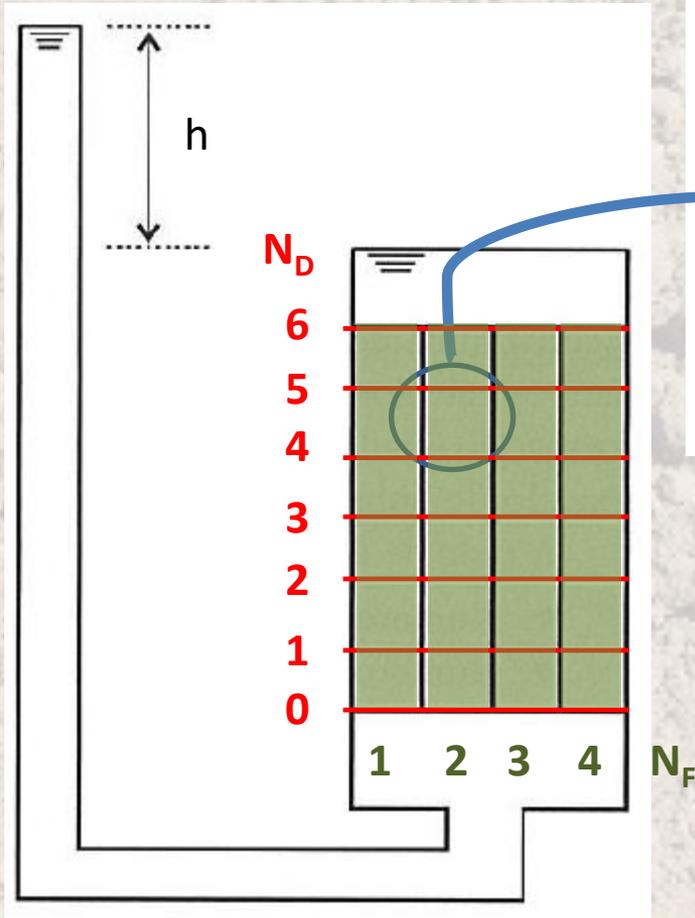
- Item 7.7 – livro Prof. Carlos Pinto

Redes de fluxo e Equipotenciais



- Uma **linha de fluxo** é uma linha ao longo da qual uma partícula de água caminha de montante para jusante.
- Uma **linha equipotencial** é uma linha ao longo da qual, a carga total é constante.

Redes de Fluxo e Equipotenciais



1. Perda de carga de cada equipotencial

$$\Delta h = \frac{h}{N_D}$$

2. Gradiente hidráulico

$$i = \frac{\Delta h}{l} = \frac{h}{l \cdot N_D}$$

3. Vazão em cada canal de fluxo

$$q = k \frac{h}{l N_D} \quad b = k \frac{h}{N_D}$$

4. Condição de simetria

$$b = l$$

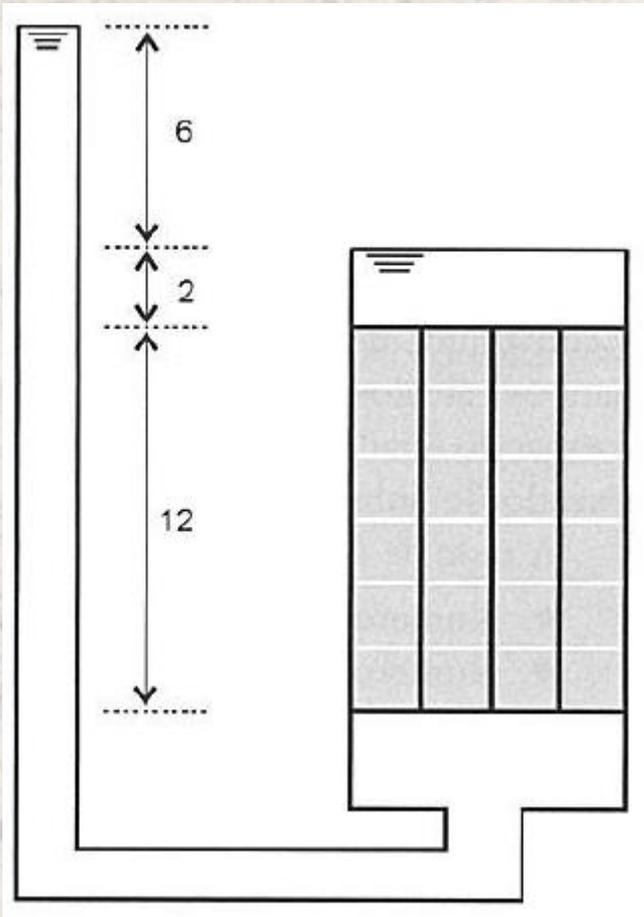
5. Vazão do sistema

$$Q = kh \frac{N_F}{N_D}$$

Redes de Fluxo e Equipotenciais

Exemplo 1

Sabendo que $k = 10^{-2}$ cm/s, calcule a vazão do sistema.



$$Q = k \frac{h}{L} A \quad ?$$

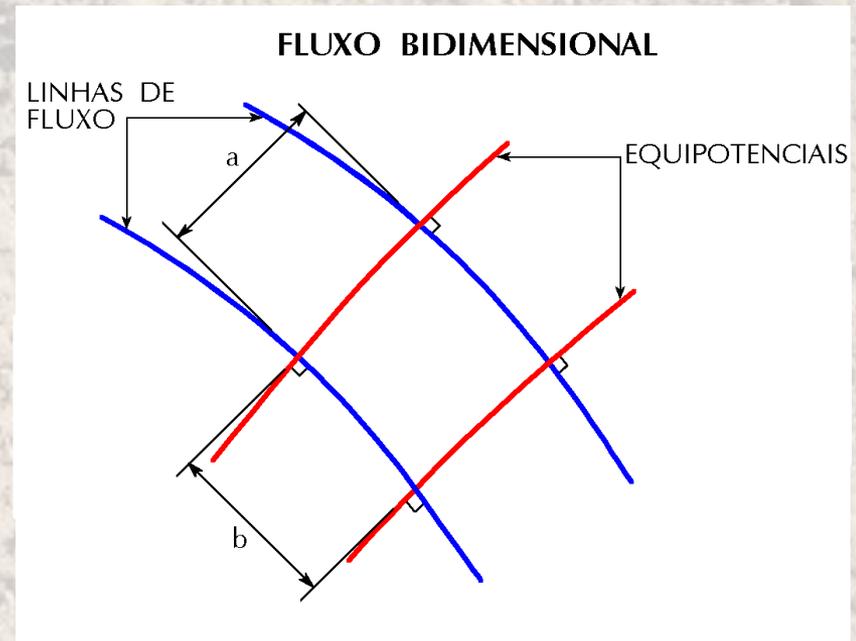
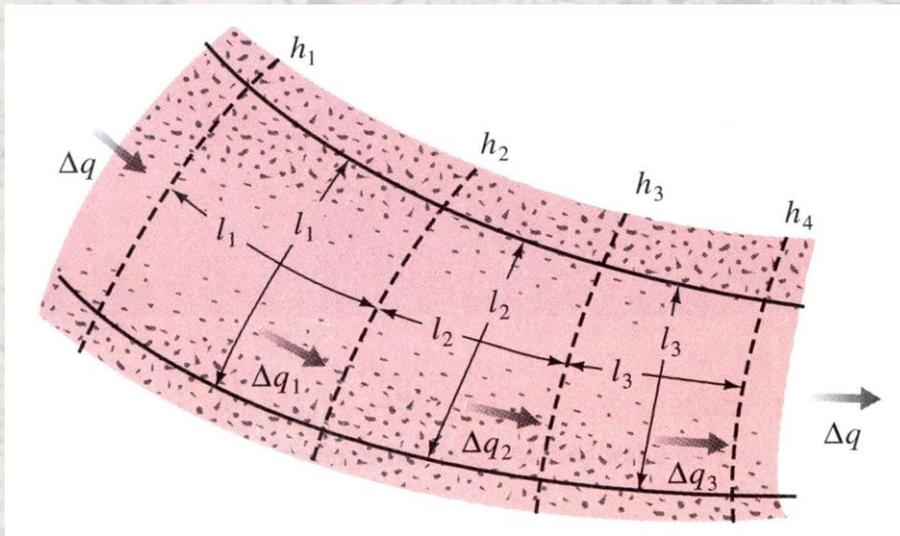
$$Q = kh \frac{N_F}{N_D}$$

$$N_D = 6 \text{ e } N_F = 4$$

$$Q = 10^{-2} \times 6 \times 4/6 = 4 \times 10^{-2} \text{ cm}^3/\text{s}/\text{cm}$$

Redes de fluxo

- A faixa limitada por duas linhas de fluxo adjacentes denomina-se canal de fluxo.
- Seja um canal de fluxo, com linhas equipotenciais formando elementos “quadrados”.

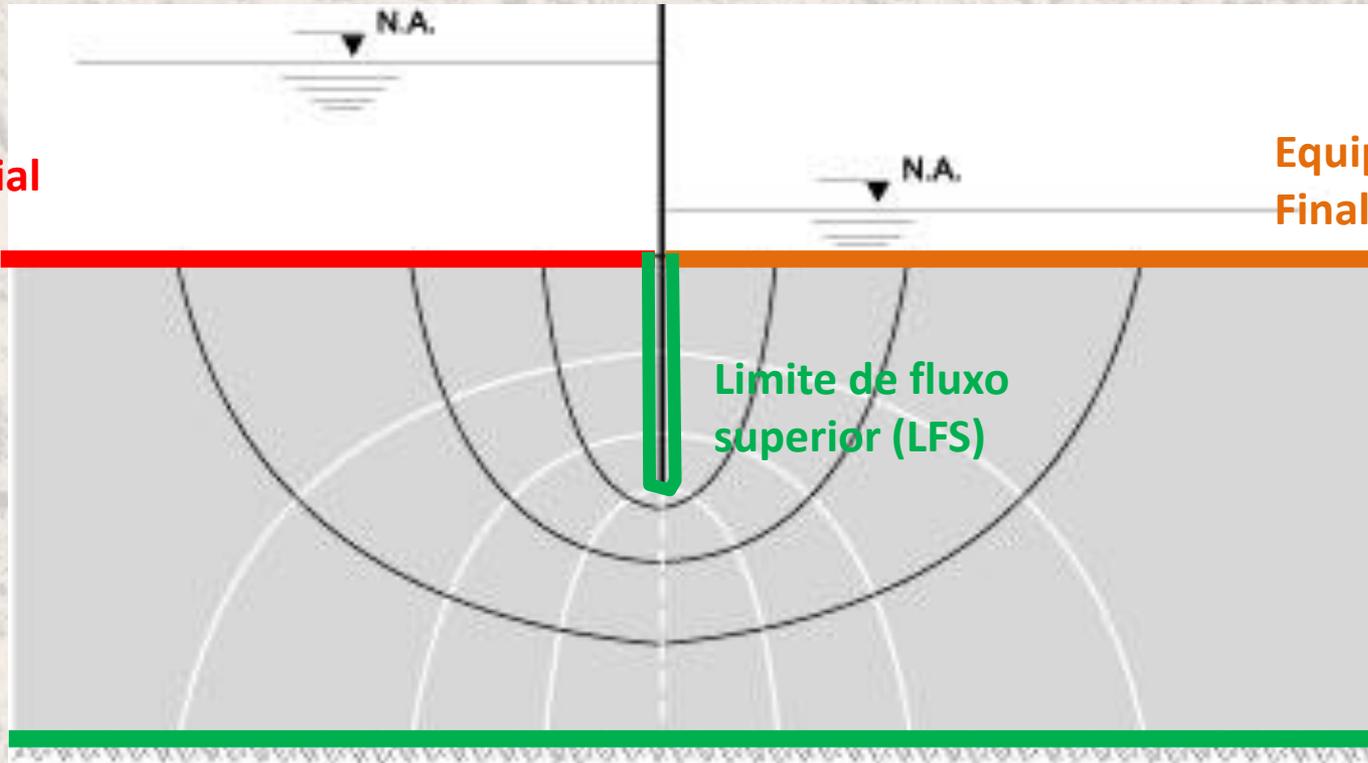


Redes de fluxo



Redes de fluxo - Elementos de contorno

Equipotencial
Inicial (EI)



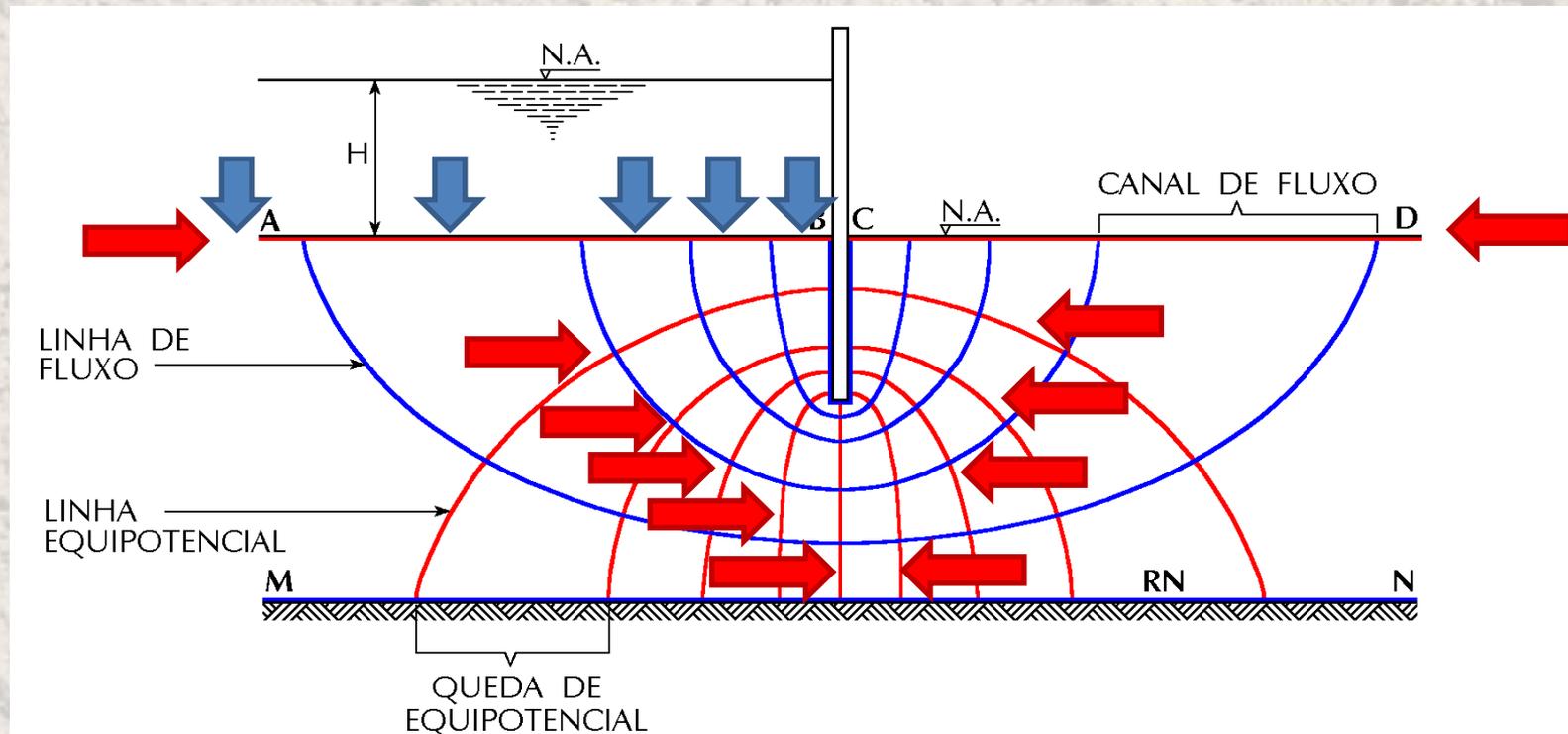
Equipotencial
Final (EF)

Limite de fluxo
superior (LFS)

Limite de fluxo
inferior (LFI)

Redes de fluxo - Exemplo 2

Sabendo que $k = 10^{-5}$ m/s e que $H = 10$ m, calcule a vazão que passa sob a pranchada.



$$Q = kh \frac{N_F}{N_D}$$

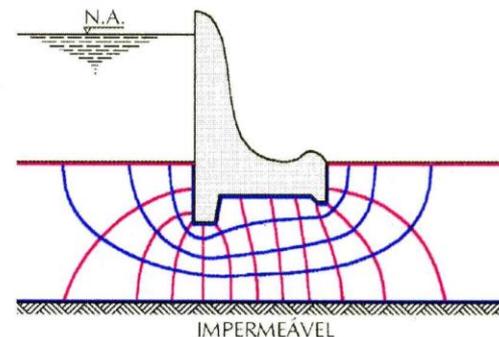
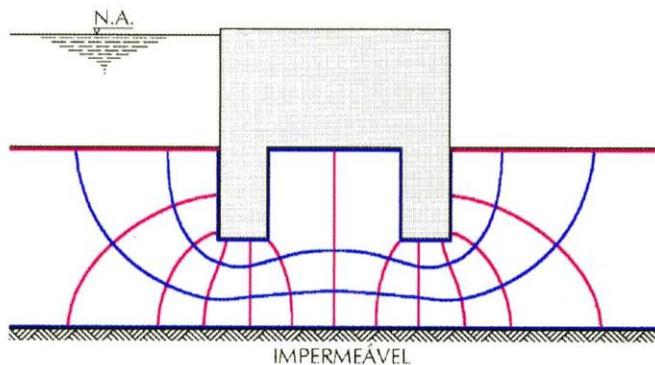
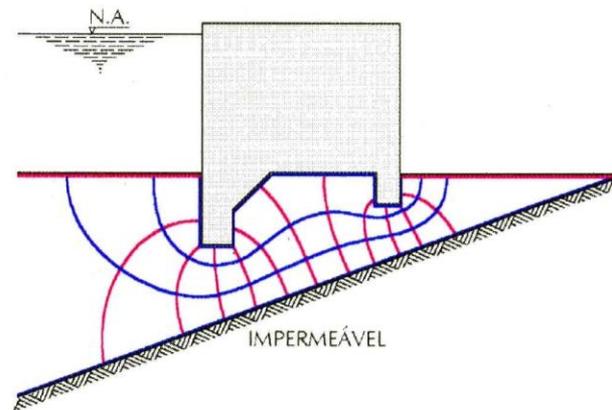
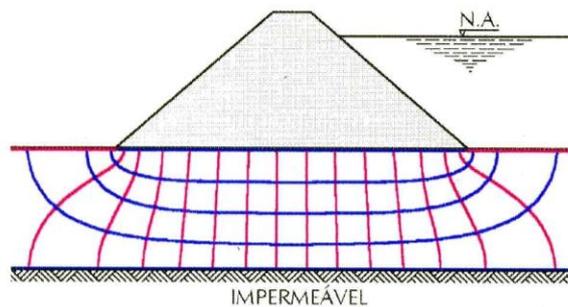
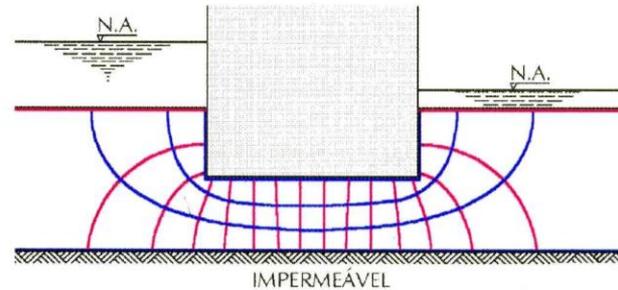
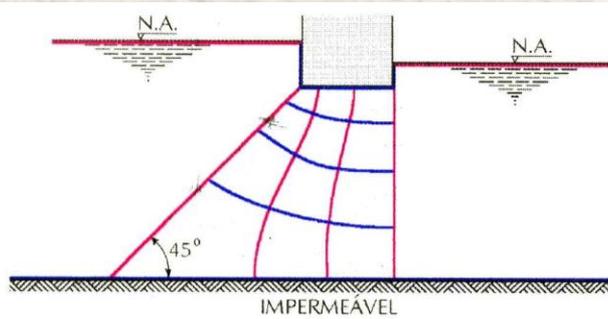
$$N_D = 10 \text{ e } N_F = 5$$

$$Q = 10^{-5} \times 10 \times 5/10 = 5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

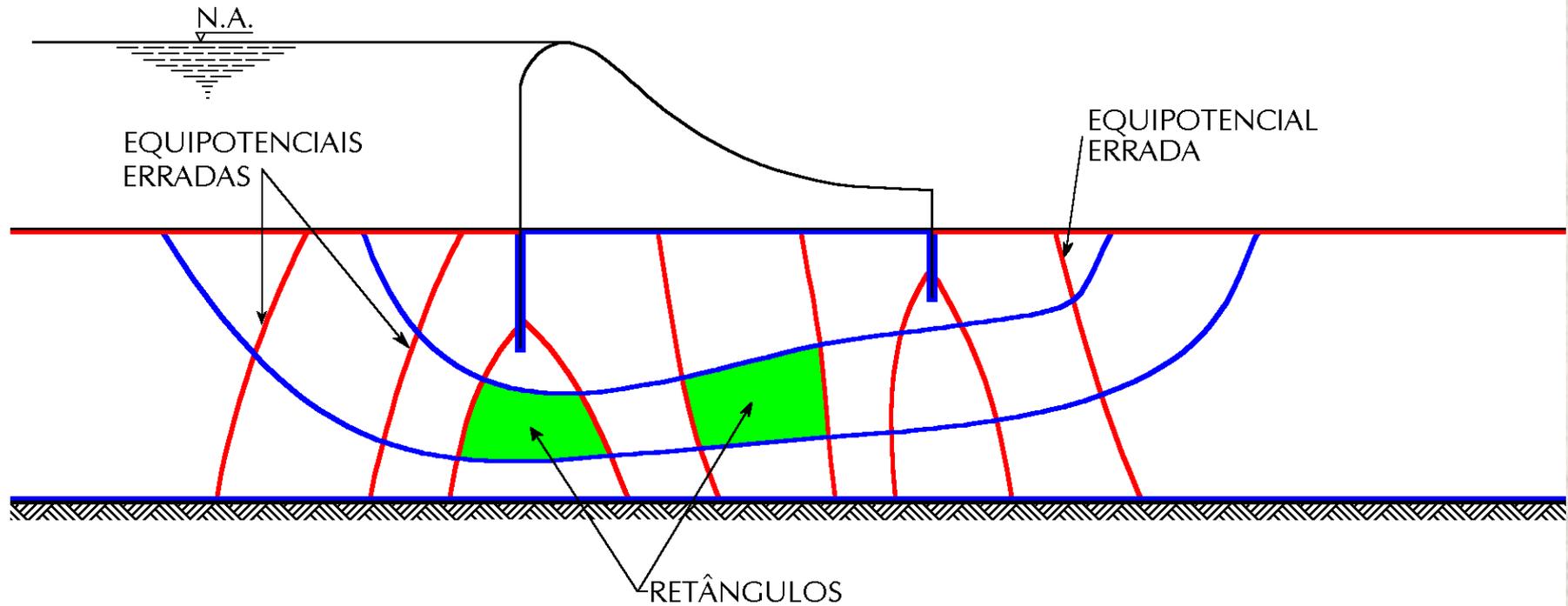
Redes de fluxo - Traçado

- Construção feita por tentativas e erros
- Manter elementos “quadrados” entre canais de fluxo e equipotenciais
- Assimilar o estilo para diferentes casos
- No traçado de uma nova rede, 3 a 4 canais de fluxo são suficientes na 1ª tentativa
- Observar a aparência total da rede antes de acertar detalhes
- Desenhar transições suaves entre trechos retilíneos e curvos
- Treino
- No início custa a acreditar que diferentes pessoas vão obter o mesmo resultado de vazão. Contudo, mantendo os quadrados e as recomendações acima, isto ocorre.

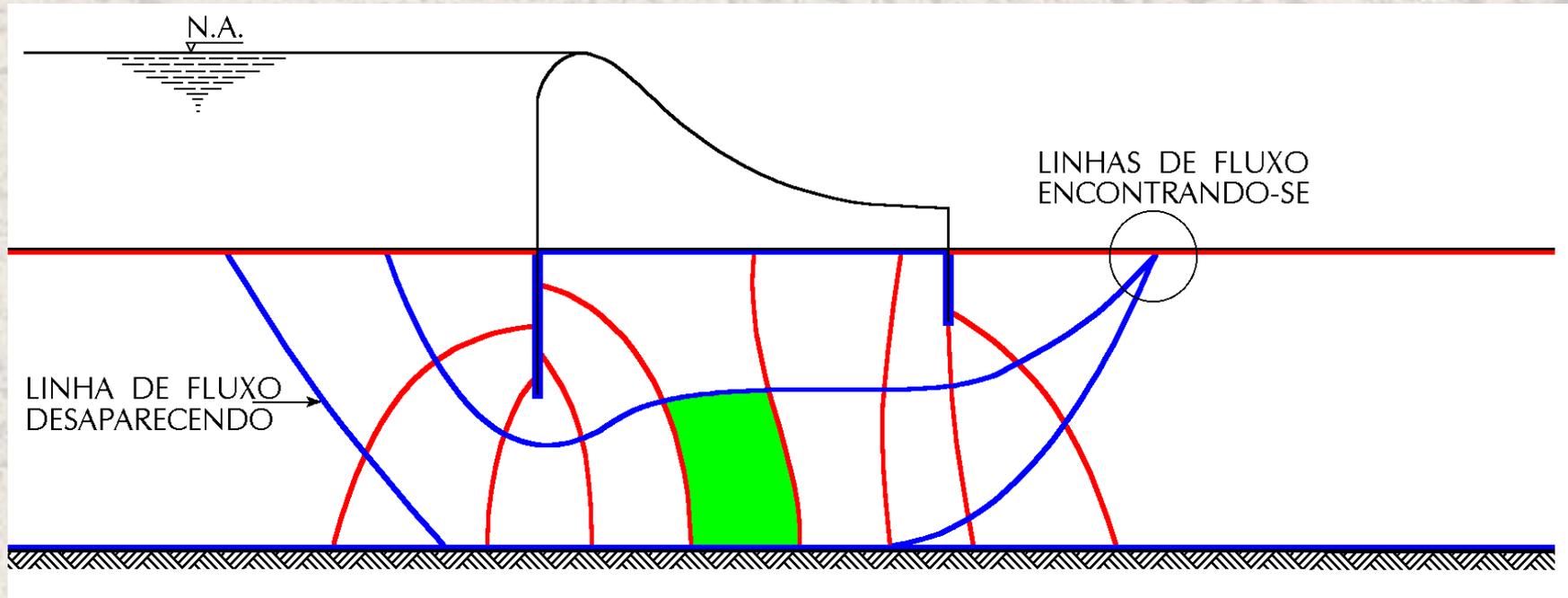
Redes de fluxo - Exemplos



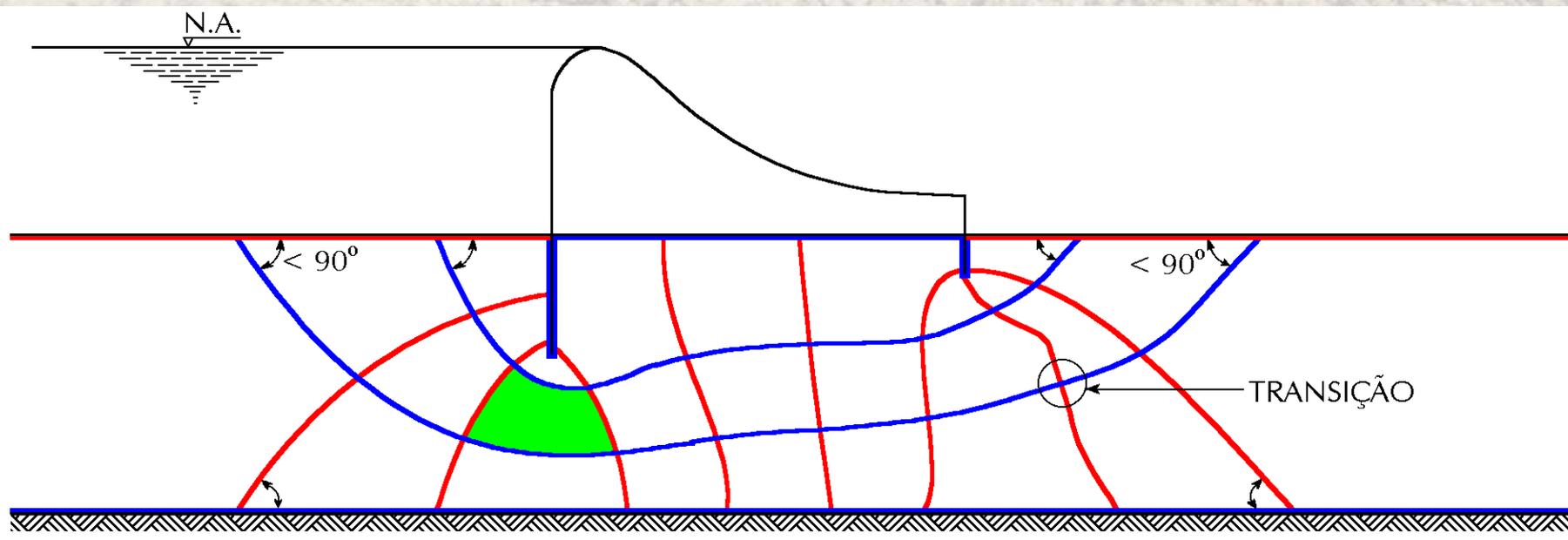
Redes de fluxo - Erros mais freqüentes de traçado



Redes de fluxo - Erros mais freqüentes de traçado

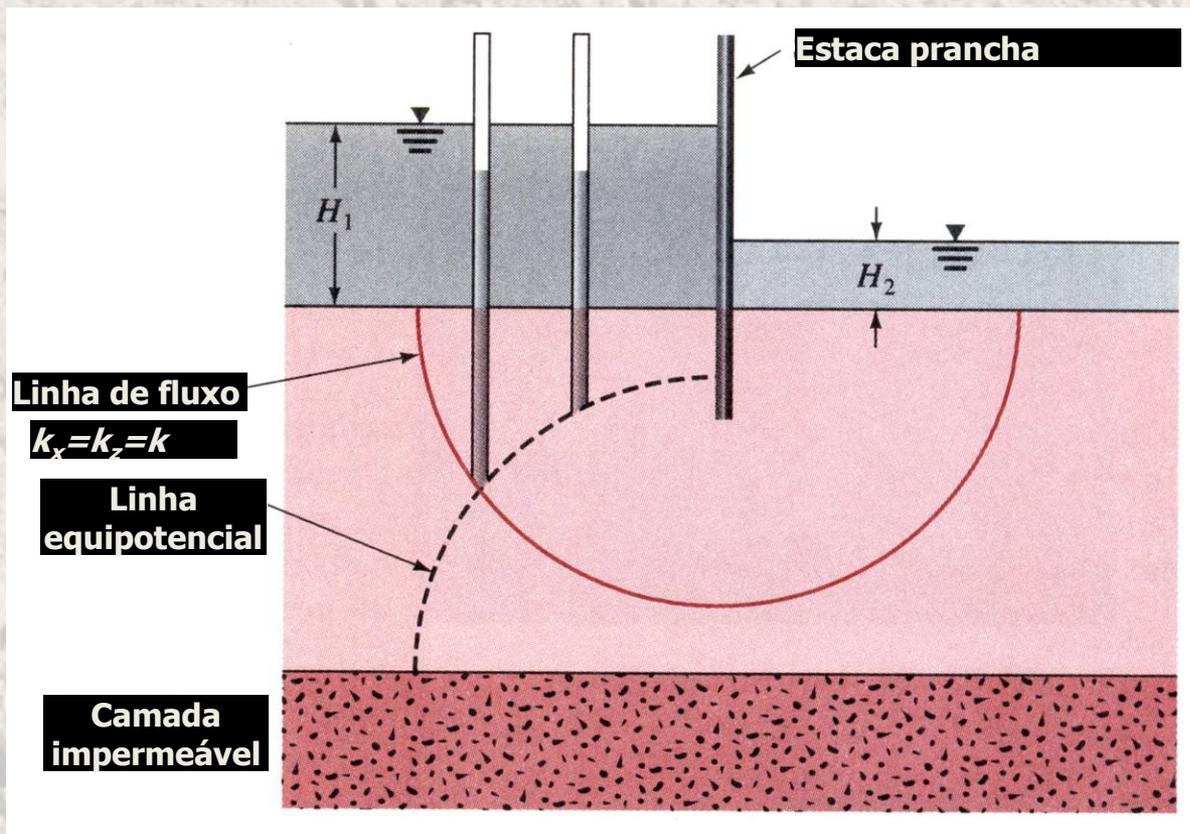


Redes de fluxo - Erros mais freqüentes de traçado

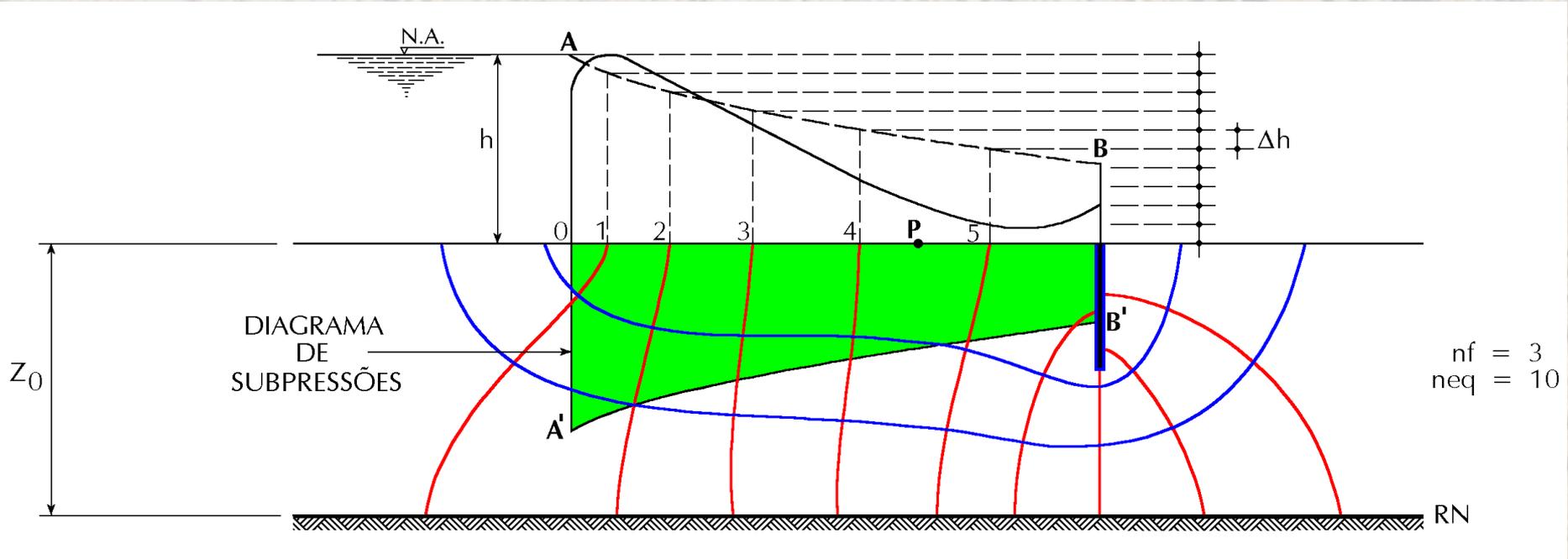


Redes de fluxo - Cargas

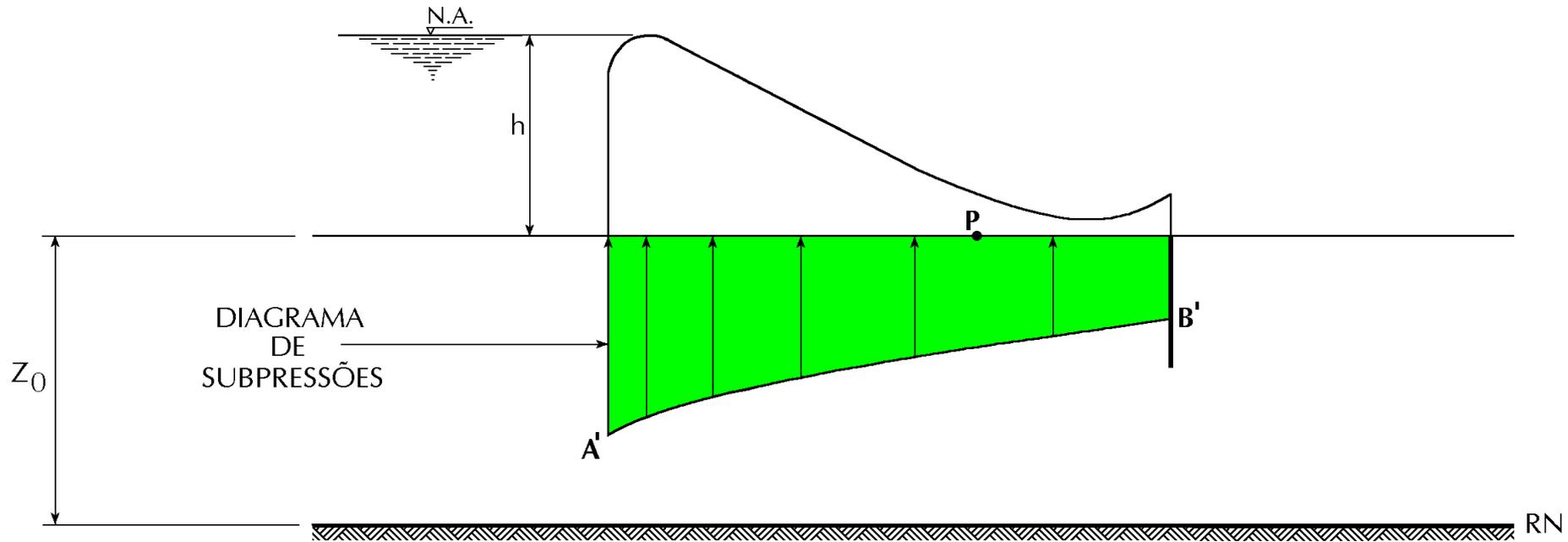
- Se forem colocados piezômetros ao longo de uma equipotencial, os níveis de água serão os mesmos em todos eles.



Diagramas de subpressões em vertedouros



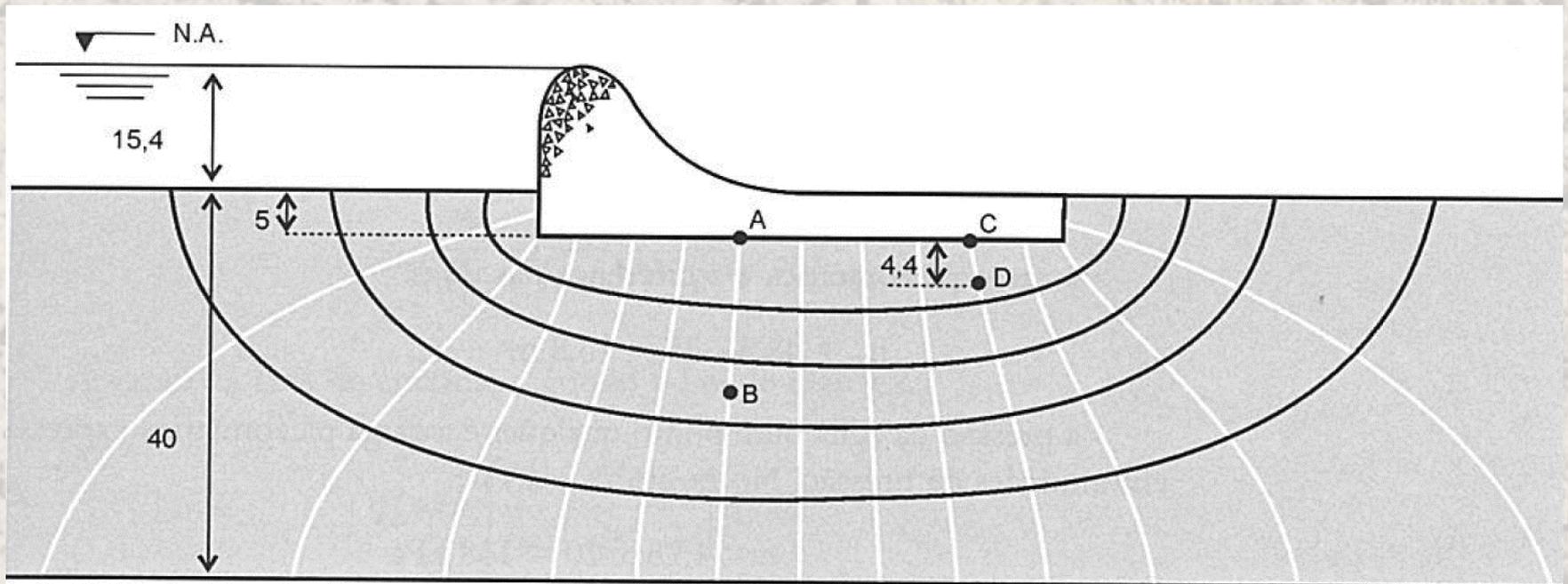
Diagramas de subpressões em vertedouros

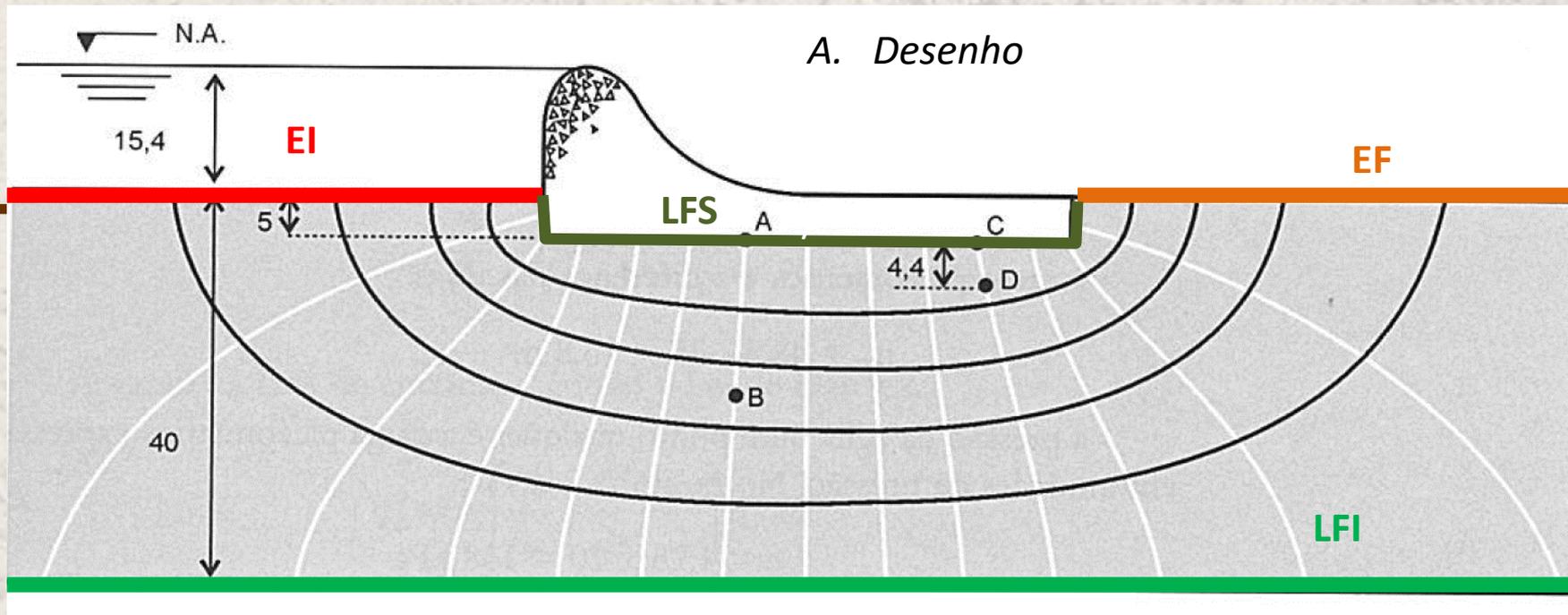


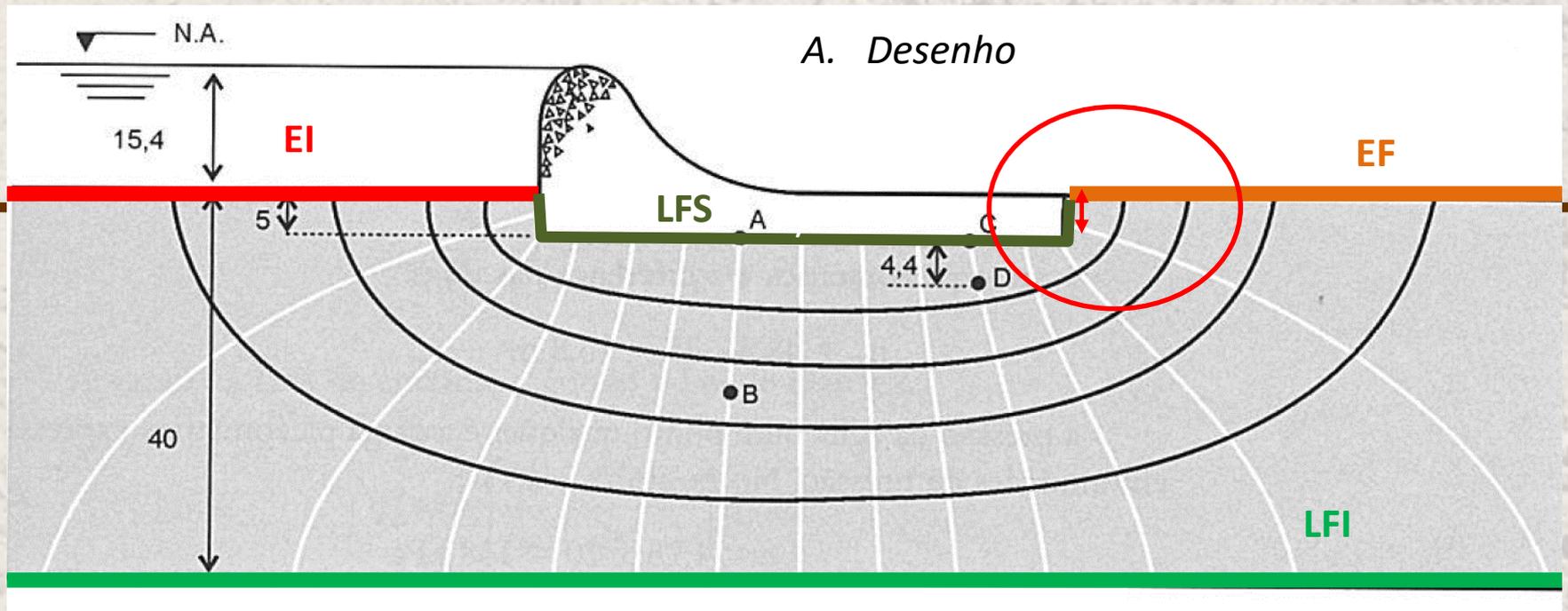
Redes de Fluxo - EXEMPLO 3

Sabendo que $k = 10^{-4}$ m/s, $\gamma = 19$ kN/m³ e as medidas estão em m, calcule:

- Defina os elementos de contorno do problema
- Vazão sob a fundação da barragem de concreto
- Gradiente de saída no pé de jusante da barragem
- FS contra o fenômeno de areia movediça
- Pressão neutra no ponto A
- Os pontos (B, C e D) possuem, cada qual, uma das propriedades a seguir: mesma que A - I. Carga total; II. Carga altimétricas; III. Carga piezométricas. Qual é qual e por que?







B. Pressão Neutra A

$$N_D = 14 \text{ e } N_F = 5$$

$$Q = 10^{-4} \times 15,4 \times 5/14 = 5,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

(ou $\sim 2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$)

C. Gradiente de saída

$$\Delta h = h/N_D = 15,4/14 = 1,1 \text{ m}$$

$L = 3 \text{ m}$ (escala no desenho)

$$i = \Delta h/L = 1,1/3 = 0,37 \text{ m}/\text{m}$$

D. FS areia movediça

FS = Resistência/Solicitação

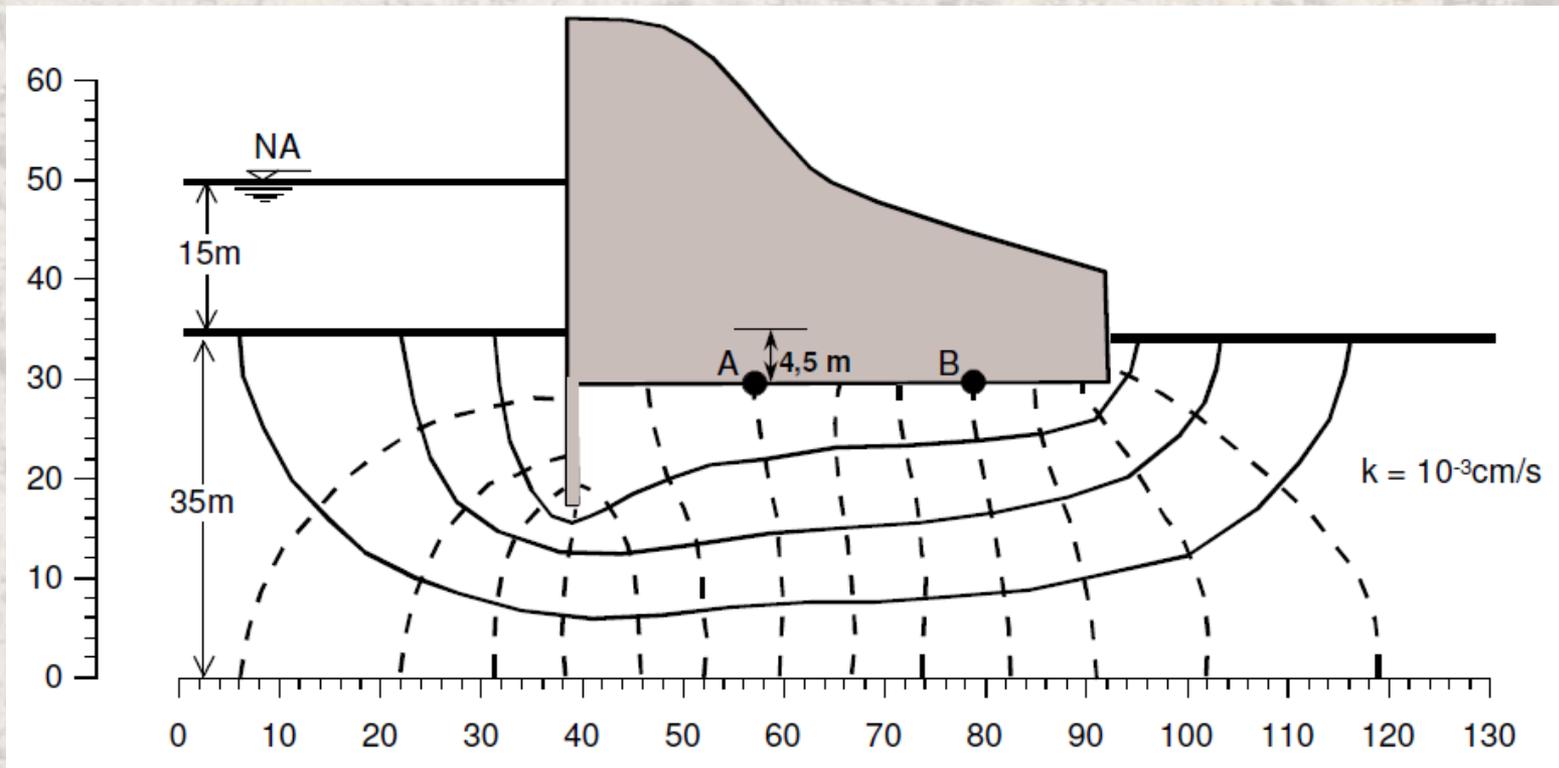
$$\text{Resistência} = i_{\text{crit}} = \gamma_{\text{sub}}/\gamma_w = 9/10 = 0,9 \text{ m}/\text{m}$$

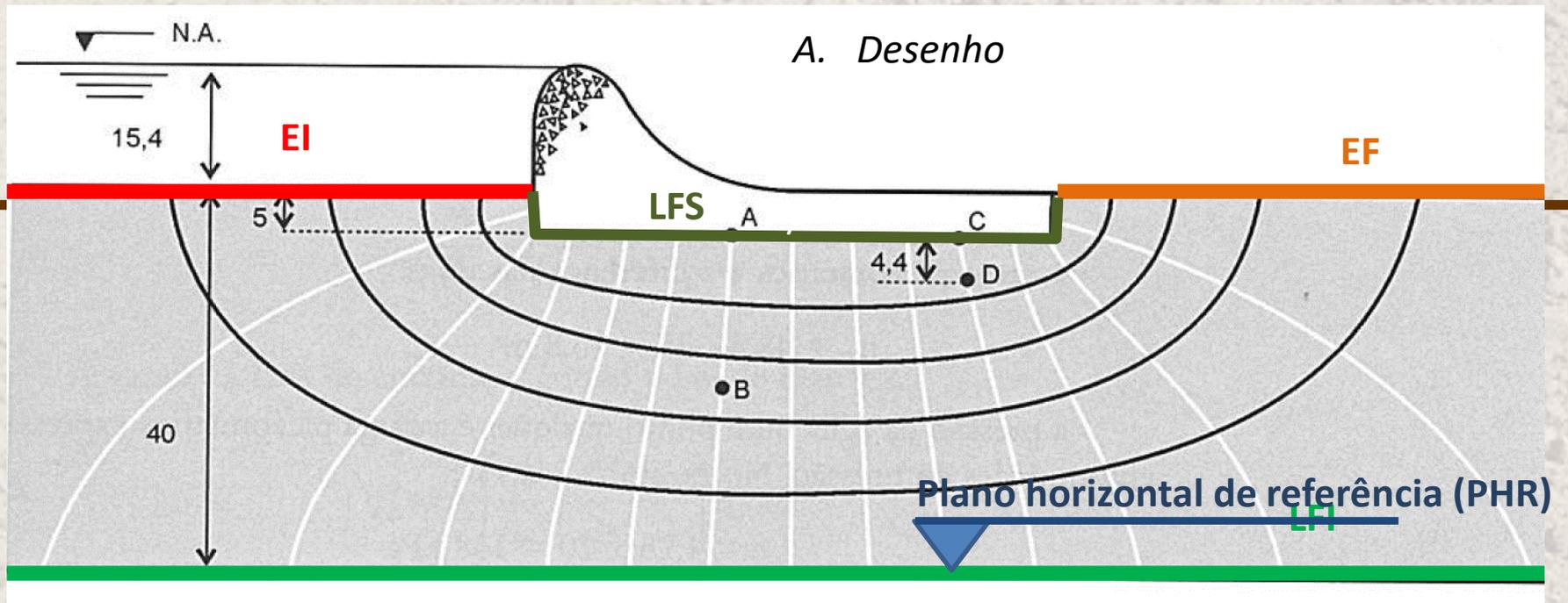
$$\text{Solicitação} = i = 0,37 \text{ m}/\text{m}$$

$$\text{FS} = 0,9/0,37 = 2,2$$

Redes de Fluxo - EXEMPLO 4

- Indicar as condições de contorno
- Calcular a vazão sob a fundação da barragem de concreto expressando na unidade correta
- Calcular o FS contra o fenômeno de areia movediça a jusante
- Determinar a pressão neutra nos pontos A e B
- Indicar um ponto C com mesma carga total que o ponto B, um ponto D com a mesma carga altimétrica de A e um ponto E com a mesma carga piezométrica que B.





E. Pressão Neutra A

- Referência na base do problema (topo rochoso)

$$H_A = H_i - \Delta H_{i-A} = 55,4 - 6,6 = 48,8 \text{ m}$$

$$- H_i = z_i + u_i/\gamma_w = 40 + 15,4 = 55,4 \text{ m}$$

$$- \Delta h_{i-A} = \Delta h \times N_{i-A} = 1,1 \times 6 = 6,6 \text{ m}$$

$$H_A = z_A + u_A/\gamma_w$$

$$48,8 = (40 - 5) + u_A/\gamma_w$$

$$u_A/\gamma_w = 13,8 \text{ m} \quad u_A = 13,8 \times 10 = 138 \text{ kPa}$$

F. Pontos B, C e D

- B está na mesma equipotência, portanto: $H_A = H_B$

- C está na mesma cota, portanto: $z_A = z_C$

- D está em cota inferior (4,4 m) e localizado 4 equipotenciais a frente, portanto:

$$H_D = H_A - \Delta H_{A-D} = 48,8 - 4 \times 1,1 = 44,4 \text{ m}$$

$$z_D = 30,6 \text{ m}$$

$$u_D/\gamma_w = 44,4 - 30,6 = 13,8 \text{ m}$$