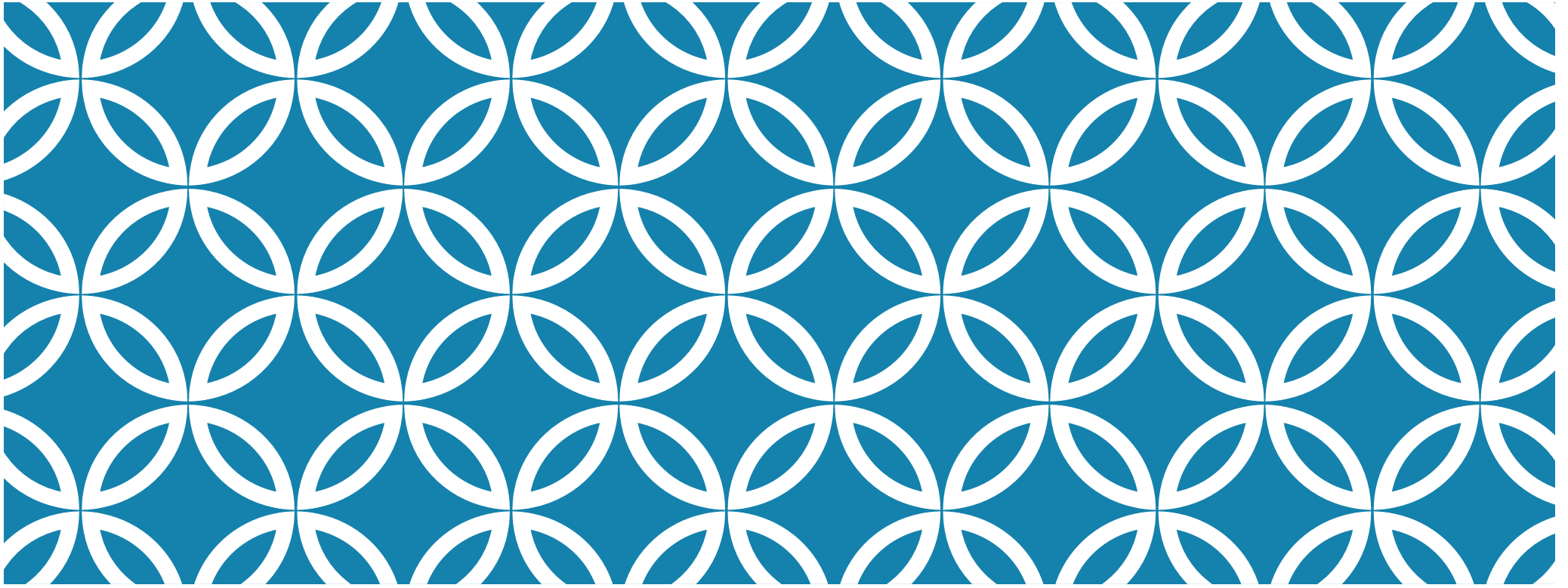




MECÂNICA DOS SOLOS — AULA 07

REFERENTE A AULA 05 DO LIVRO

PROF: BRUNA COELHO

TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

- Os solos são constituídos de partícula e que forças aplicadas a eles são transmitidas de partícula a partícula, e que algumas dessas forças são suportadas pela água e pelos vazios;

TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

➤ ESSA TRANSMISSÃO DEPENDE DO TIPO DE MINERAL:

✓ **Partículas maiores:**

A transmissão das forças são através de contato direto de mineral a mineral;

✓ **Partículas de argila: (número grande)**

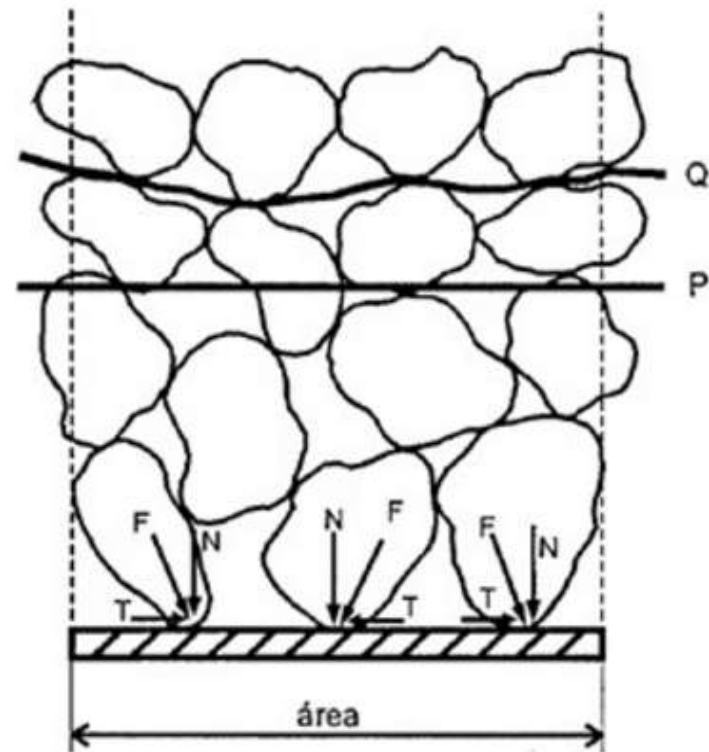
A força em cada contato são pequenas e a transmissão pode ocorrer através de água quimicamente absorvida;

TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

Tensão total em um meio contínuo :

Forças transmitidas à placa; que podem ser normais e tangenciais. Por uma simplicidade sua ação é substituída pelo conceito de tensões.

$$\sigma = \frac{\sum N}{\text{área}} \quad \tau = \frac{\sum T}{\text{área}}$$



TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

Tensões Geostáticas

➤ Tensões na massa de solo

→ Tensões devido ao peso próprio;

→ Tensões devido a propagação de cargas externas aplicadas ao terreno.

Tensões devido ao peso próprio do solo

Quando a superfície do terreno é horizontal, aceita-se, que a tensão atuante num plano horizontal a uma certa profundidade seja normal ao plano. Não há tensão cisalhante nesse plano.

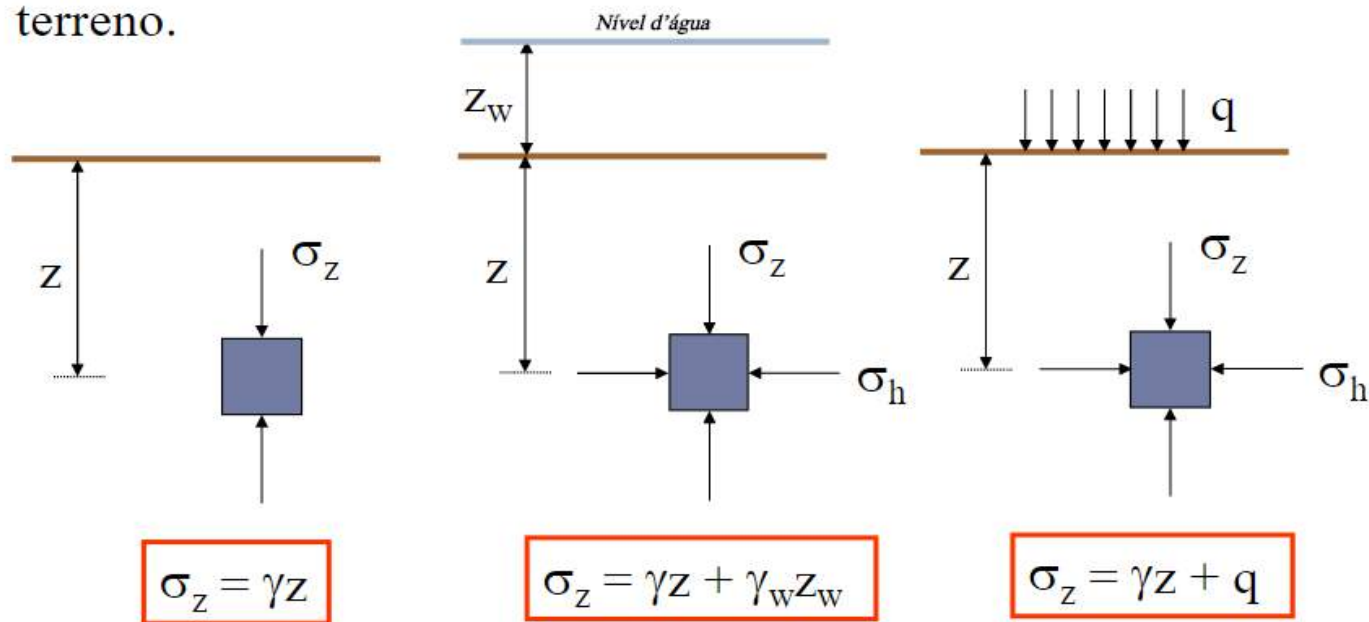
$$\sigma_v = \frac{\gamma_n \cdot Vol}{Área} = \gamma_n \cdot h$$

TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

➤ Tensões na massa de solo

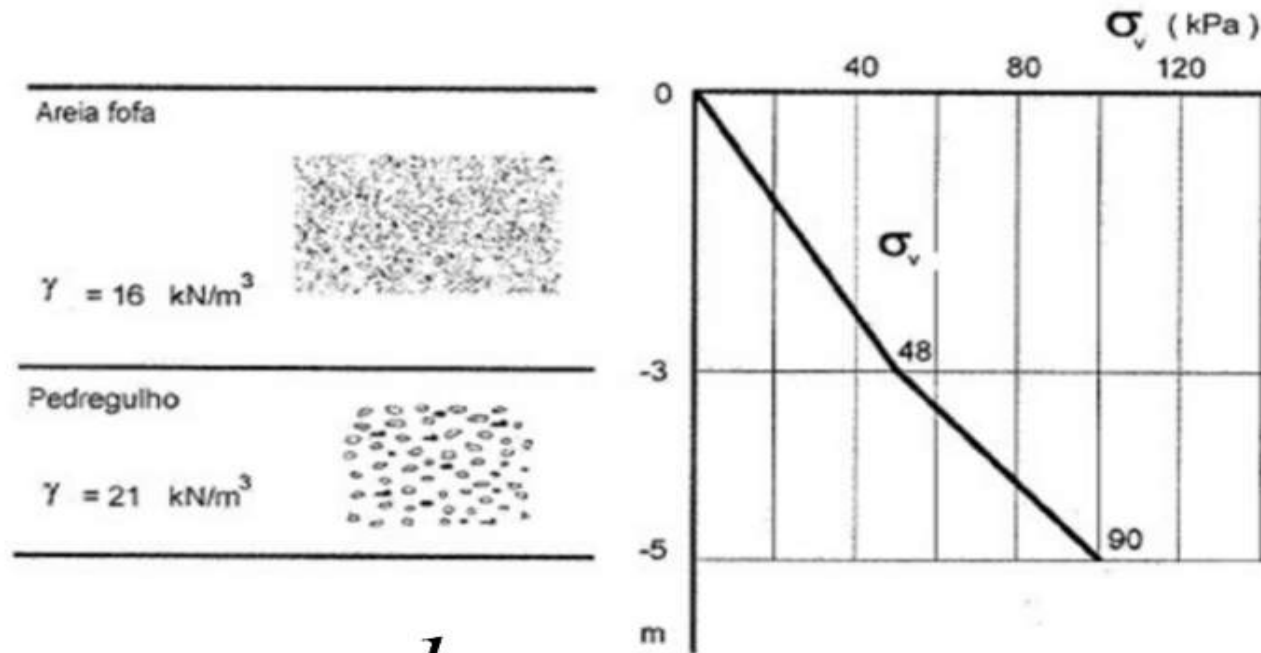
→ Tensões devido ao peso próprio;

→ Tensões devido a propagação de cargas externas aplicadas ao terreno.



TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

➤ Exemplo de Cálculo



$$\sigma = \gamma \cdot h$$

TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

➤ Exercício 1 – Calcule a tensão total a 15m de profundidade.

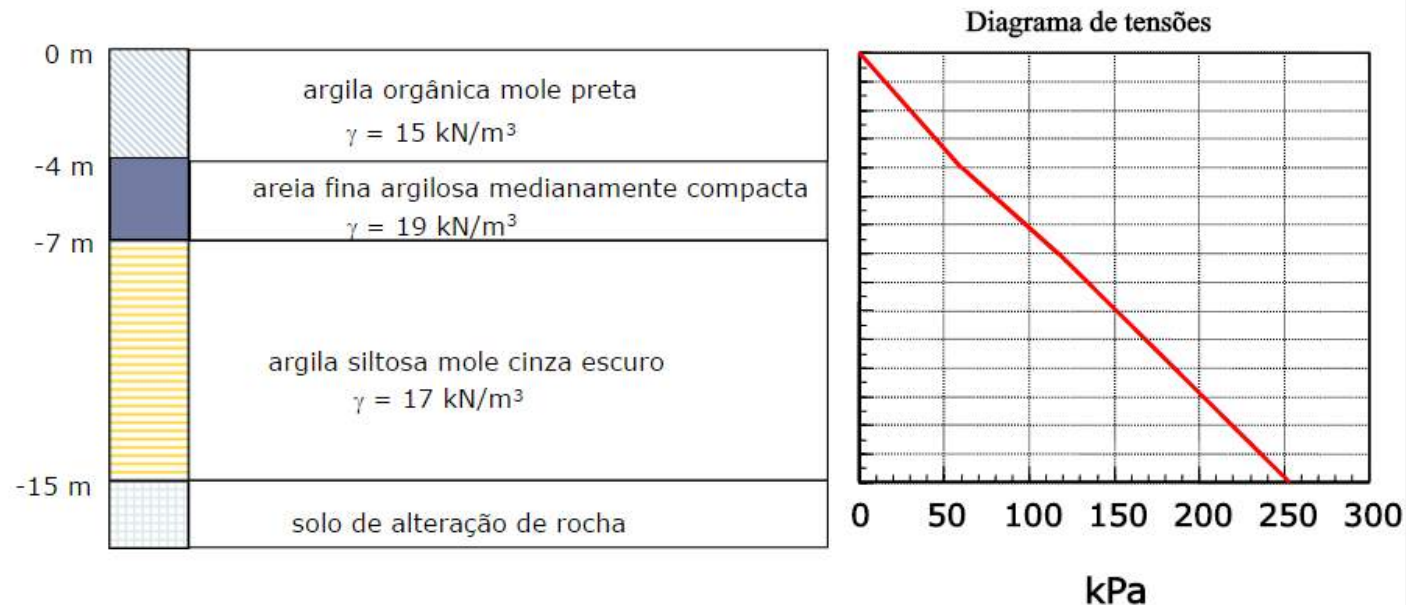


$$\sigma = \gamma \cdot h$$

TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

Tensões Geostáticas

➤ Exercício 1



TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

Tensões Geostáticas

Pressão neutra (ou poropressão) – u ou u_w

Pressão na água dos vazios do solos → corresponde a carga piezométrica da Lei de Bernoulli.

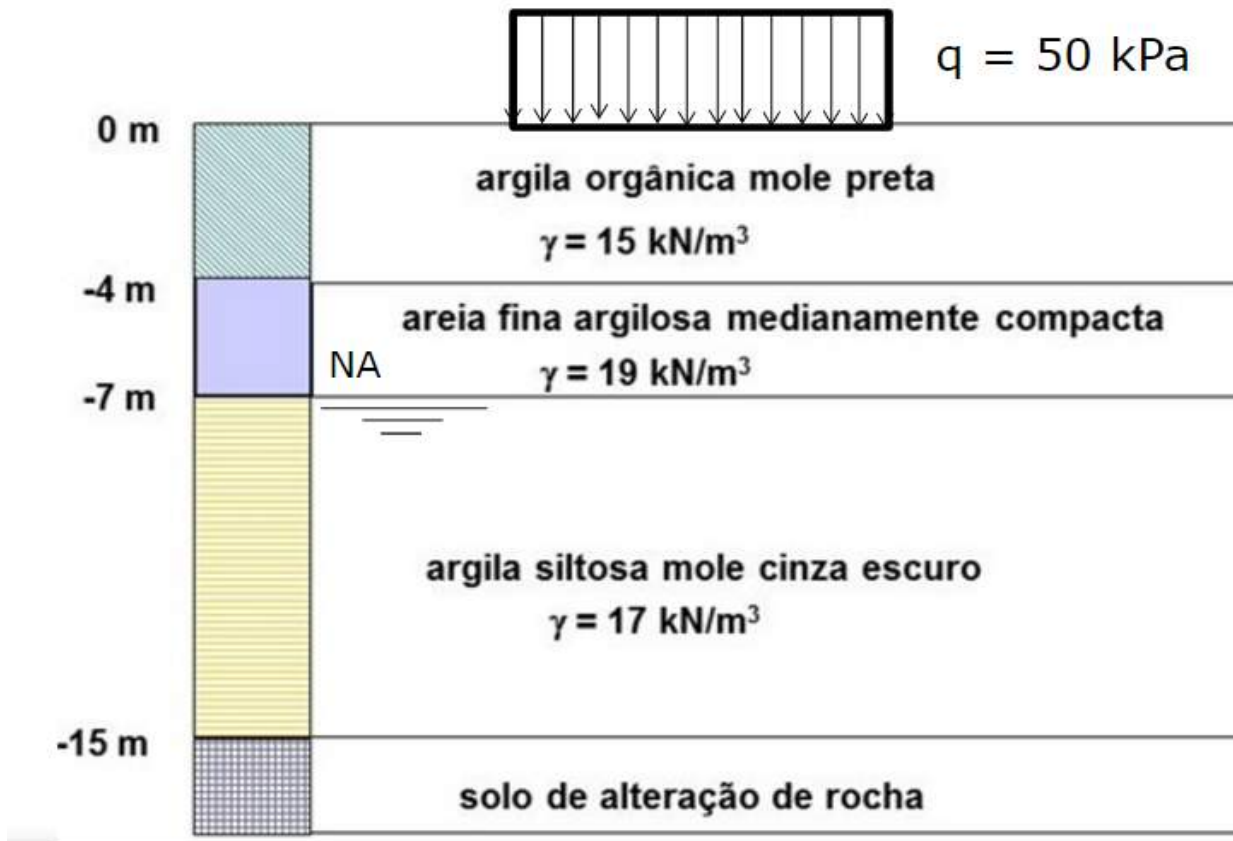
z_w = altura da coluna d'água.

$$u = \gamma_w \cdot z_w$$

Ao notar a diferença de natureza das forças atuantes, Terzaghi identificou que a tensão total num plano qualquer deve ser considerada como a soma de duas parcelas:

- (1) A tensão transmitida pelos contatos entre as partículas, por ele chamada de *tensão efetiva* (σ')
- (2) Pela pressão da água, a qual recebeu a denominação de *pressão neutra ou poropressão*.

TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE



TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

Calculo das tensões

Camada 01

$$q := 50 \text{ kPa}$$

$$\gamma := 15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$h_1 := 4 \text{ m}$$

$$\sigma_1 := q + \gamma \cdot h_1$$

$$\sigma_1 = 110 \text{ kPa}$$

Camada 02

$$\sigma_1 = 110 \text{ kPa}$$

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

$$h_2 := 3 \text{ m}$$

$$\sigma_2 := \sigma_1 + \gamma \cdot h_2$$

$$\sigma_2 = 167 \text{ kPa}$$

Camada 03

$$\sigma_2 = 167 \text{ kPa}$$

$$\gamma := 17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$h_3 := 8 \text{ m}$$

$$\sigma_3 := \sigma_2 + \gamma \cdot h_3$$

$$\sigma_3 = 303 \text{ kPa}$$

Calculo das poropressões

Camada 01

$$u_1 := 0$$

pois a camada é de solo seco. Acima do NA.

Camada 02

$$u_2 := 0$$

pois a camada é de solo seco. Acima do NA.

Camada 03

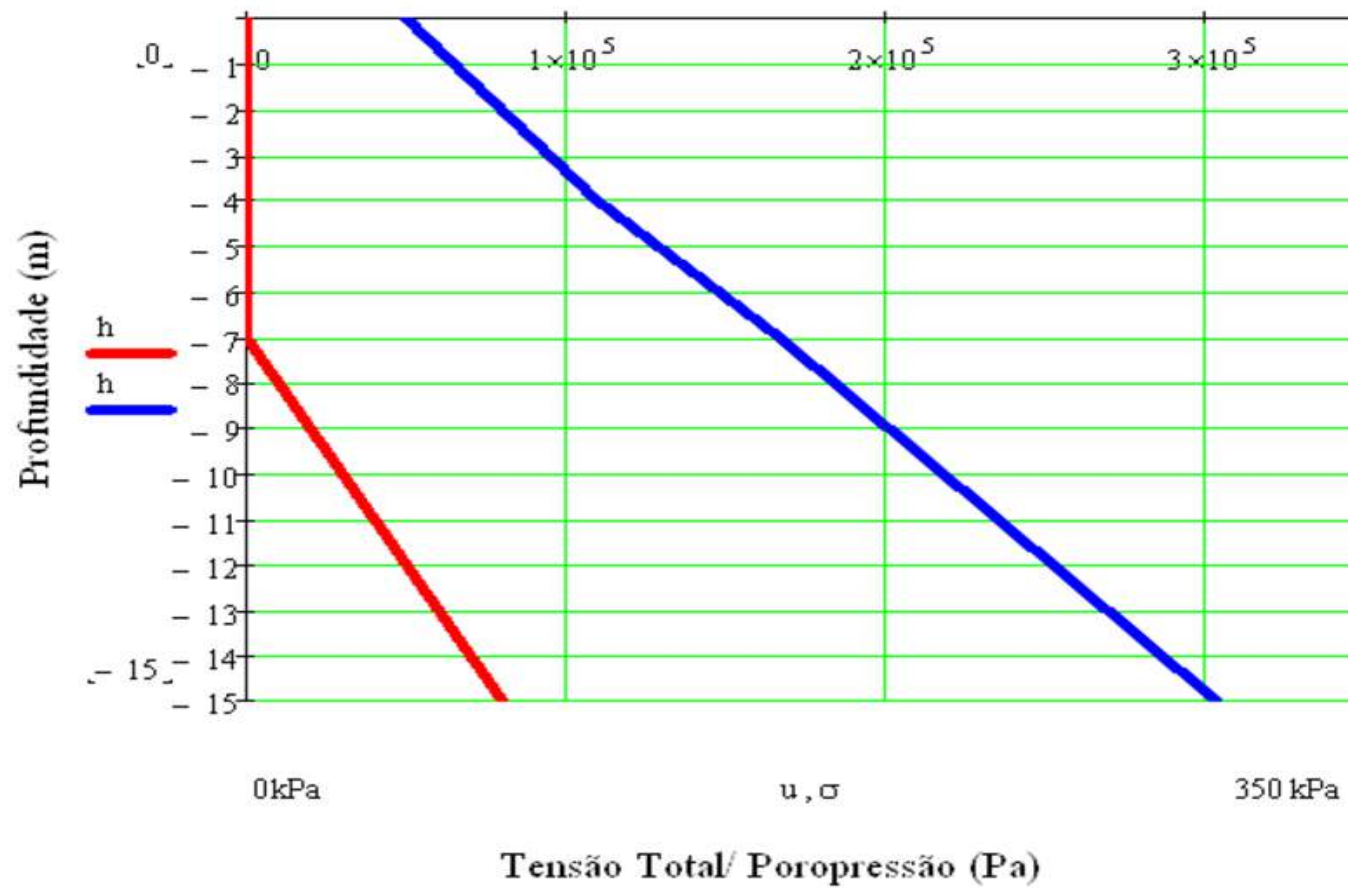
$$\gamma_w := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$h_3 := 8 \text{ m}$$

$$u_3 := u_2 + \gamma_w \cdot h_3$$

$$u_3 = 80 \text{ kPa}$$

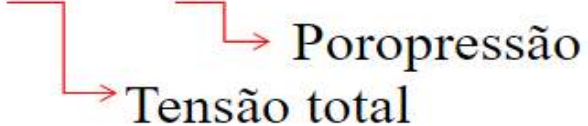
TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE



TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

Terzaghi estabeleceu o *Princípio da Tensões Efetivas*:

- A tensão efetiva, para os solos saturados, pode ser expressa por:

$$\sigma' = \sigma - u$$


Poropressão

Tensão total

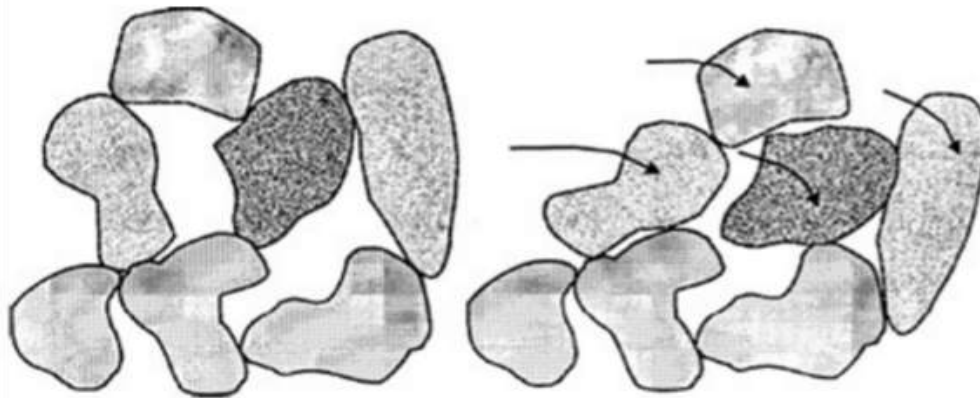
- Todos os efeitos mensuráveis resultantes de variações de tensões nos solos, como compressão, distorção e resistência ao cisalhamento são devidos a variações de tensões efetivas.

TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

Terzaghi estabeleceu o *Princípio da Tensões Efetivas*:

“Se a tensão total num plano aumentar, sem que a pressão da água aumente, as forças transmitidas pelas partículas nos seus contatos se alteram, as posições relativas dos grãos mudam”

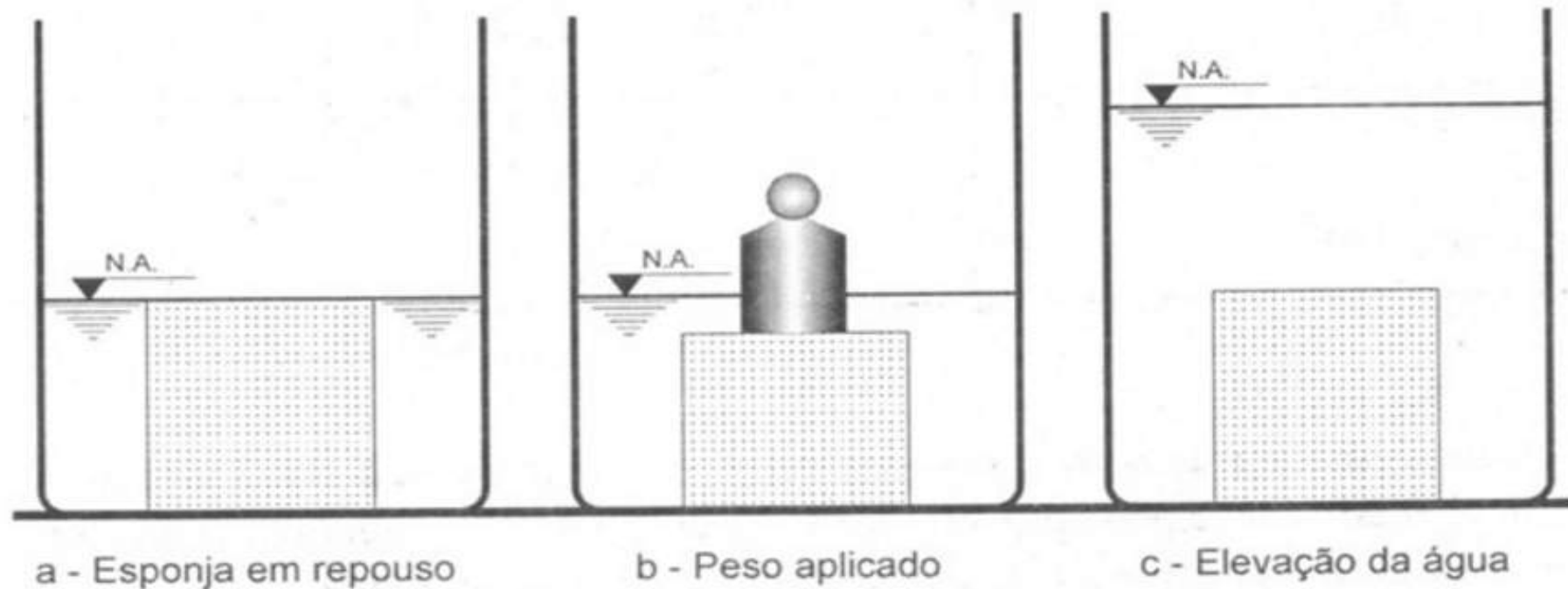
O aumento de tensão foi efetivo!



Nos solos as deformações correspondem a variações de forma ou de volume do conjunto, resultantes do deslocamento relativo de partículas.

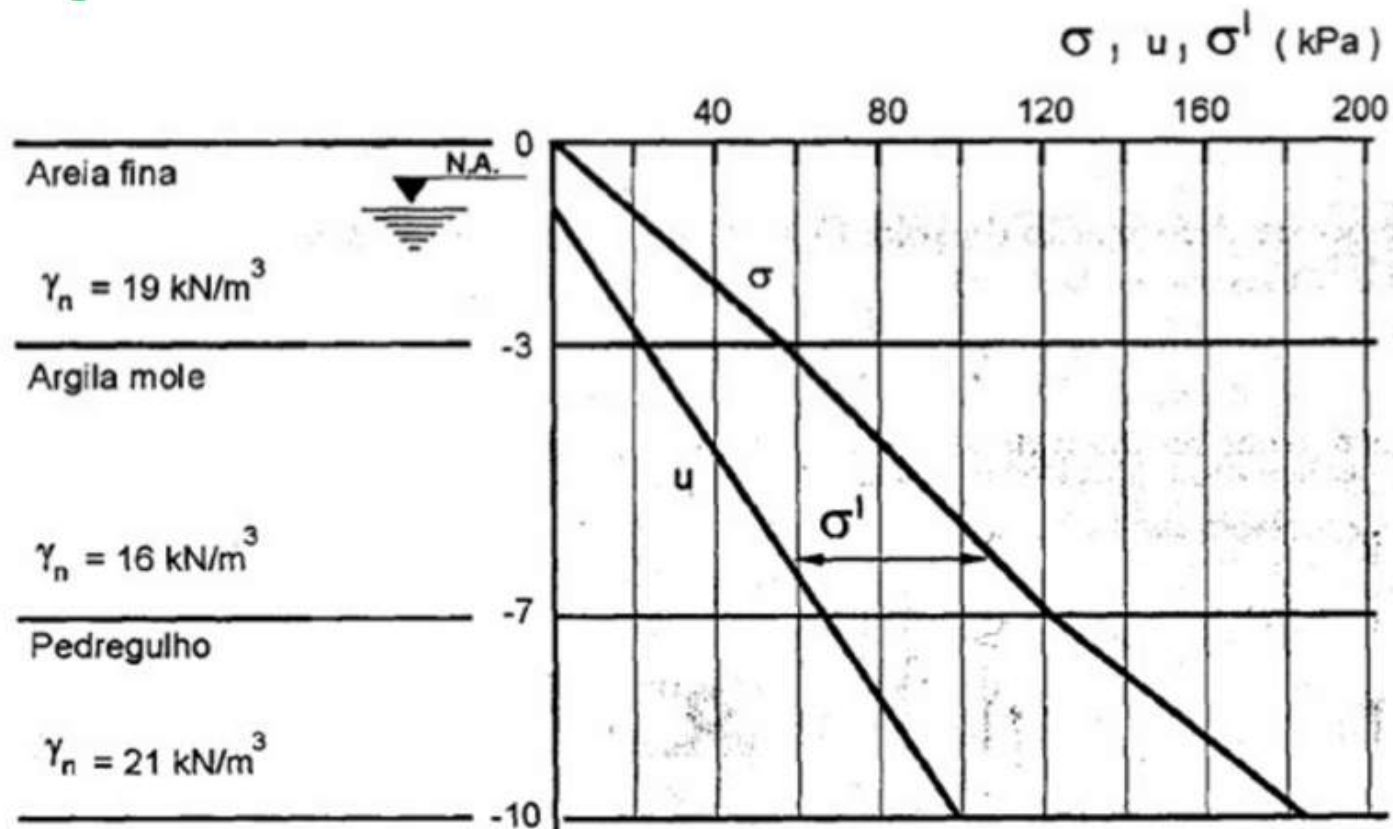
TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

Terzaghi estabeleceu o *Princípio da Tensões Efetivas – Explicação física!*



TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

Exemplo de Cálculo:



TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

Cálculo das tensões efetivas com o peso específico aparente submerso.

- No exemplo anterior o acréscimo de tensão efetiva da cota -3 m até à -7 m é o resultado do acréscimo da tensão total, menos o acréscimo da poropressão.

$$\Delta\sigma = \Delta z \cdot \gamma_n = 16 \times 4 = 64 \text{ kPa}$$

$$\Delta u = \Delta z \cdot \gamma_w = 10 \times 4 = 40 \text{ kPa}$$

$$\Delta\sigma' = \Delta\sigma - \Delta u = 64 - 40 = 24 \text{ kPa}$$

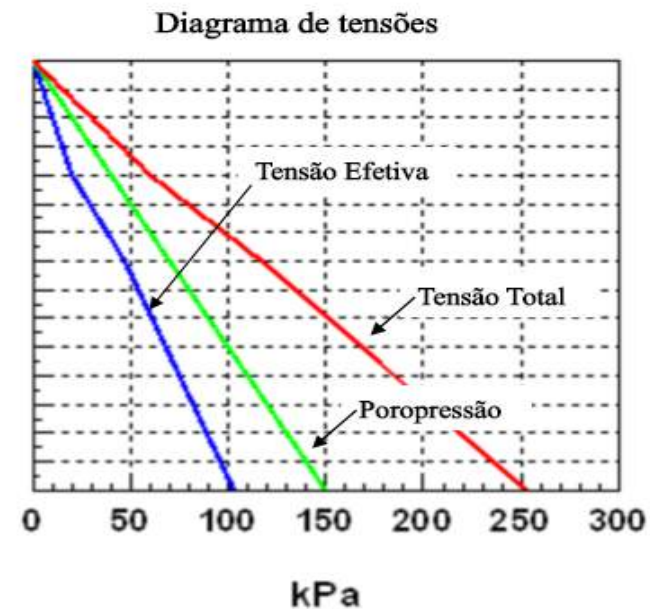
Esse acréscimo pode ser calculado por meio do peso específico submerso que leva em conta o empuxo da água:

$$\Delta\sigma' = \Delta z \cdot \gamma_{sub} = 4 \times (16 - 10) = 24 \text{ kPa}$$

$$\gamma_{sub} = \gamma_{nat} - \gamma_w$$

TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

➤ **Exercício 3** : Considere o perfil abaixo. Trace o gráfico da variação de σ , u e σ' , a 0m ; 4m ; 7m e 15m.

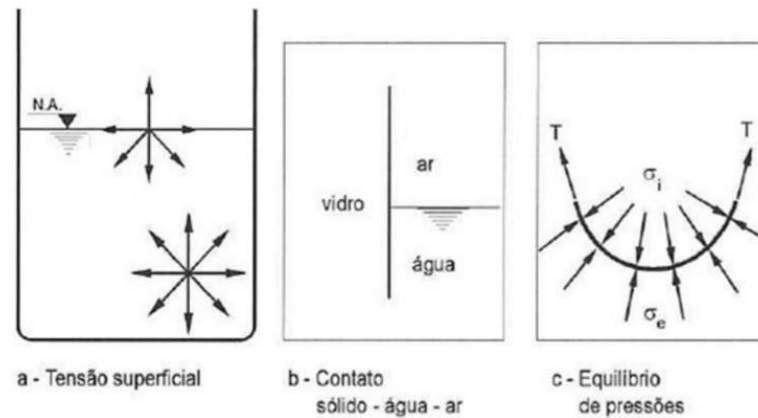


CAPILARIDADE

Molécula de água envolta por água (interior);

Tensão Superficial → tensão de membrana (superfície)

Contato com sólido → forças químicas de adesão → diferença de pressão nos lados da membrana → curvatura

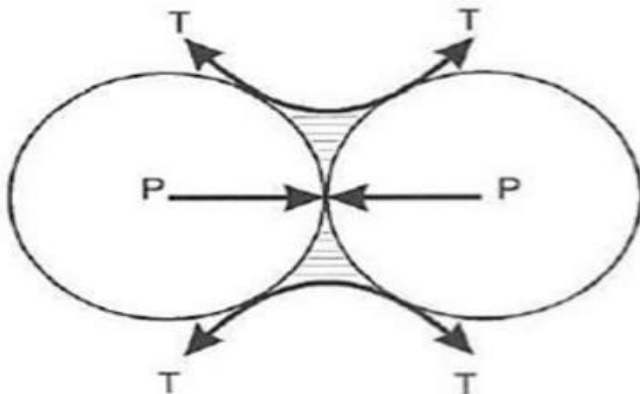


CAPILARIDADE

Tensão superficial da água $\rightarrow$ aproxima as partículas $\rightarrow$ aumento da tensão efetiva (força entre grãos)

COESÃO APARENTE $\rightarrow$ Castelo de Areia (Saturação $\neq 0$ ou 100 %)

Argilas $\rightarrow$ Estabilidade de Taludes



CAPILARIDADE

A altura de ascensão capilar (h_c) é inversamente proporcional ao raio do tubo (r)

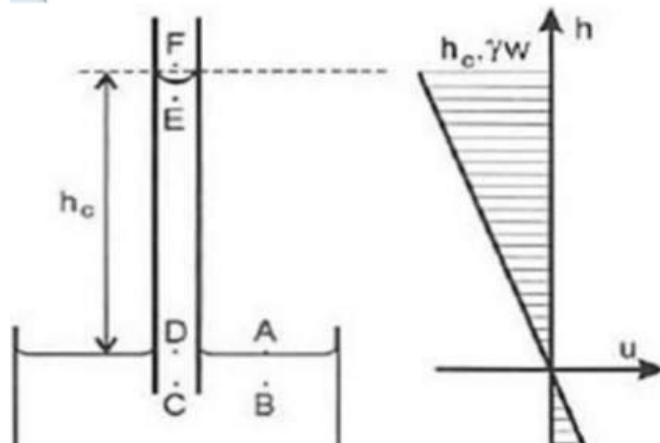
Tensão Superficial da água (T) a $20^\circ\text{C} = 0,073 \text{ N/m}^2$

Diâmetro (1 mm) $\rightarrow h_c$ (3 cm)

Diâmetro (0,1 mm) $\rightarrow h_c$ (30 cm)

Diâmetro (0,01 mm) $\rightarrow h_c$ (3 m)

$$h_c = \frac{2 \cdot T}{r \cdot \gamma_w}$$



A altura da ascensão capilar pode ser determinada igualando-se o peso da água no tubo com a resultante da tensão superficial que a mantém na posição acima do nível d'água livre

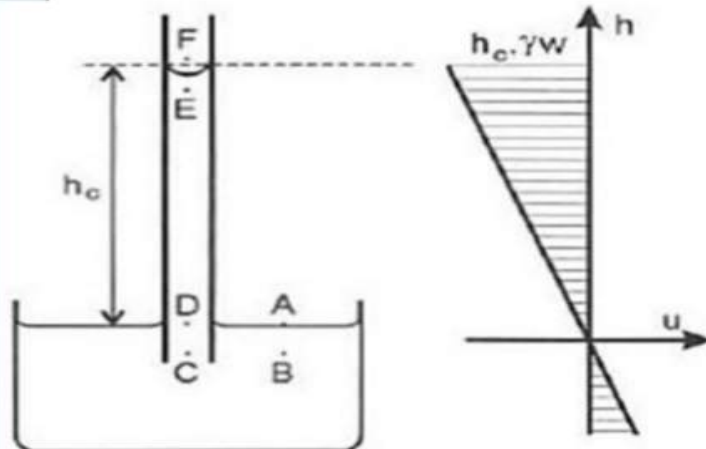
CAPILARIDADE

Medida em altura de coluna d'água, a tensão na água logo abaixo do menisco capilar é negativa e igual à altura de ascensão capilar.

$$p/u (-) \rightarrow \sigma' > \sigma$$

Aumento das tensões entre os grãos $\rightarrow$ aumento das tensões efetivas

Ex.: Separação de duas placas de vidro com água entre elas.



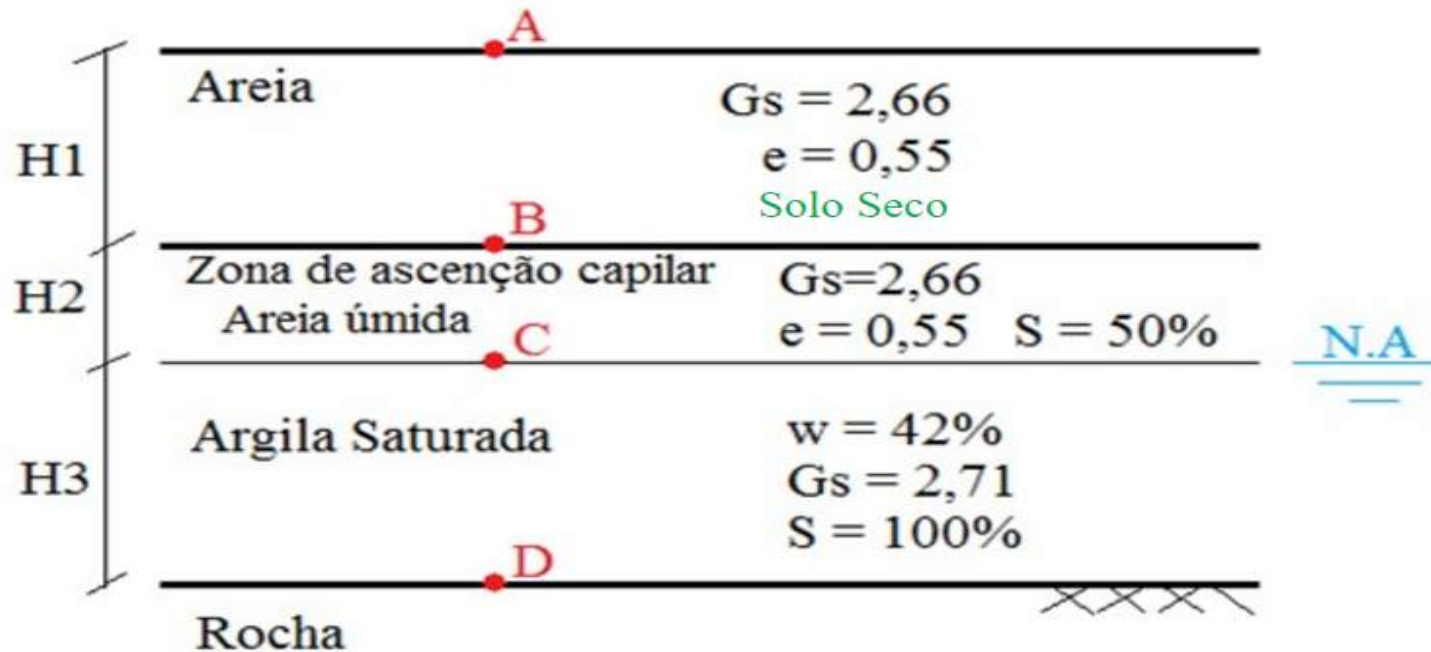
Altura de Ascensão

- ✓ Pedregulho (centímetros)
- ✓ Areia (1 a 2 m)
- ✓ Silte (3 a 4 m)
- ✓ Argila (+10 m)

TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

➤ **Exercício 4** : Considere o perfil abaixo. Onde:

$H = 2 \text{ m}$; $H_2 = 1,8 \text{ m}$; $H_3 = 3,2 \text{ m}$. Trace o gráfico da variação de σ , u e σ' .



TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

- ✓ peso específico natural: $\gamma = W/V$
- ✓ teor de umidade: $w = (W_w/W_s)$
- ✓ peso específico real dos grãos: $\gamma_s = W_s/V_s$
- ✓ peso específico aparente seco: $\gamma_d = W_s/V = \gamma/(1 + w)$
- ✓ índice de vazios: $e = V_v/V_s = (\gamma_s/\gamma_d) - 1$
- ✓ porosidade: $\eta = V_v/V = e/(1 + e)$
- ✓ grau de saturação: $S = V_w/V_v = (w \cdot \gamma_s)/(e \cdot \gamma_w)$
- ✓ peso específico saturado: $\gamma_{sat} = W_{sat}/V = (1 - \eta) \cdot \gamma_s + \eta \cdot \gamma_w$
- ✓ peso específico submerso: $\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w = (\gamma_s - \gamma_w) \cdot (1 - \eta)$

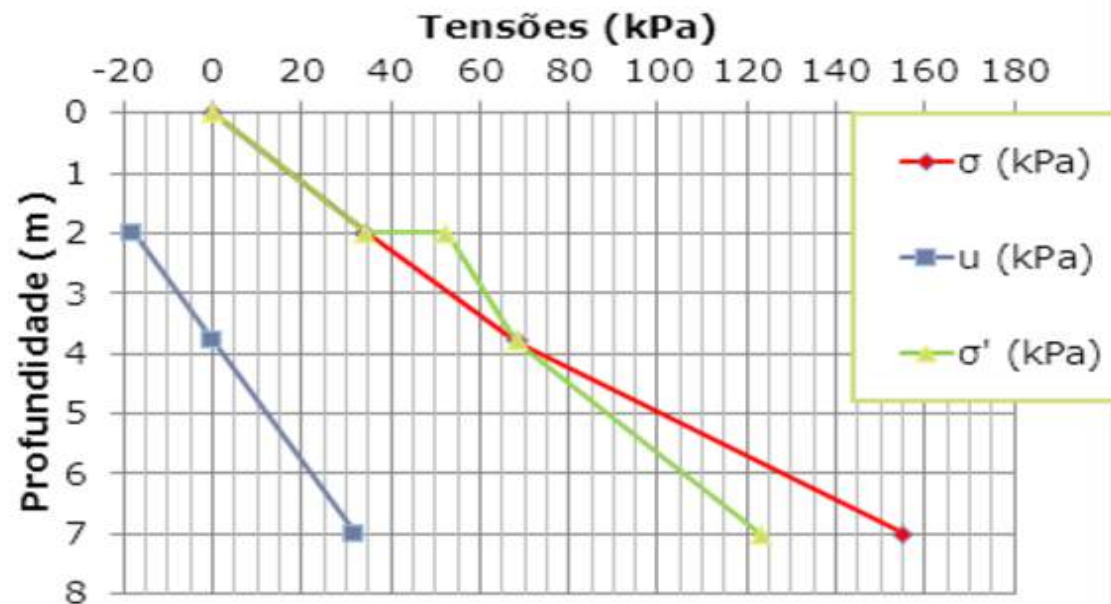
Densidade real dos grãos ou sólidos (G)

$$G = \gamma_s/\gamma_w$$

$$\gamma_d = \frac{S \cdot \gamma_s \cdot \gamma_w}{S \cdot \gamma_w + \gamma_s \cdot w}$$

TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE

- 1) Calcule o γ_d (areia)
- 2) Calcule o γ (areia úmida)
- 3) Calcule o e (argila saturada)
- 4) Calcule o γ (sat da argila)
- 5) Calcule as tensões totais e as poropressões em cada ponto
- 6) Calcule as tensões efetivas;
- 7) Desenhe os



TENSÕES NO SOLO - CAPILARIDADE