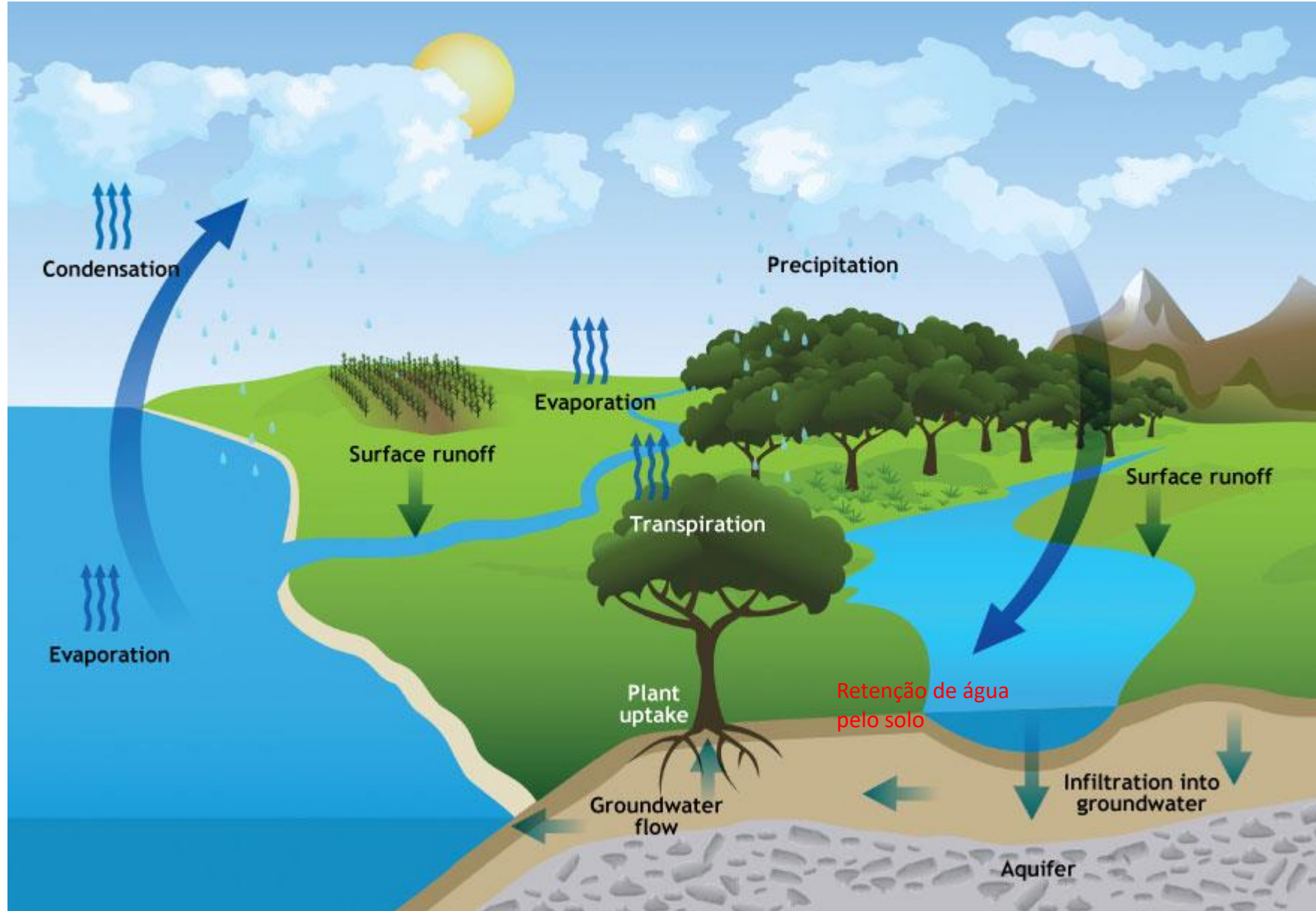


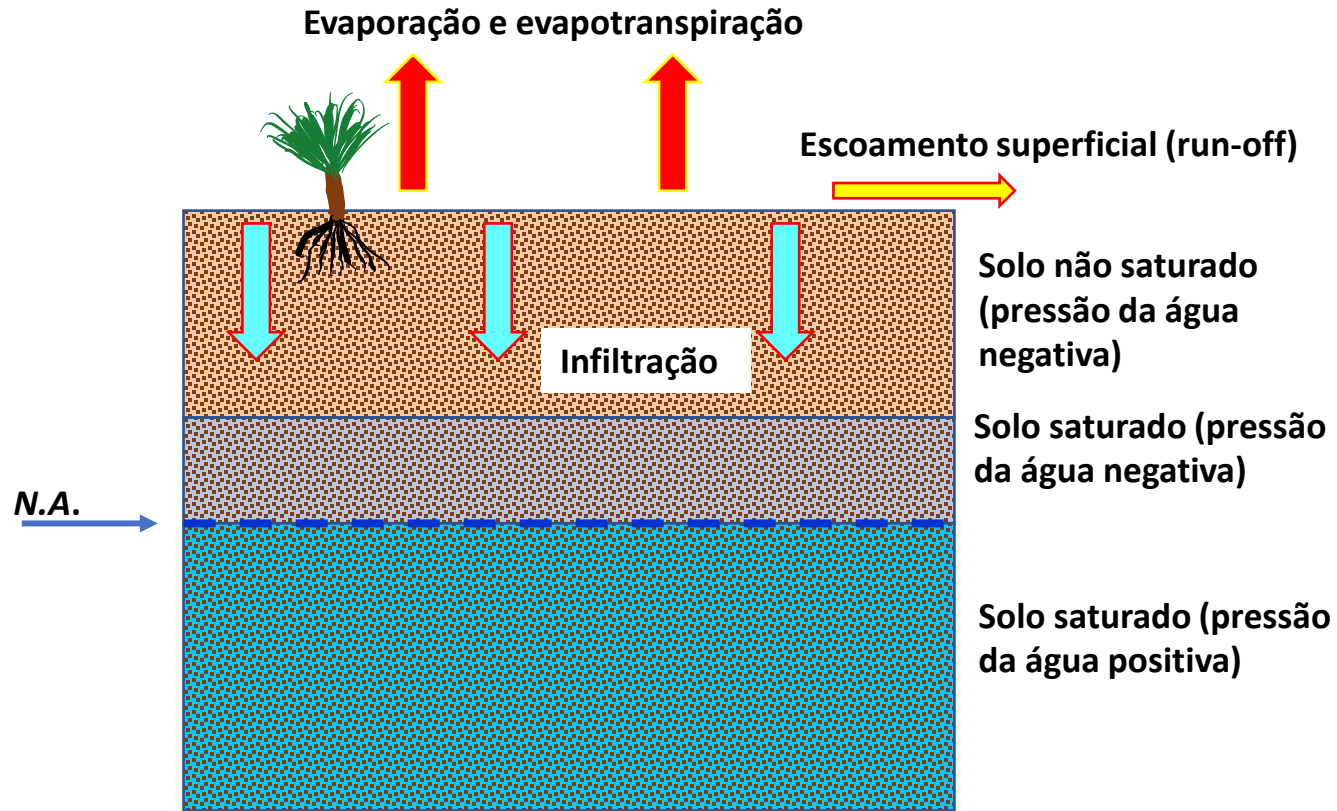
# Água nos Solos

## Princípio das Tensões Efetivas

# O ciclo da água

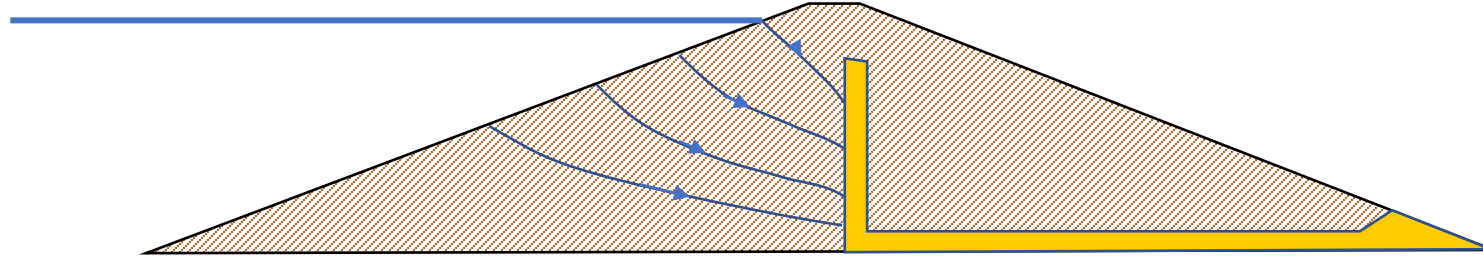


# A água no solo

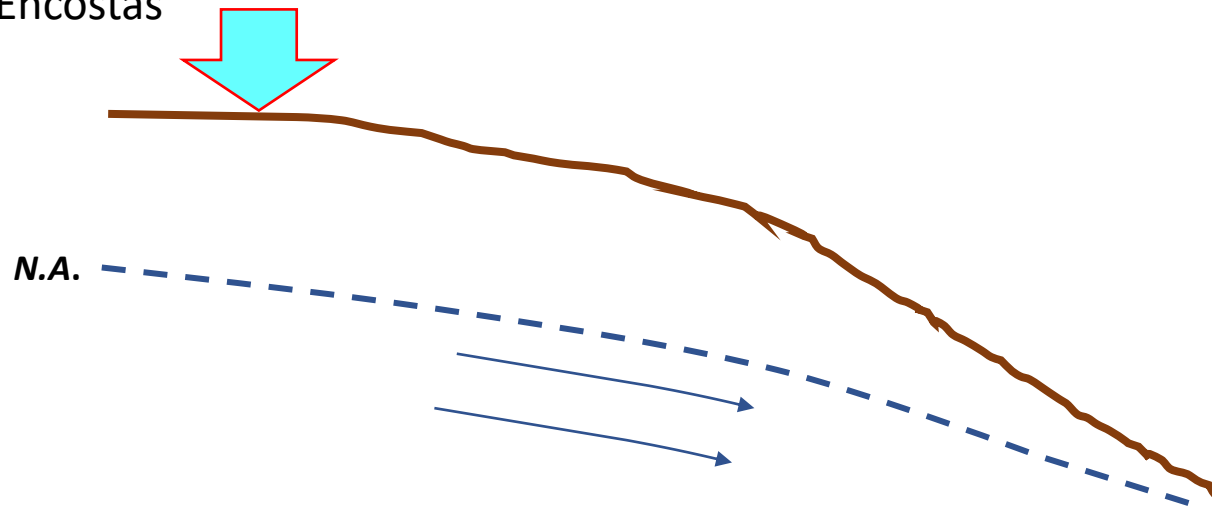


# A água no solo

Barragens

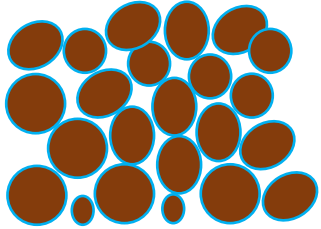


Encostas

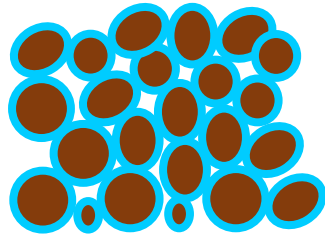


# A água no solo

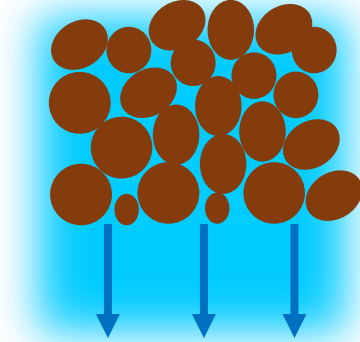
Água higroscópica



Água capilar



Água gravitacional

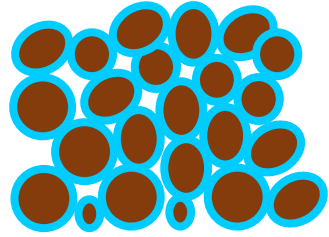


Ponto de  
murchamento

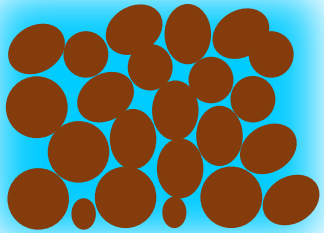
Capacidade  
de campo



# A água no solo



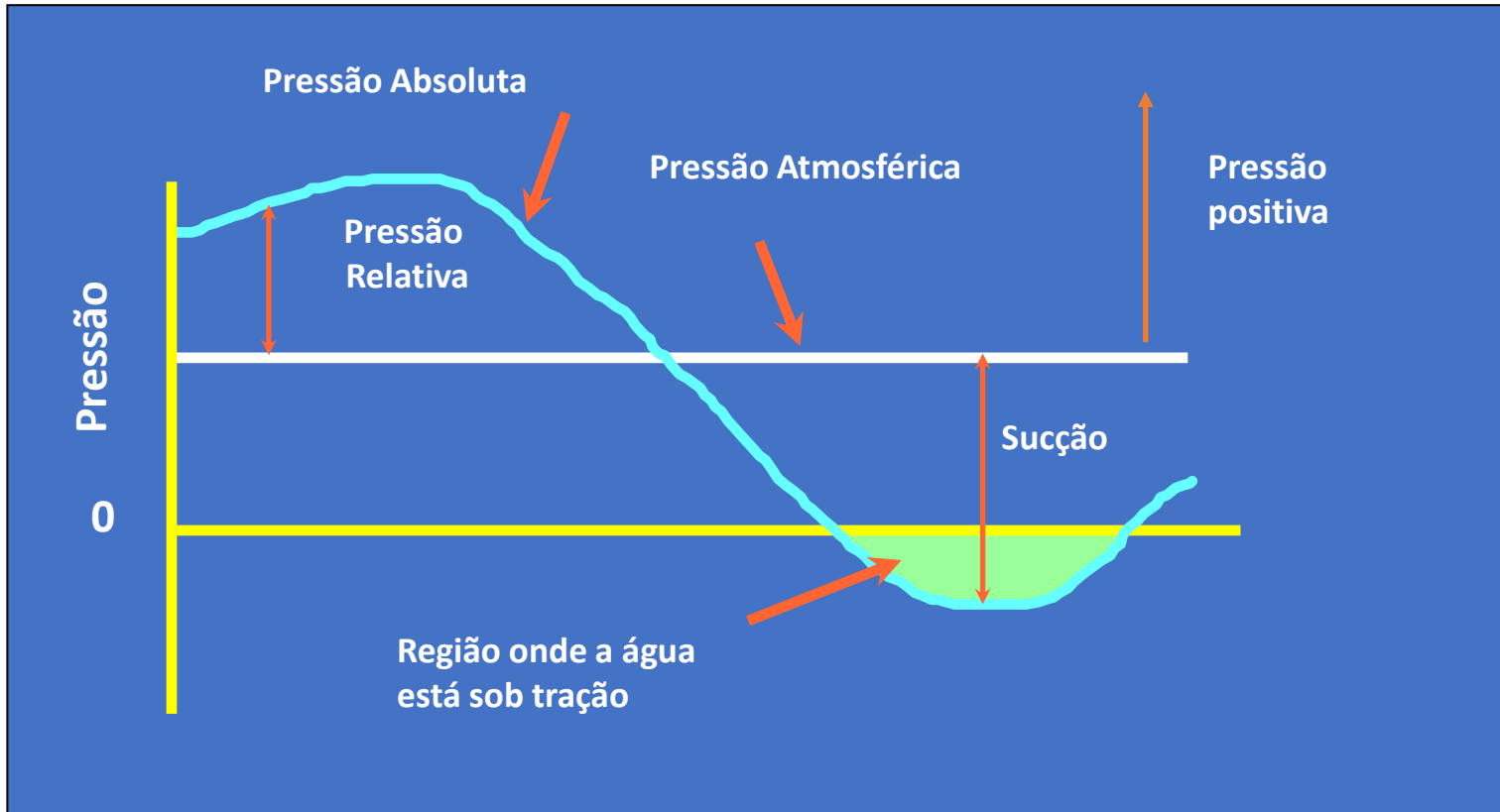
$S < 100\%$



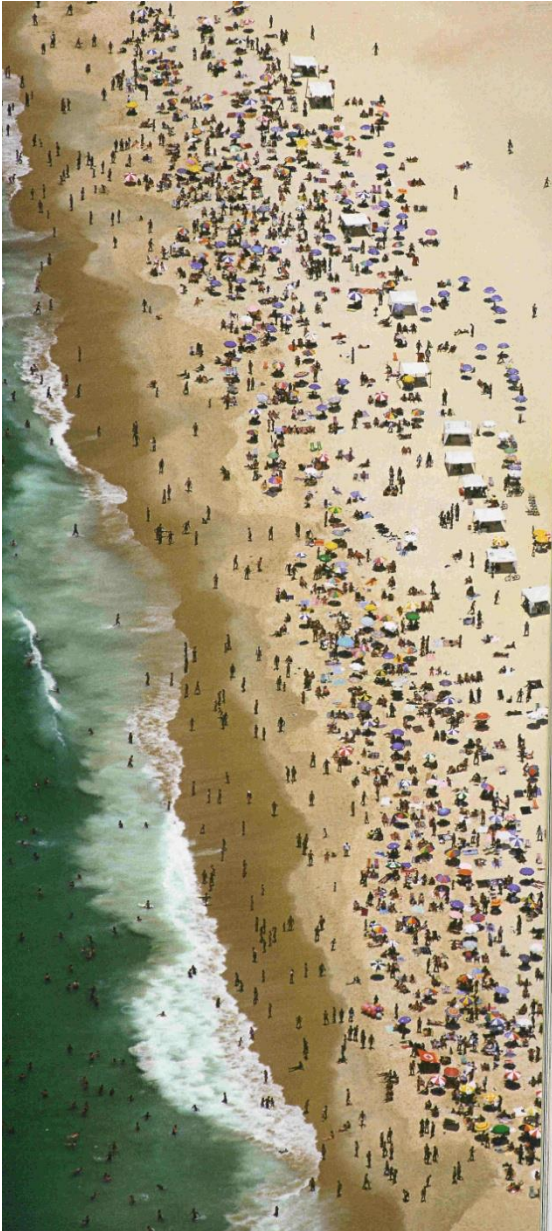
$S = 100\%$

$$S_e = wG$$

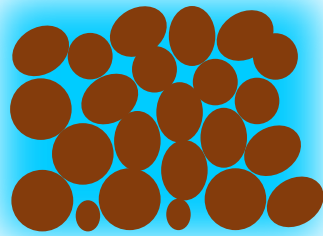
# Pressão na água



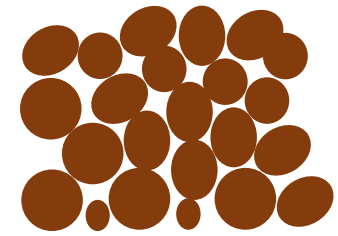
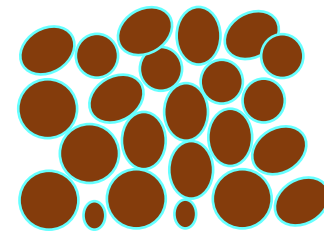
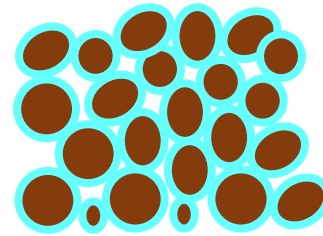
# Capilaridade, Retenção de Água e Resistência



Saturado



Seco



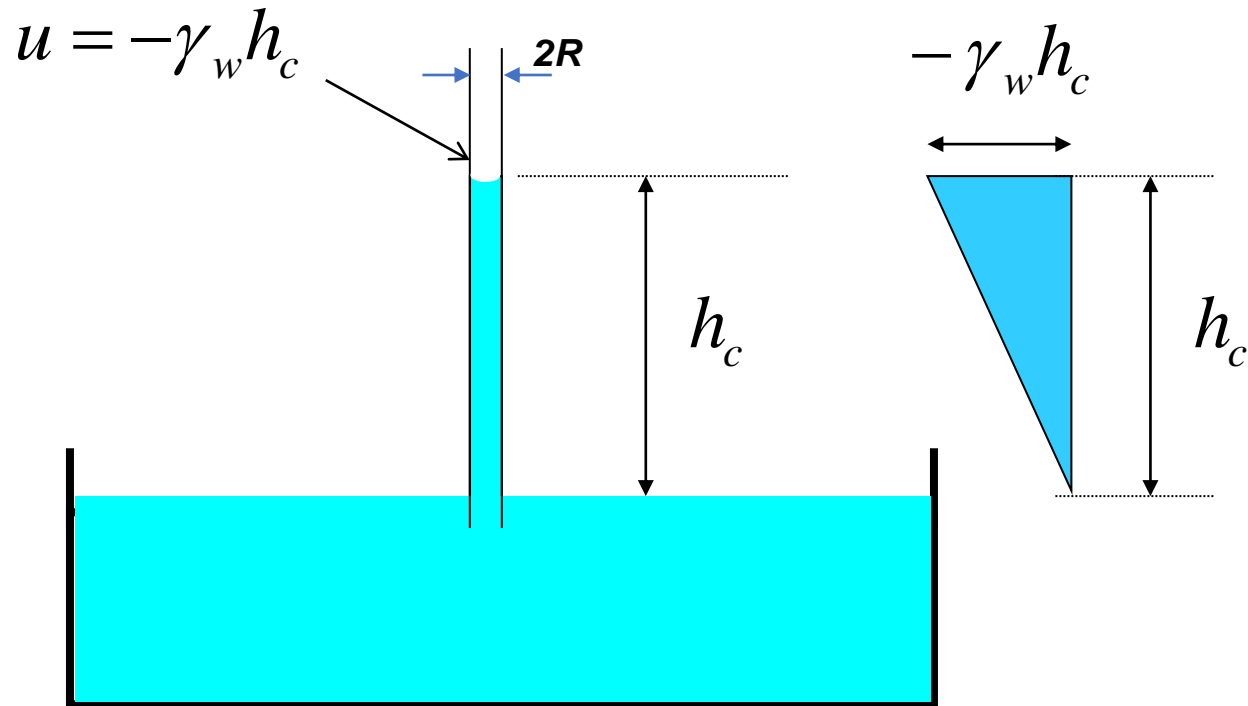


# Capilaridade

- A adesão e a tensão superficial juntas causam o fenômeno da capilaridade
- Capilaridade é um movimento que ocorre em qualquer direção
- A altura de ascensão capilar é diretamente proporcional a tensão superficial do líquido e a adesão com a superfície sólida, mas inversamente proporcional ao raio do tubo e densidade do líquido

# Pressão negativa da água (Sucção)

## Ascensão Capilar

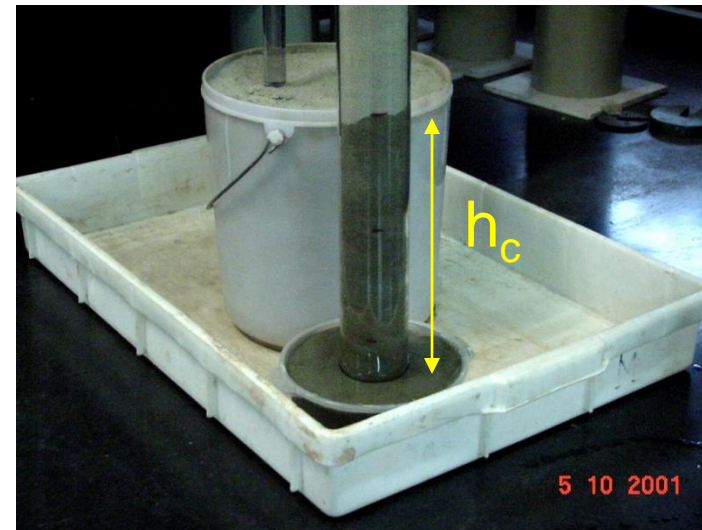
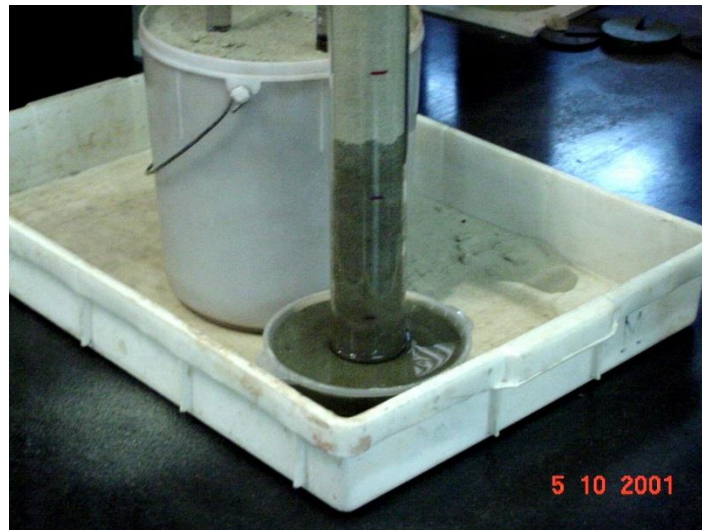
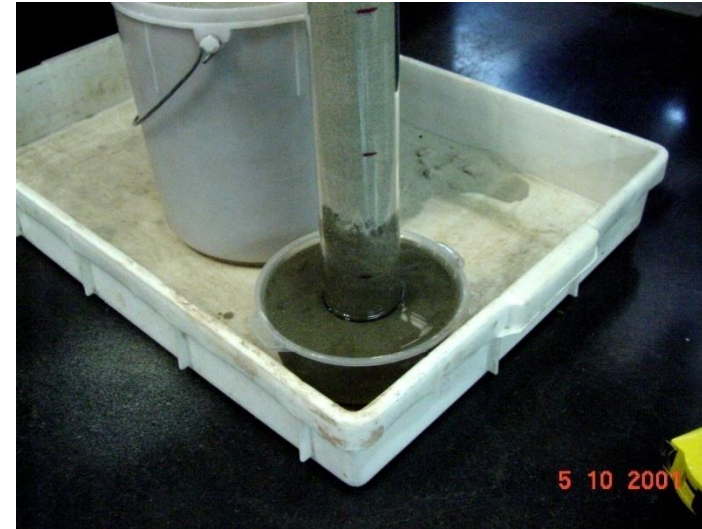


$$h_c = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho_w g r}$$

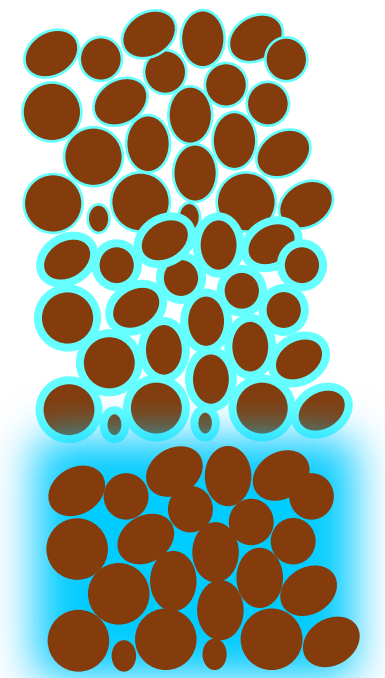
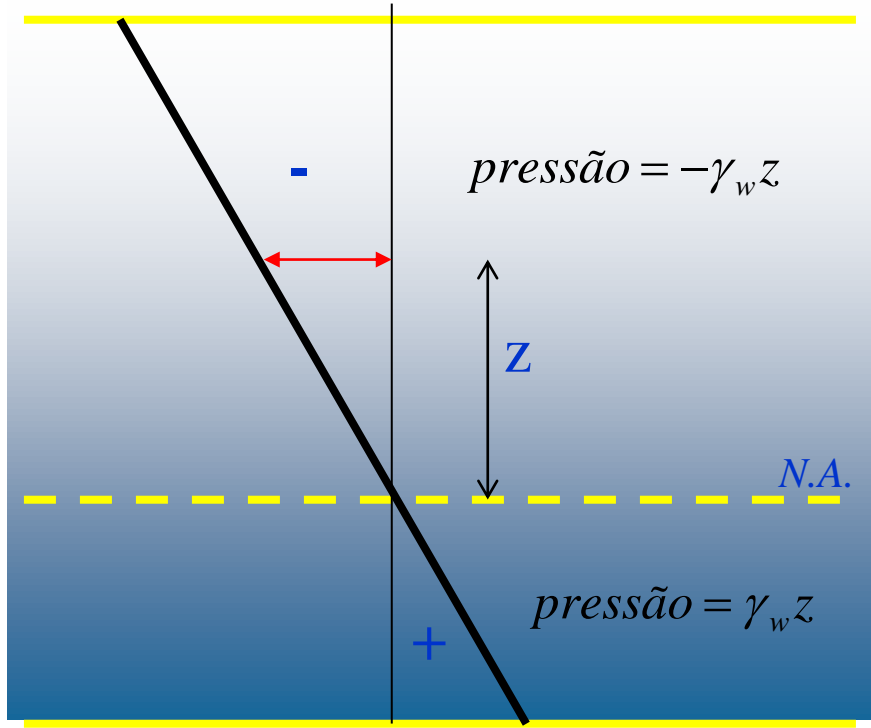
$$h_c = \frac{2T_s}{\gamma_w R}$$

# Pressão negativa da água (Sucção)

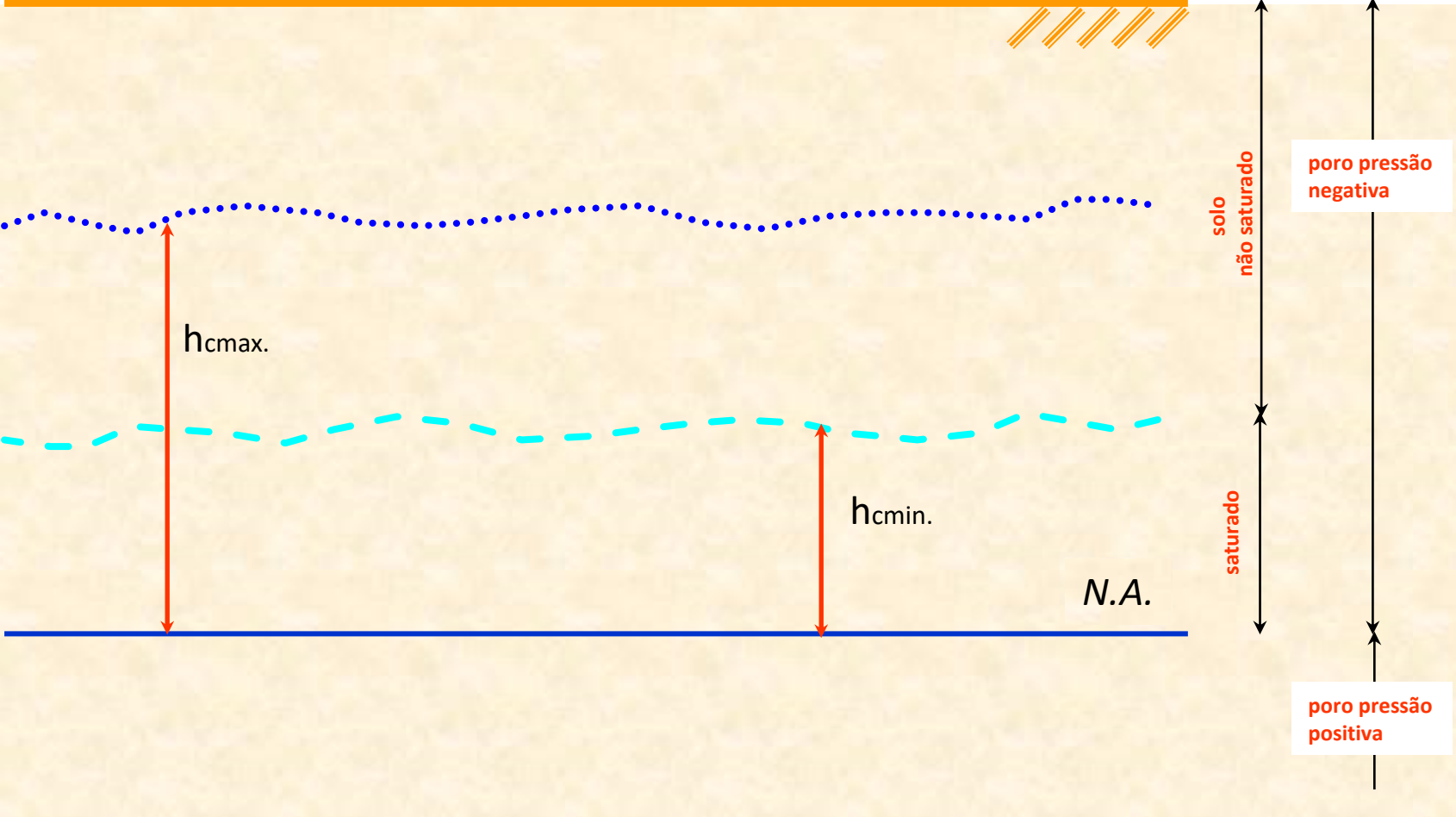
## Ascensão Capilar



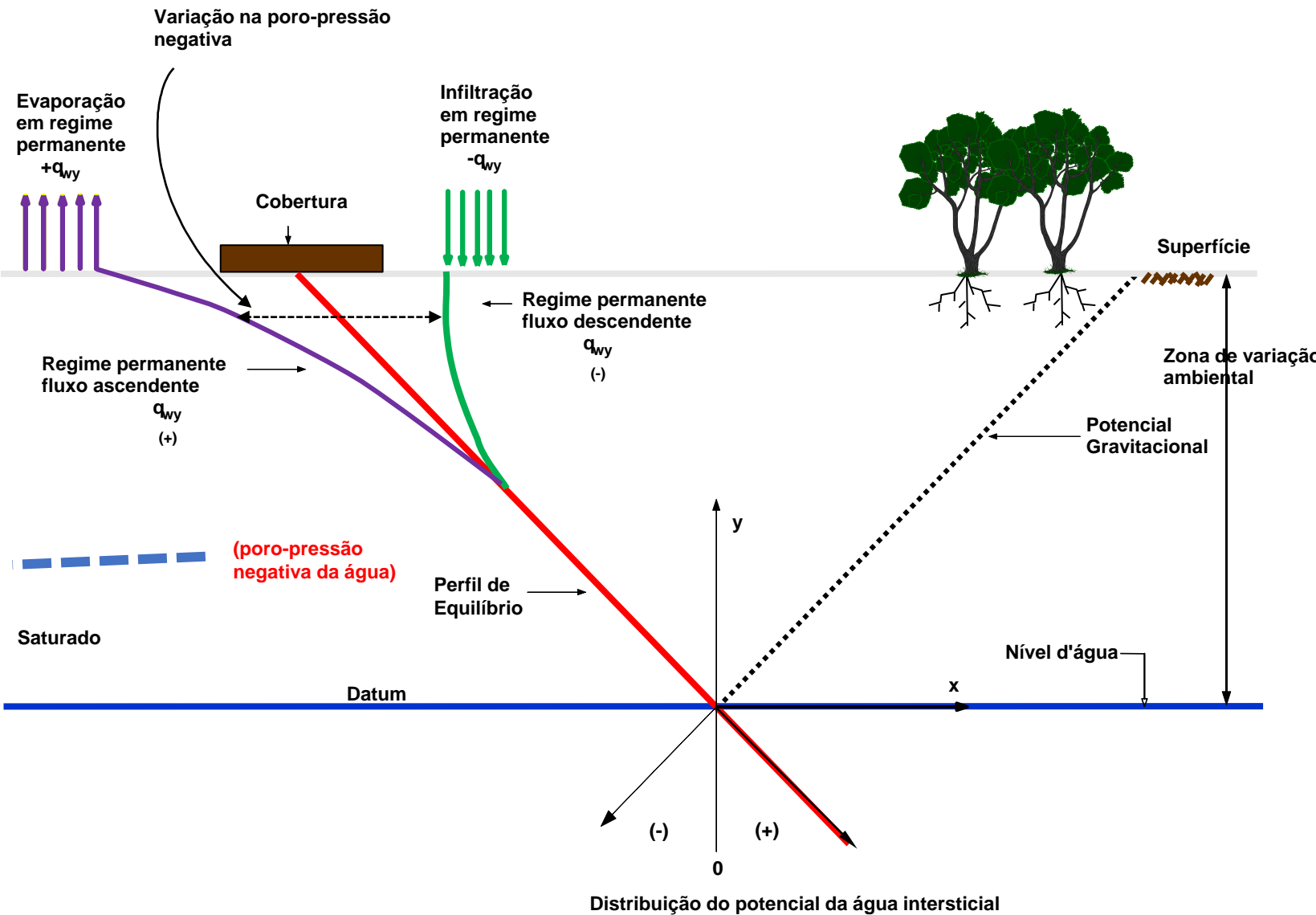
Água armazenada em equilíbrio  
Sem fluxo (sem infiltração ou evaporação)



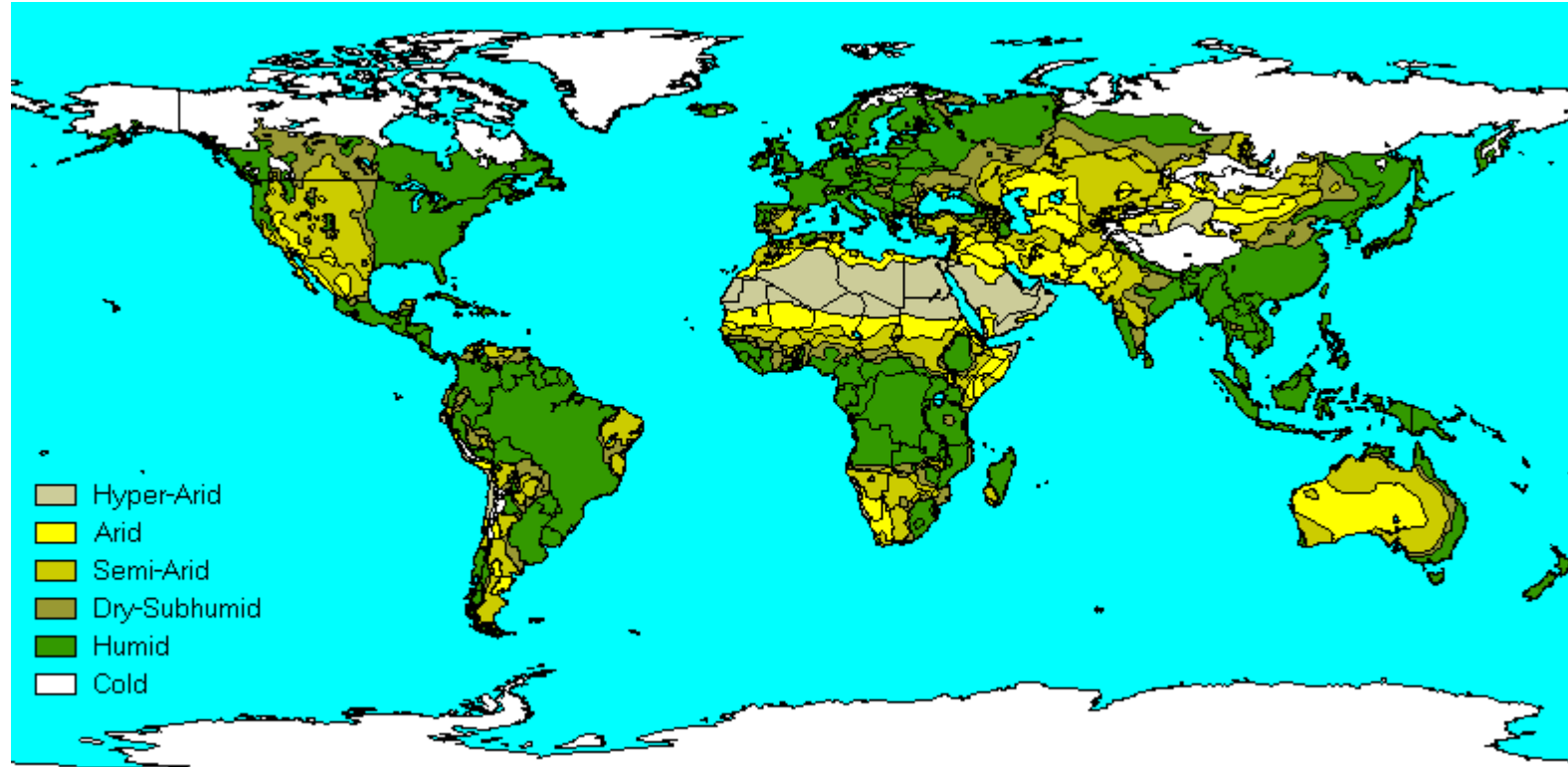
# A Zona Vadosa



# Perfis de sucção



# Climas da Terra



# Água

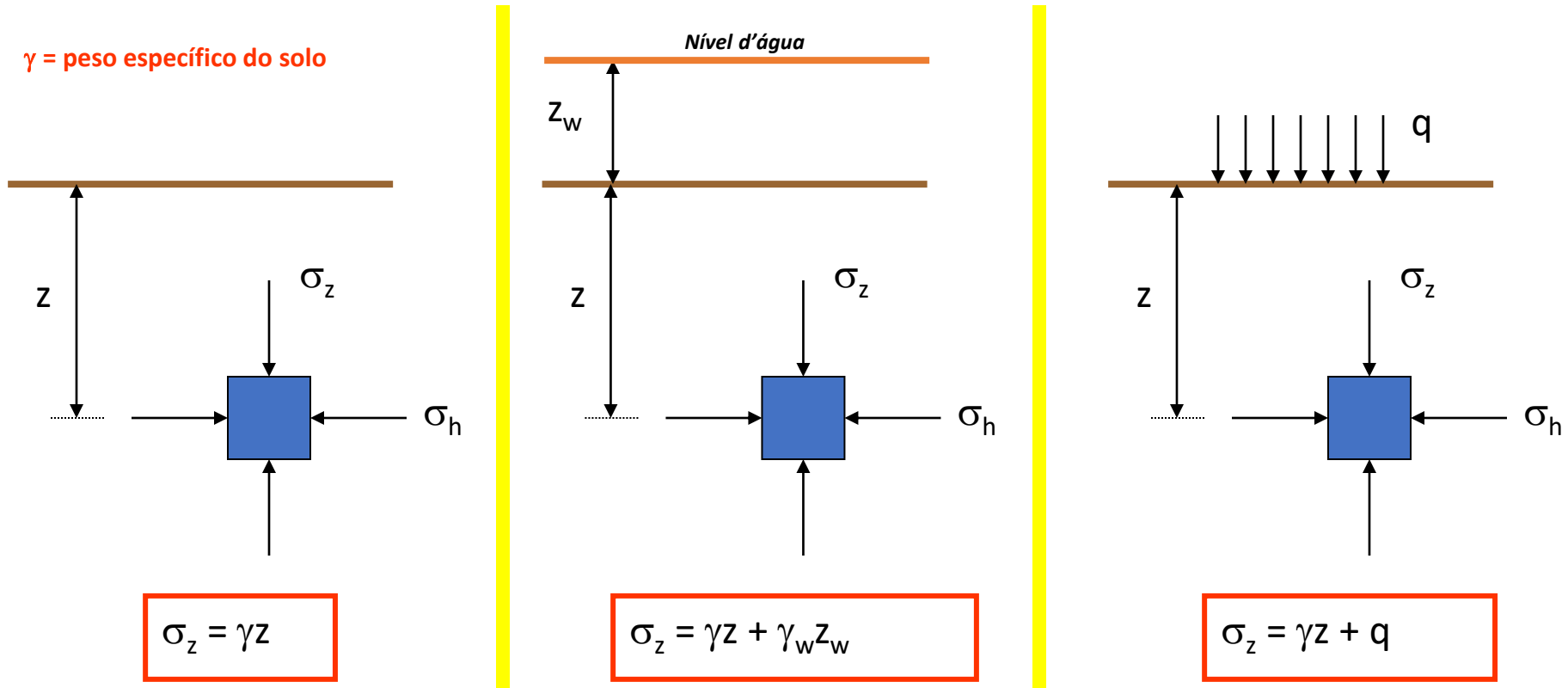




**Solo Saturado**

# Tensões no Solo

- No solo a tensão vertical em uma determinada profundidade é devida ao peso de tudo que se encontra acima.
- Ou seja, grãos de solo, água, fundações.
- Desta forma, a tensão normalmente aumenta com a profundidade.



## Tensões no Solo

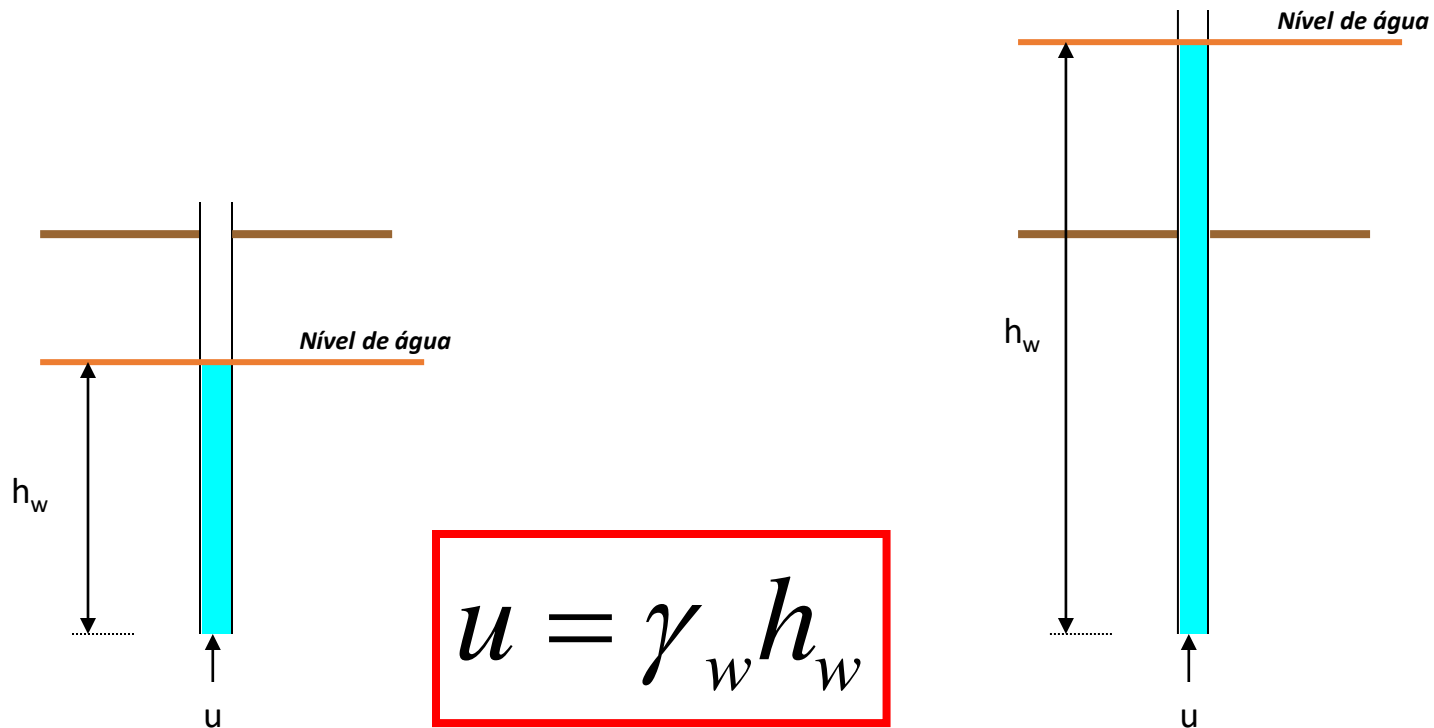
- ✓ Lembre-se que  $\gamma$  é o peso de tudo (solo e água) por unidade de volume.
- ✓ Como  $\sigma_z$  advém do peso total do solo ele é conhecido como tensão total.
- ✓ Note que a água no “lago” mostrado anteriormente aplica uma tensão total na superfície do solo da mesma forma que a água aplica uma tensão na base de um copo de água.
- ✓ O peso específico de solos varia aproximadamente entre  $20\text{kN/m}^3$  para um solo saturado e  $16\text{kN/m}^3$  para um solo seco. E o peso específico da água vale  $10\text{kN/m}^3$ .
- ✓ Existem também as tensões horizontais  $\sigma_h$ , mas não existe uma relação simples entre  $\sigma_z$  e  $\sigma_h$ .

# Tensões no Solo



## Água no solo e pressão da água

- A água nos poros de um solo saturado possui uma pressão conhecida como pressão da água de poro ou pressão neutra ( $u$ ).



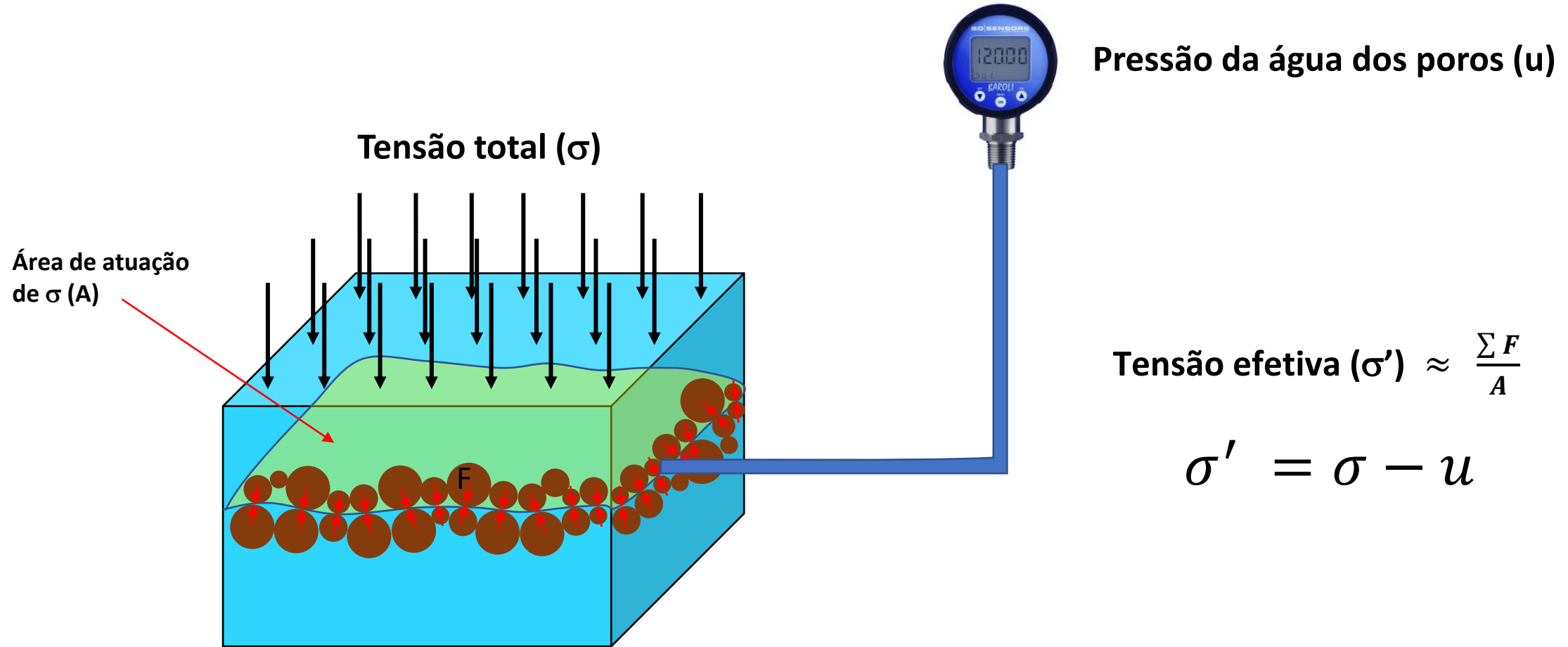
# Tensões no Solo

## Tensão Efetiva

- Sabe-se que a movimentação do solo e a instabilidade dele pode ser causada por mudanças na tensão total, devida as cargas de fundações ou escavações em geral.
- No entanto, não é tão obvio que os movimentos do solo possam ser devido às variações de poro pressão (pressão neutra).
- Desta forma, se existe indução de deformação por mudança na tensão total ou da poro pressão, existe a possibilidade do comportamento do solo ser governado por uma combinação entre  $\sigma$  e  $u$ .
- Esta combinação é conhecida como tensão efetiva ( $\sigma'$ ), por que ela é efetiva em determinar o comportamento do solo.
- O princípio das tensões efetivas foi estabelecido por Terzaghi em 1923.

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

# Tensão Efetiva



## **Por que a tensão efetiva é importante?**

**Porque todos os efeitos mensuráveis devido a mudança de tensão são exclusivamente devidos a mudanças na tensão efetiva**

**Os efeitos são:**

- **Compressão (variação de volume devido a tensão normal)**
- **Distorção (mudança de forma devido a tensão cisalhante)**
- **Mudança na resistência**

## **Algumas hipóteses**

**Assume-se que para o nível de tensão usual da engenharia, aproximadamente 700kPa, a água e as partículas sólidas são incompressíveis e o ar altamente compressível.**

**A compressibilidade e resistência do “esqueleto” sólido como uma massa, dependem das propriedades das partículas, da estrutura do “esqueleto” e da história de tensões.**

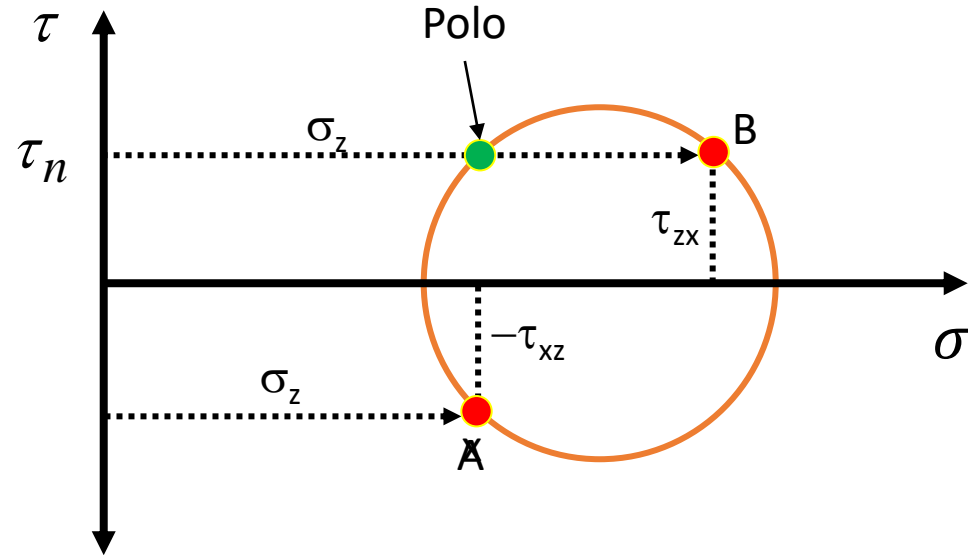
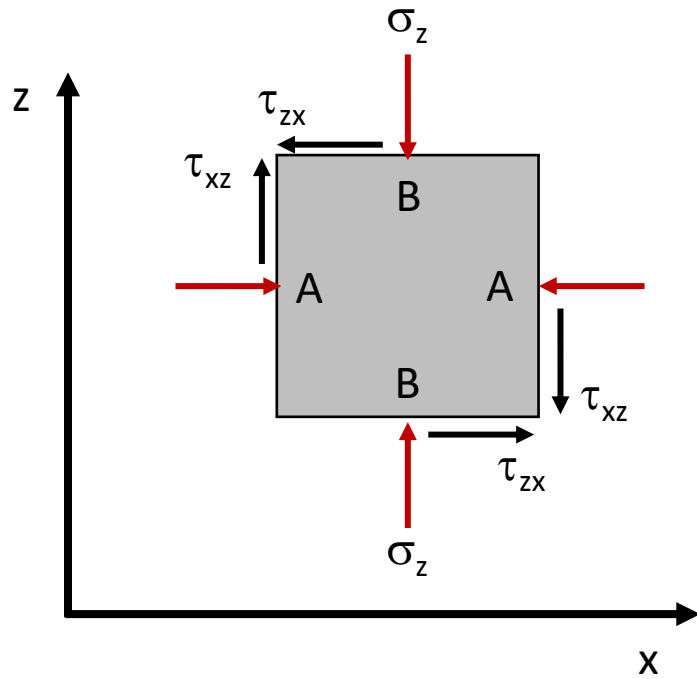
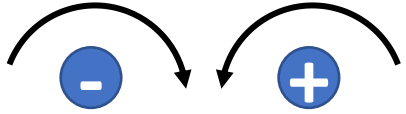
## O movimento da água e sua consequência

- O solo saturado só pode variar de volume se a água sair ou entrar nos poros.
- Se não se permite que um solo saturado mude seu volume de água intersticial o mesmo não poderá mudar de volume. Isto chama-se condição não drenada.
- Sob estas condições de carregamento (não drenado) a reação do solo é: mudar a pressão da água (positiva ou negativa). Isto acontece para compensar a mudança de tensão.
- Se por outro lado é permitida a drenagem ou absorção da água nos poros o carregamento é chamado drenado.
- Nos solos não saturados e secos pode haver mudanças de volume sem ganho ou perda de água.

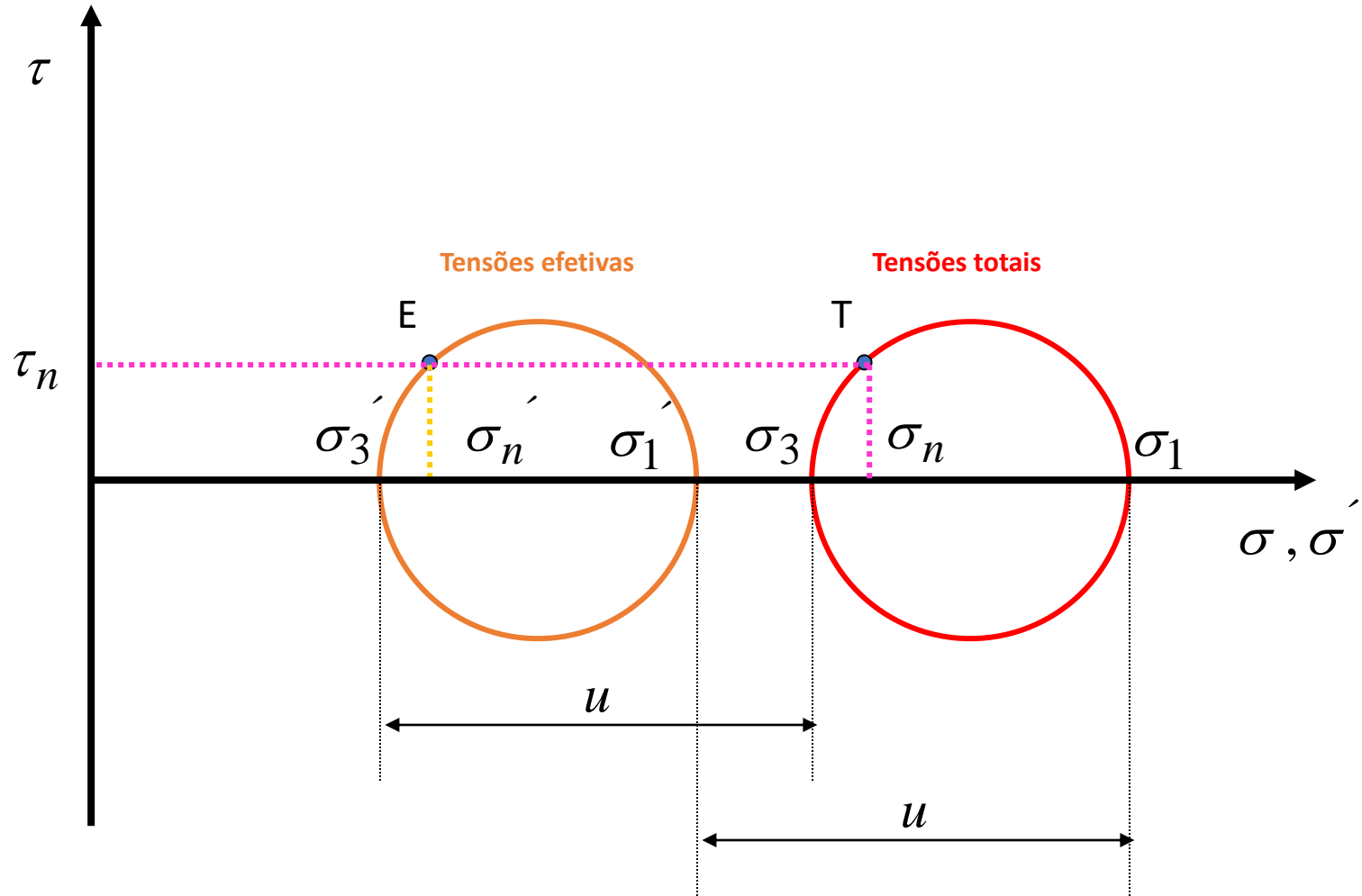




# Estado de tensões no solo

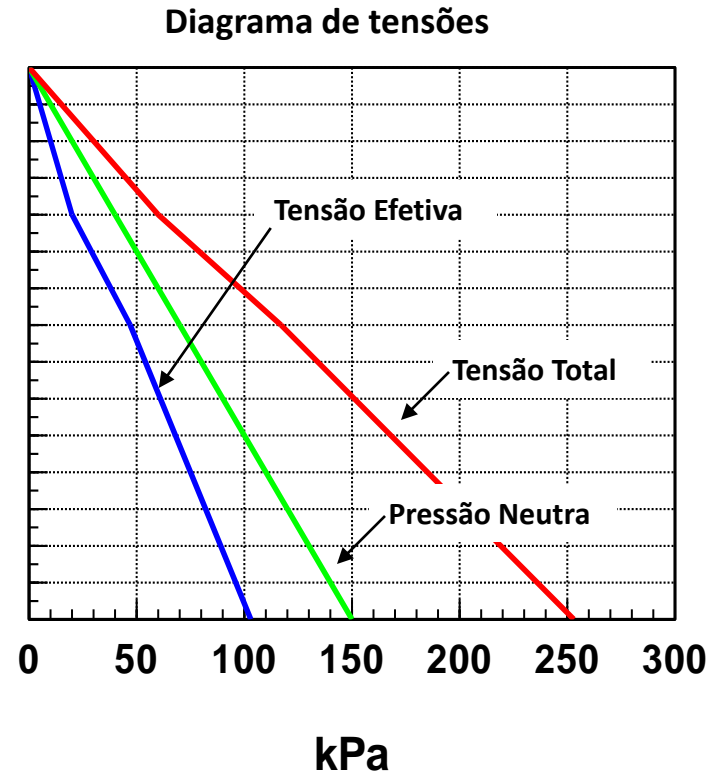
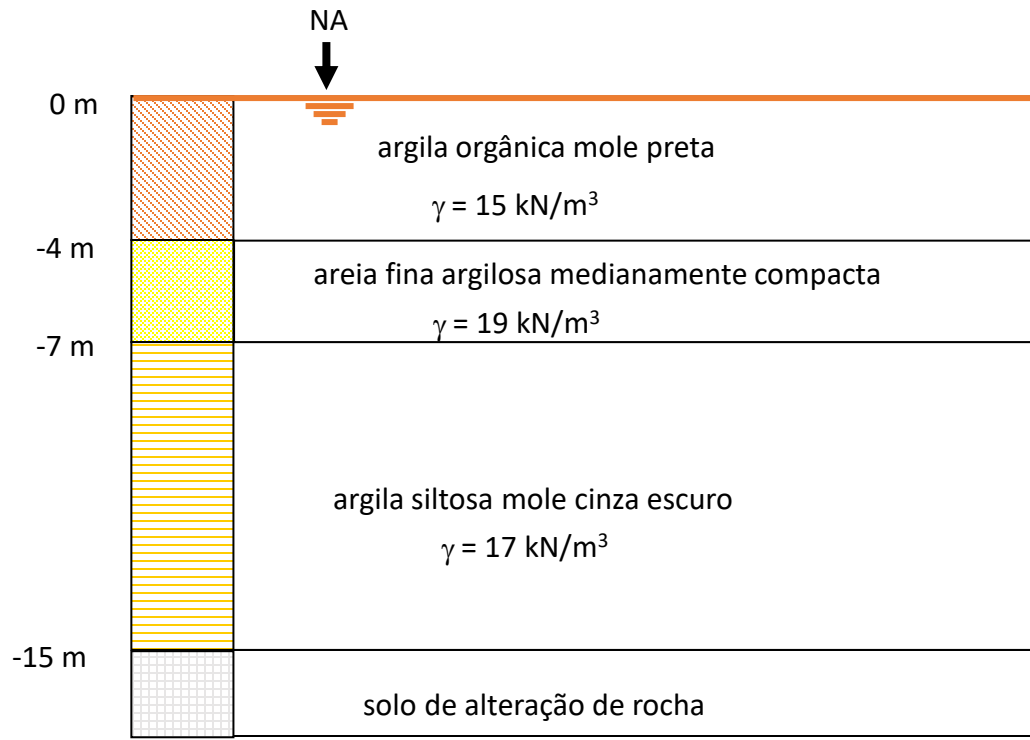


# Estado de tensões no solo



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

# Tensões no Solo



Exemplo para a cota -7m

$$\sigma = 15 * 4 + 19 * 3 = 117 \text{ kPa}$$

$$u = 10 * 7 = 70 \text{ kPa}$$

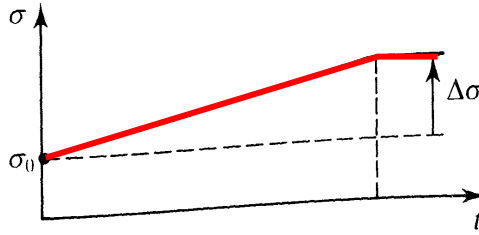
$$\sigma' = \sigma - u = 47 \text{ kPa}$$

# Tensões no solo durante a execução de um aterro

*Barragem Los Vaqueros*

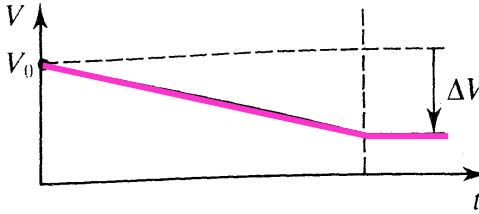


# Comportamento Drenado



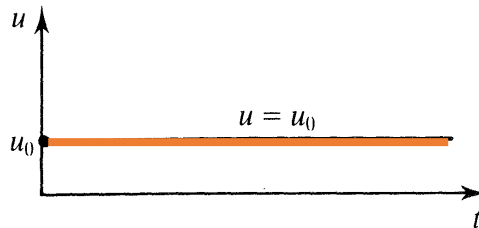
(a)

Carregamento – tensões totais



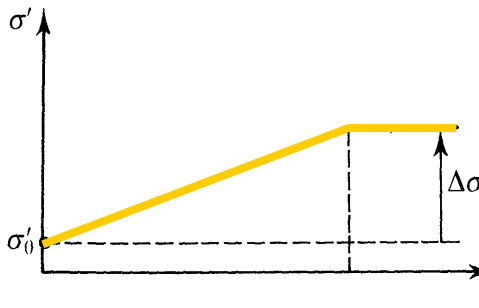
(b)

Variação de volume



(c)

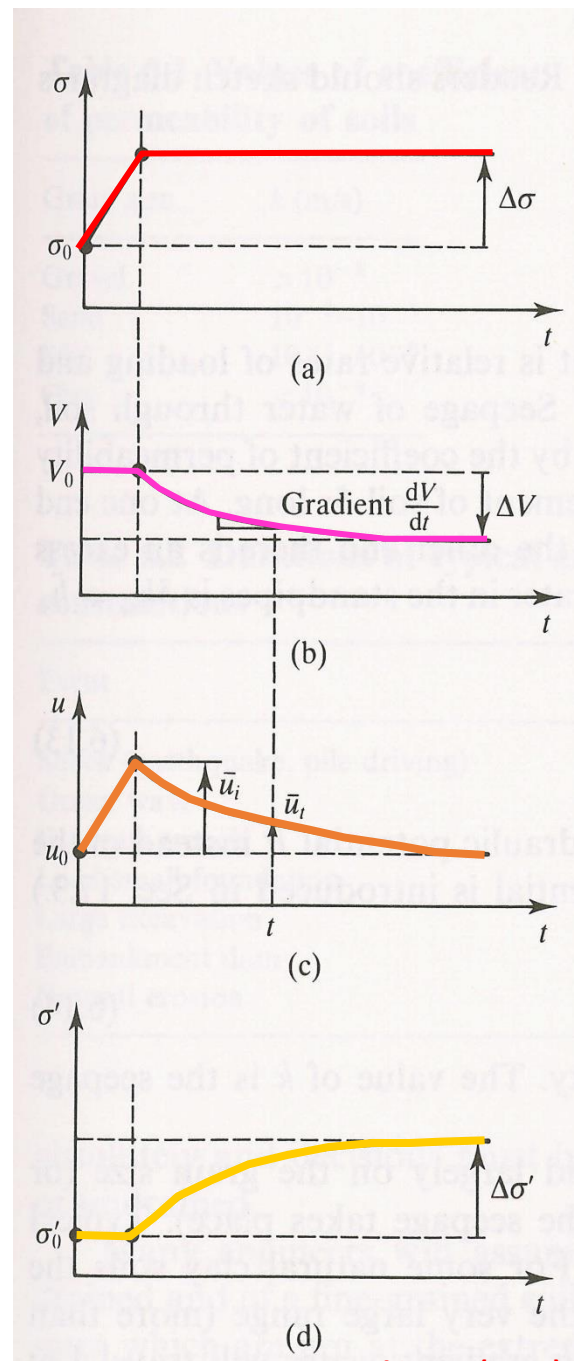
Desenvolvimento de pressão neutra



(d)

Variação de tensão efetiva

# Comportamento Não Drenado



Carregamento – tensões totais

Variação de volume

Desenvolvimento de pressão neutra

Variação de tensão efetiva