



# ÁGUA DO SOLO

Aula 9

**Prof. Miguel Cooper**

# CONCEITO E IMPORTÂNCIA DO USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA

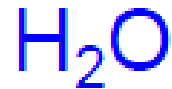
Qual a importância de estudar a água no solo?



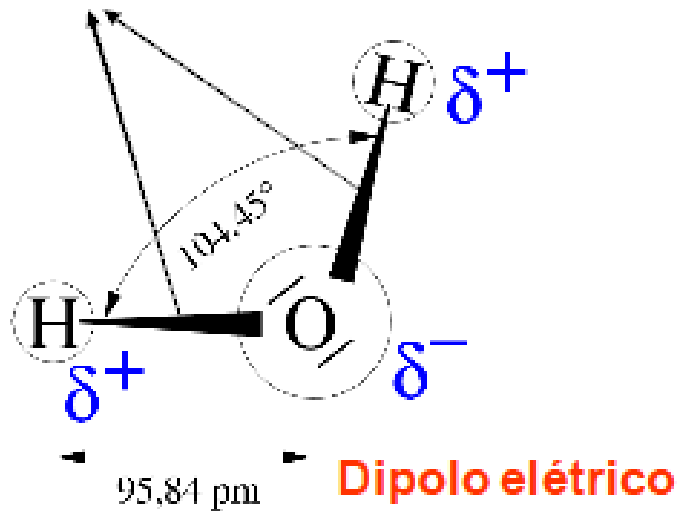




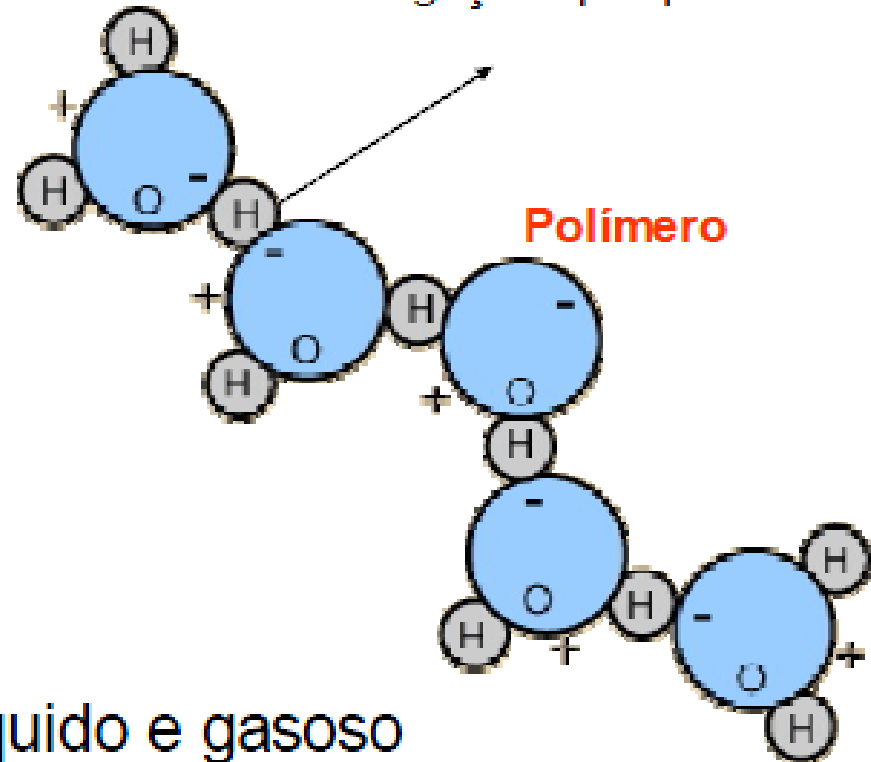
# Estrutura Molecular da Água



Ligações covalentes



Ligações por pontes de H



Estados físicos: sólido, líquido e gasoso

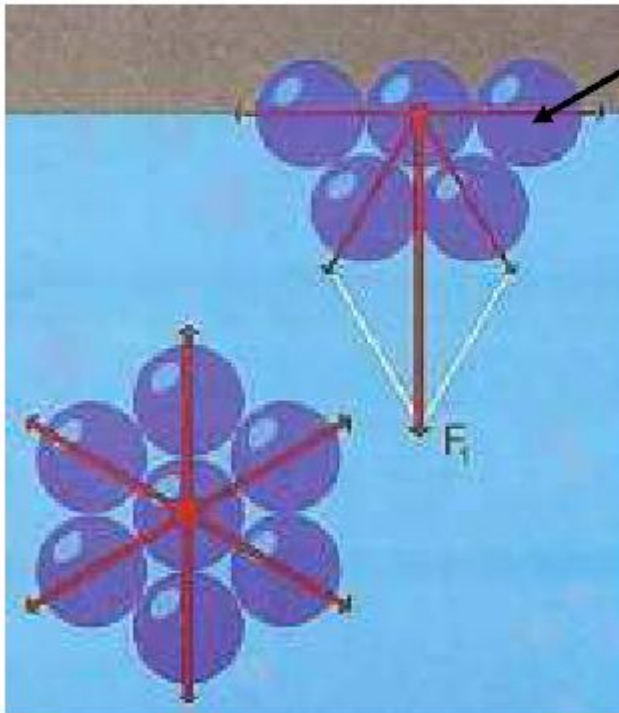
Ponto de ebulição:  $100^\circ \text{C}$

Ponto de fusão:  $0^\circ \text{C}$

# TENSÃO SUPERFICIAL

- Fenômeno típico de uma interface líquida-gás;
- É a medida da resistência à formação de uma membrana elástica em uma interface líquida-gás;

*INSETO SE MOVIMENTANDO  
NA SUPERFÍCIE DA ÁGUA*



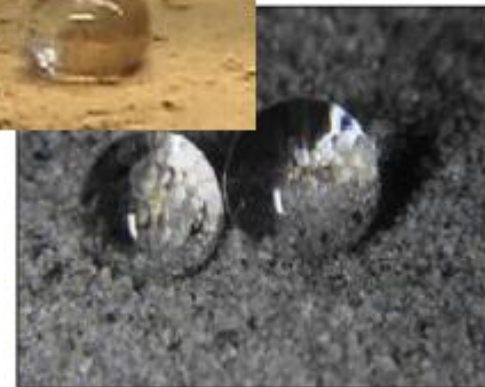
## Ângulo de contato

- Representa o ângulo de contato entre a água e uma superfície sólida;
- As forças envolvidas são a adesão e coesão;
  - Coesão:** atração entre moléculas de água;
  - Adesão:** atração entre moléculas de água e outras superfícies;



adesão > coesão

coesão > adesão



Hidrorepelência



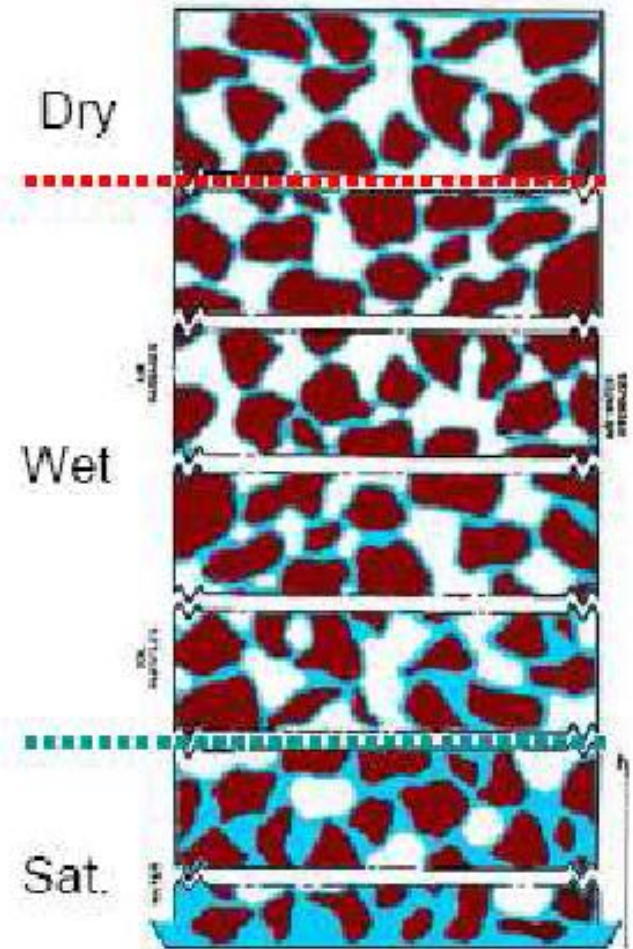
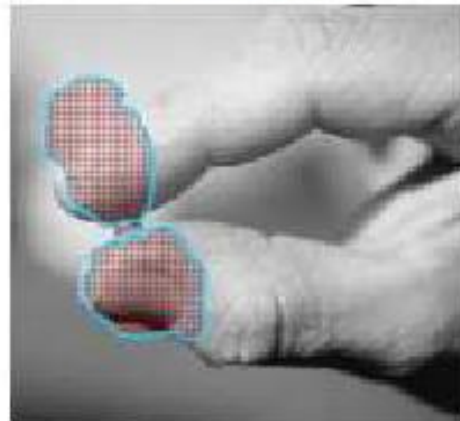
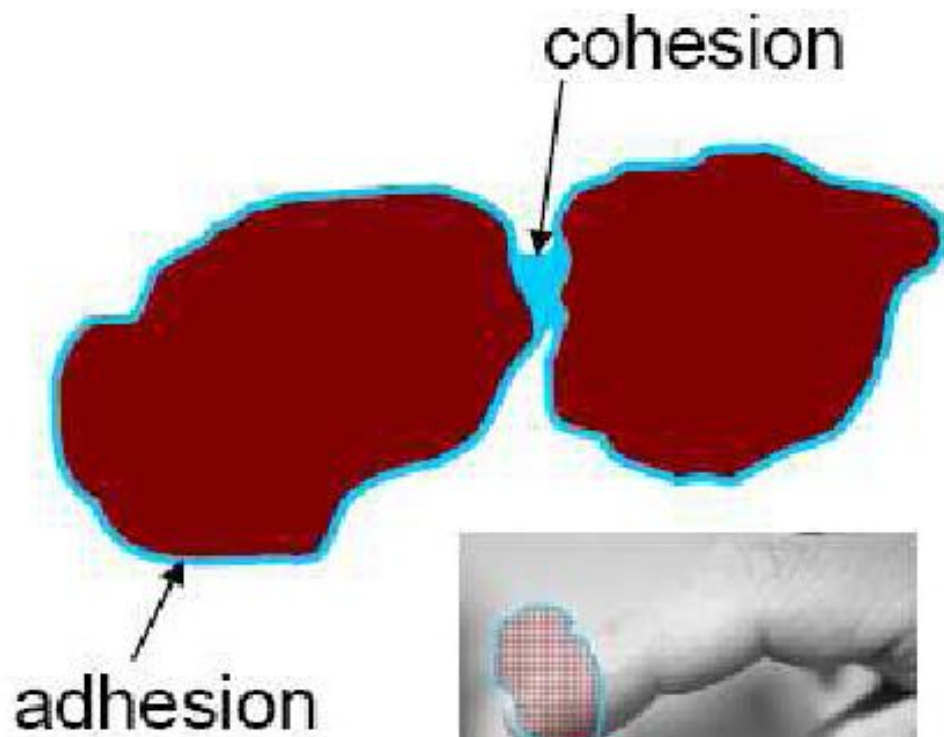
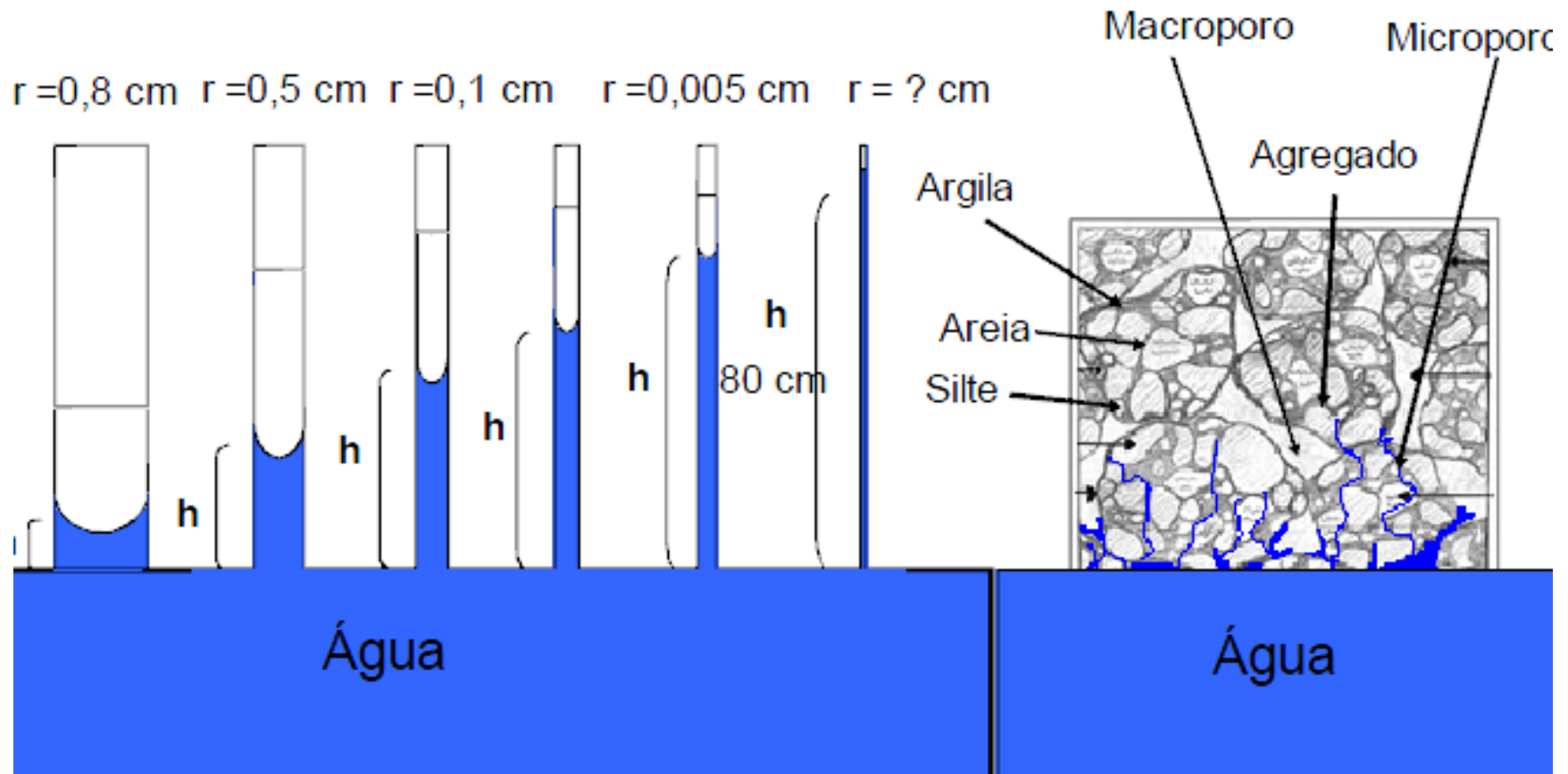


Fig. 1-22. Air-water interfaces in soil. (Gardner and ...)

# EQUAÇÃO FUNDAMENTAL DA CAPILARIDADE

$$h = \frac{2\lambda^* \cos \theta}{r \cdot d^* \cdot g}$$

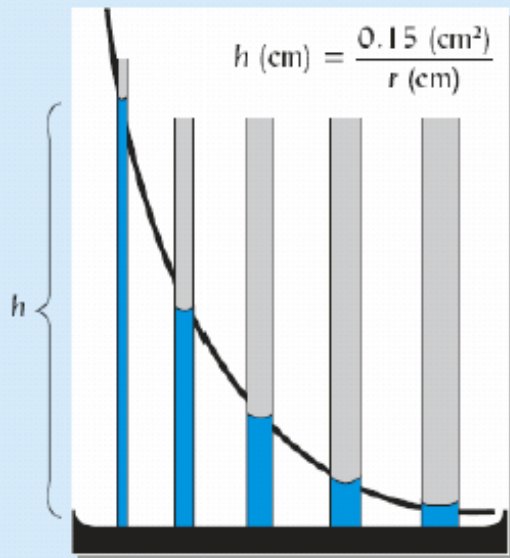
$$r = \frac{2\lambda^* \cos \theta}{h \cdot d^* \cdot g}$$





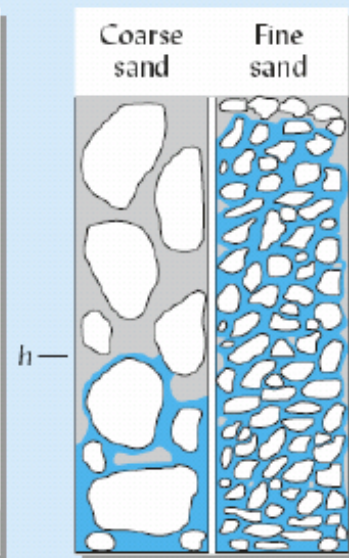
# ASCENSÃO CAPILAR X TEXTURA

Water movement by capillarity

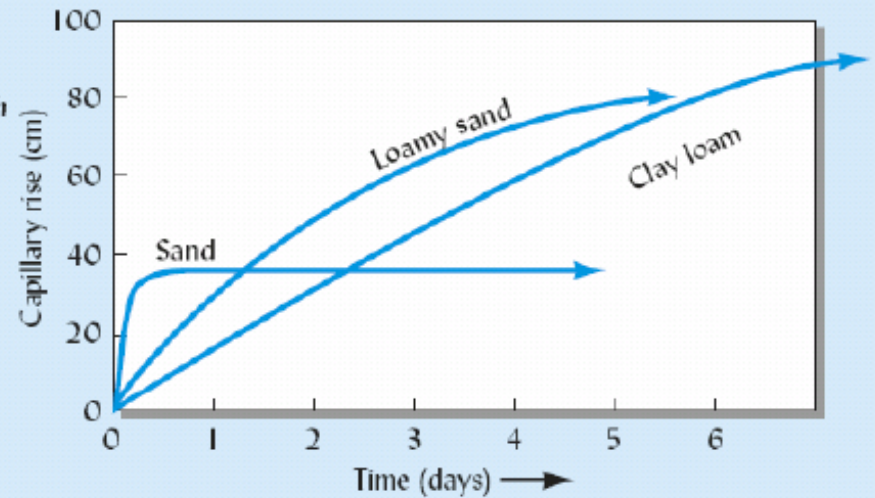


Radius of tube

(a)



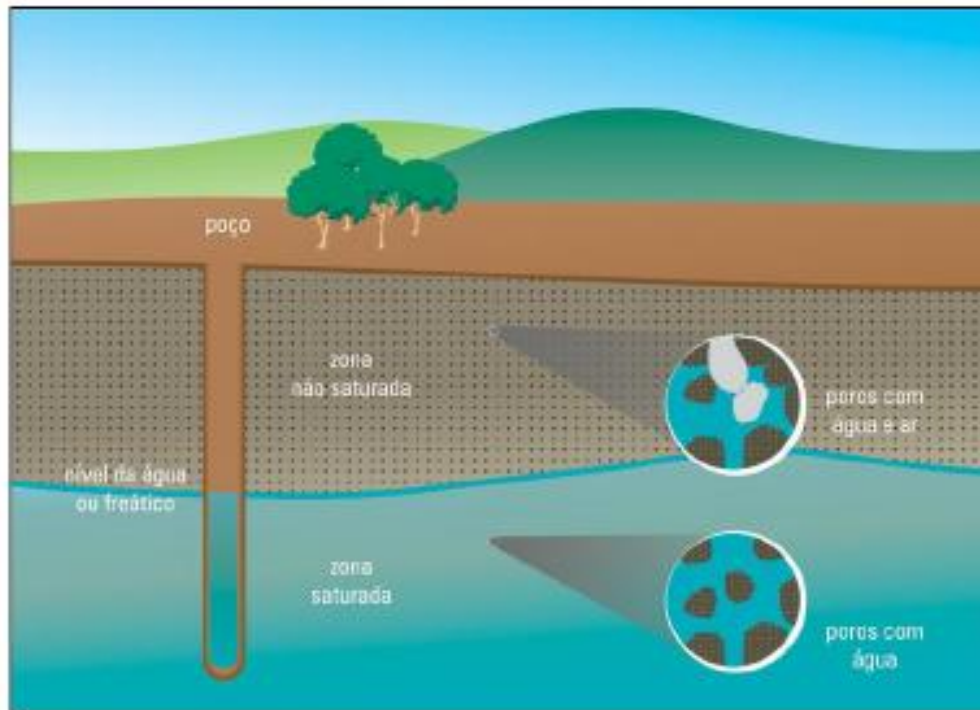
(b)



(c)

## Água no solo (solução do solo)

solução: água + nutrientes + elementos tóxicos ...



### Solo = meio trifásico

- Fase sólida
  - Fase líquida
  - Fase gasosa
- } POROS

Estrutura = agregados + poros

Agregados = areia + silte + argila + MO... (Microporos)

Textura e mineralogia = afetam área superficial específica (ASE)

## Como o solo retém a água?



### Forças envolvidas na retenção da água no solo:

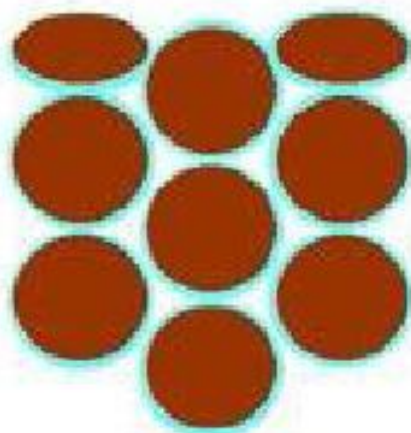
- Adesão
- Coesão
- Tensão superficial
- Capilaridade
- Adsorção

**Difícil de ser quantificado no solo**



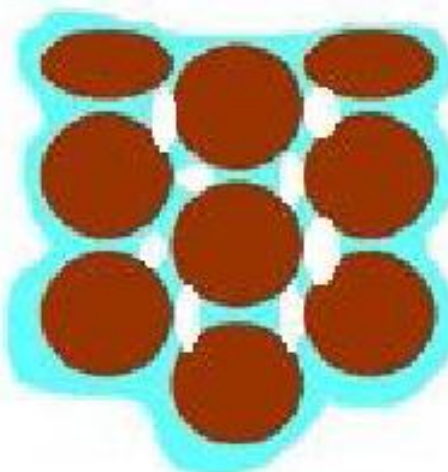
## Ciclo de umedecimento e secagem do solo

Água higroscópica



Água adsorvida na superfície das partículas

Água capilar



Água retida nos Microporos (< 50 mm)

Água gravitacional



Água retida nos Macroporos (>50 mm)

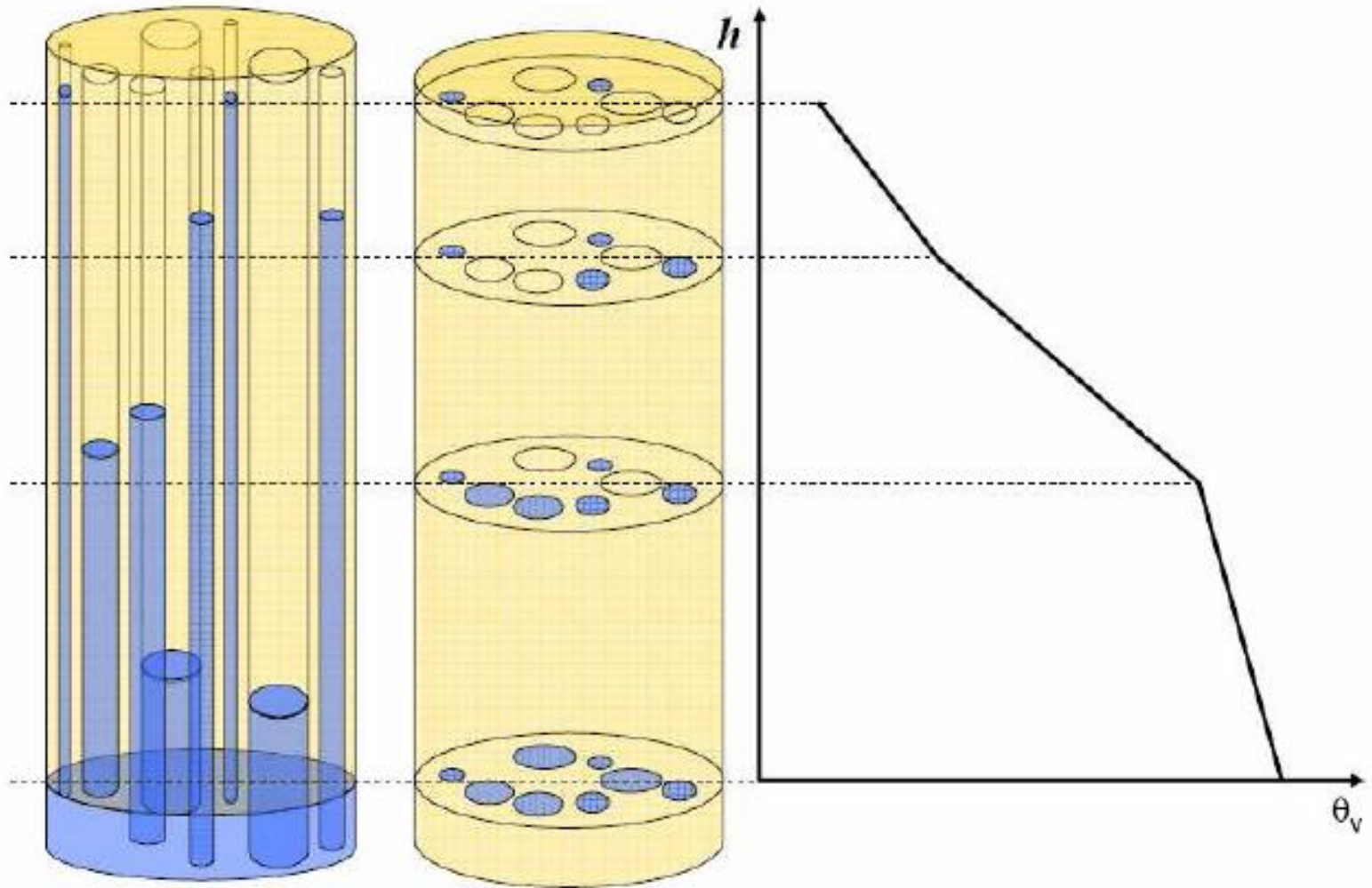
Capilaridade (poros)



Adsorção (ASE)



# Retenção de Água e Porosidade do Solo



# REVISÃO

## RELAÇÕES MASSA-VOLUME



## Parâmetros das relações massa-volume

– Porosidade ( $\alpha$ ) 
$$\alpha = \frac{V_p}{V_t} = \frac{V_a + V_w}{V_s + V_a + V_w}$$

– Densidade de partículas 
$$\rho_p = \frac{m_s}{V_s}$$

– Densidade do solo 
$$\rho_s = \frac{m_s}{V_t} = \frac{m_s}{V_s + V_a + V_w}$$

# DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO DE ÁGUA OU DA UMIDADE DO SOLO

– Umidade (base peso)

$$\omega = \frac{m_w}{m_s}$$

– Umidade (base volume)

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} = \frac{V_w}{V_s + V_a + V_w}$$

# Parâmetros das relações massa-volume

- Porosidade e densidades do solo e de partículas

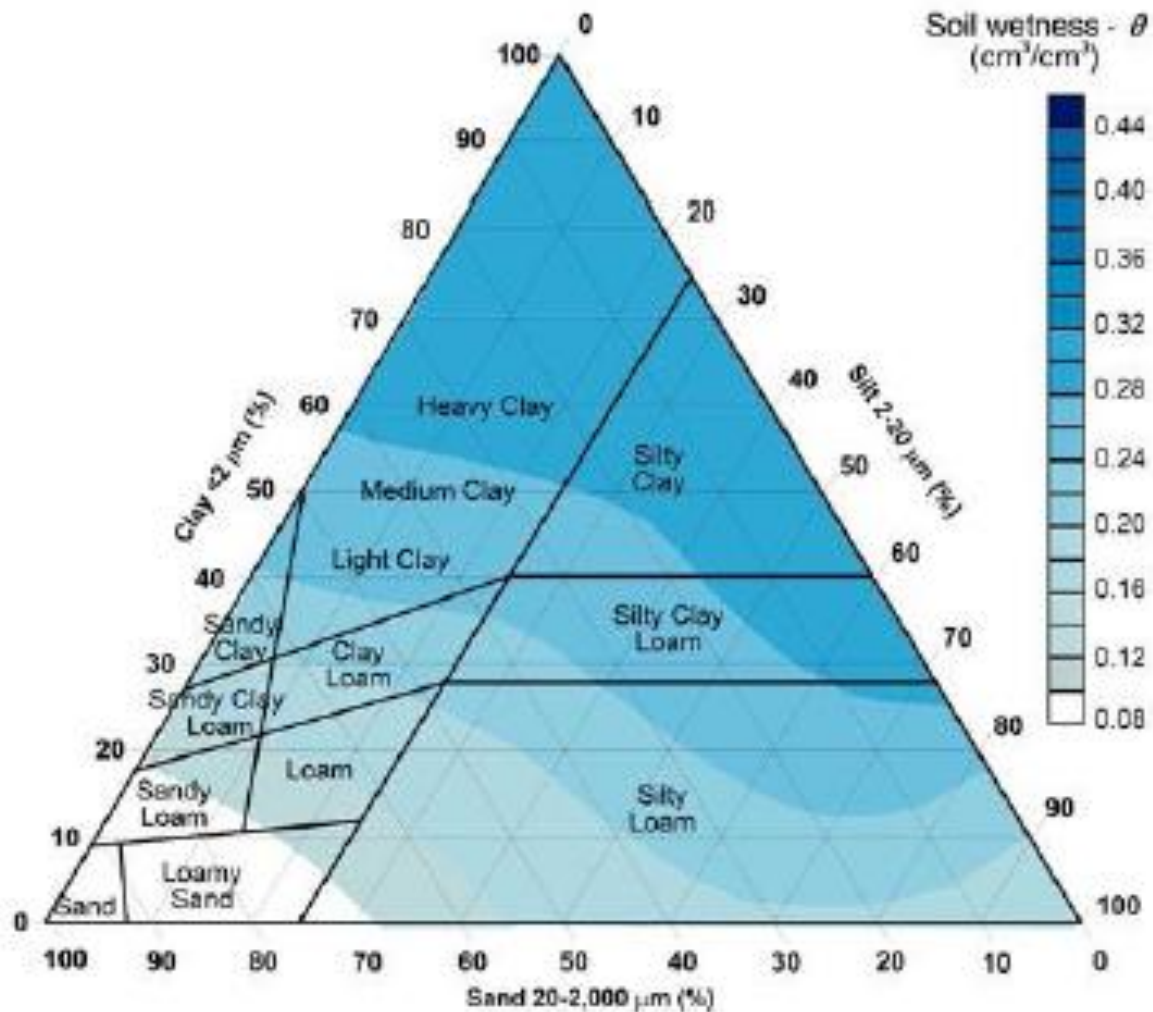
$$\alpha = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_p}$$

- Umidades e densidade do solo

$$\theta = \omega \cdot \rho_s$$



# ASE X Conteúdo de Água



# Estado energético da água no solo

❖ A tendência espontânea e universal de toda a matéria na natureza é se mover do local com **maior energia** para o local de **menor energia**, tendendo ao equilíbrio;

❖ A água no solo pode conter energia em diferentes formas e quantidades:

– **Energia cinética:** depende da massa e velocidade da matéria

$$E_c = m \times V^2/2 \text{ (desconsiderada)}$$

– **Energia potencial:** depende da posição e das condições internas da matéria. É fundamental para determinar o estado e movimento da água no solo.

$$E_p = m \times g \times h$$

# Estado energético da água no solo

- A diferença de energia potencial da água entre dois pontos faz com que a água se movimente:
  - internamente no solo (**fluxo de água no solo**);
  - do solo para a planta (**absorção**);
  - do solo para a atmosfera (**evaporação**);
  - da planta para a atmosfera (**transpiração**).
- A tendência da água na natureza é passar de uma maior estado energético para um menor estado energético, buscando o equilíbrio.
- É essa busca constante do equilíbrio energético que gera a força motora responsável pelo ciclo da água na natureza.

# Potencial da água no solo

$$\Psi_T = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_p + \Psi_{os}$$

Onde:

**$\Psi_T$**  = potencial total da água no solo

**$\Psi_g$**  = potencial gravitacional

**$\Psi_m$**  = potencial matricial

**$\Psi_p$**  = potencial de pressão

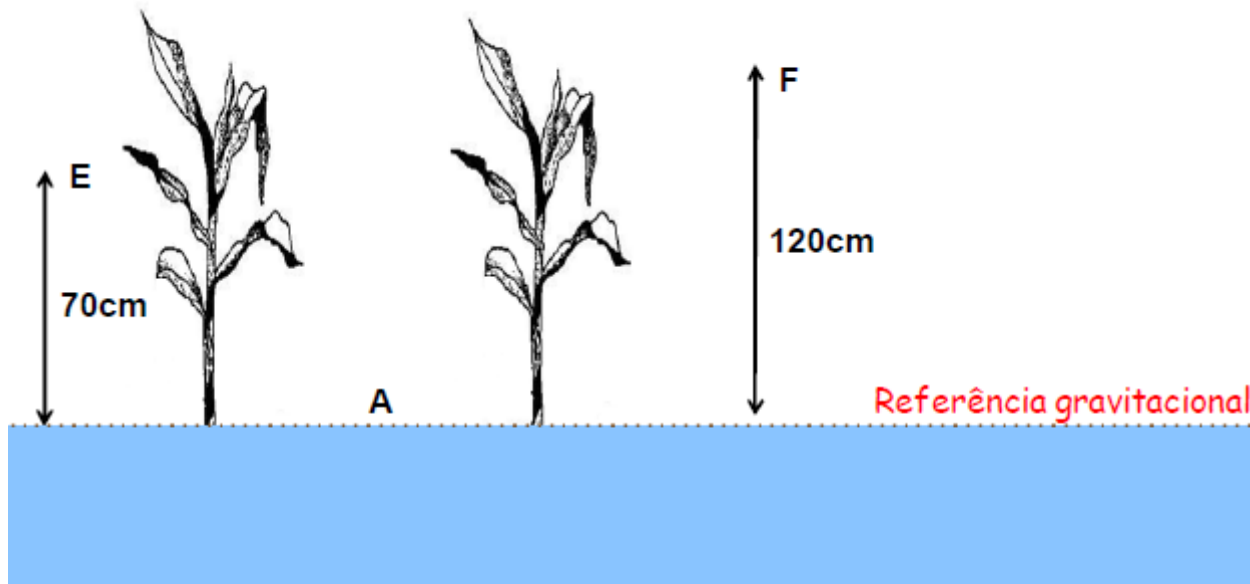
**$\Psi_{os}$**  = potencial osmótico

Unidades de medida = m, cm, kPa, MPa



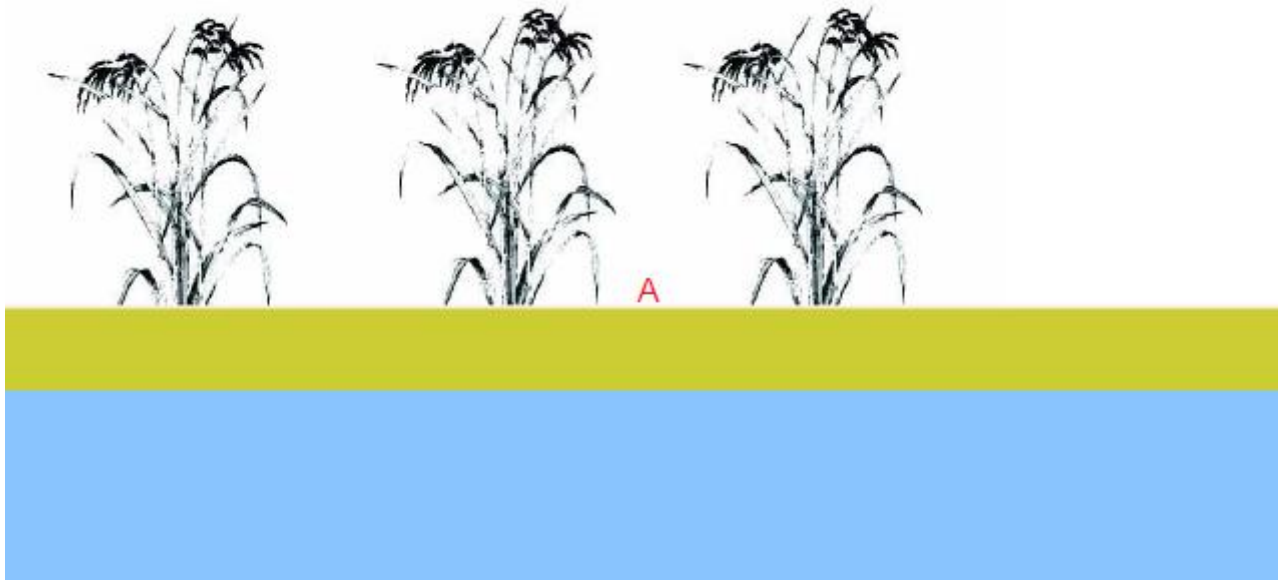
# POTENCIAL GRAVITACIONAL

- ❖ Quantidade de energia necessária para elevar uma unidade de água a um ponto específico em relação ao plano de referência;
- ❖ O efeito da gravidade no potencial da água depende da posição da água em relação ao plano de referência (acima = positivo; abaixo = negativo)



# POTENCIAL DE PRESSÃO

- ❖ Quando a água apresentar pressão hidrostática (lâmina de água) superior a pressão atmosférica, a sua pressão é positiva, sendo chamada de potencial de pressão;
- ❖ O potencial de pressão aparece em condições de solo inundado, quando existe uma carga ou lâmina de água.



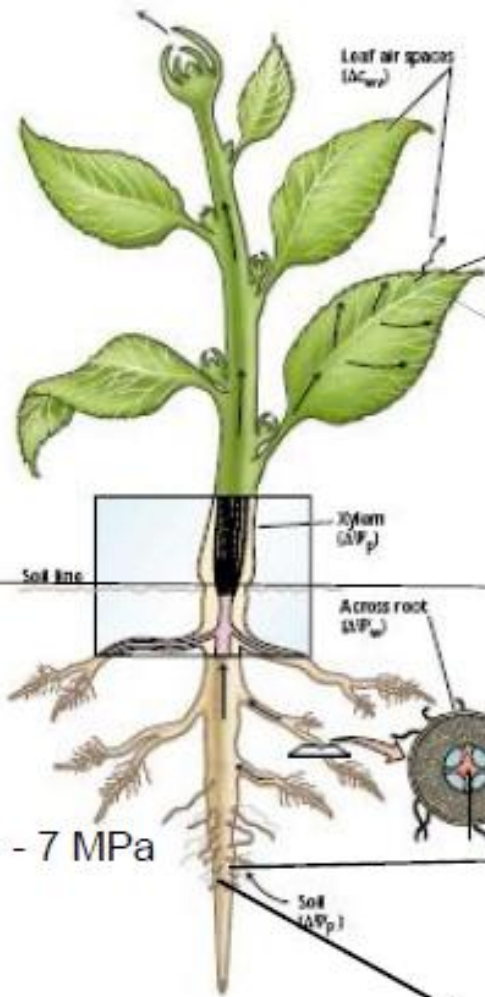
# POTENCIAL OSMÓTICO

- ❖ Quantidade de energia necessária para transportar uma unidade de água pura do nível de referência até um ponto onde a concentração de solutos na solução é diferente da água pura;
- ❖ Na água do solo ou solução do solo estão dissolvidos minerais e substâncias orgânicas que lhe conferem um estado energético diferente da água pura;
- ❖ Para fins de estudo da dinâmica da água do solo, visando entender seu movimento e disponibilidade para as plantas o potencial osmótico não é considerado.

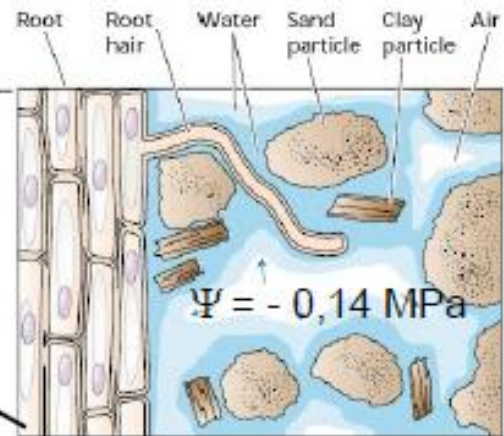
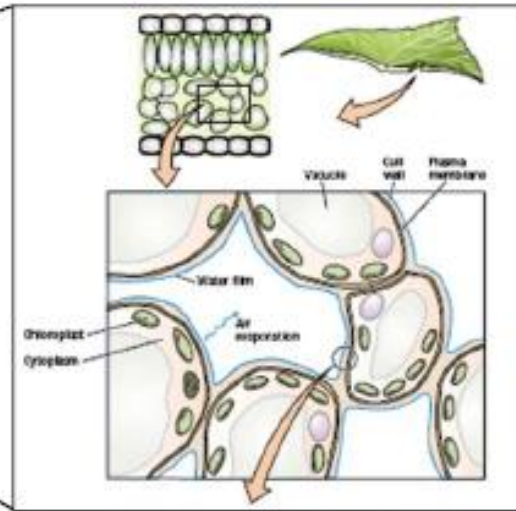
# POTENCIAL MATRICIAL

- ❖ Representa a interação entre a **matriz do solo** (granulometria, estrutura e poros) e a água;
- ❖ O potencial matricial descreve a contribuição das forças de retenção da água no solo associadas com suas interfaces líquido-ar e sólido-líquido (adesão, coesão, tensão superficial e capilaridade);
- ❖ Para remover a água retida por estas forças é necessário energia, sendo que a quantidade de energia necessária é crescente a medida que o solo seca;
- ❖ Está relacionado diretamente com o conteúdo de água no solo, e para as mesmas condições estruturais a tendência é a redução do potencial matricial a medida que o solo seca;





UR = 80 %  
 $\Psi = - 39,5 \text{ MPa}$



# Como medir o potencial matricial?

No campo: tensiômetro



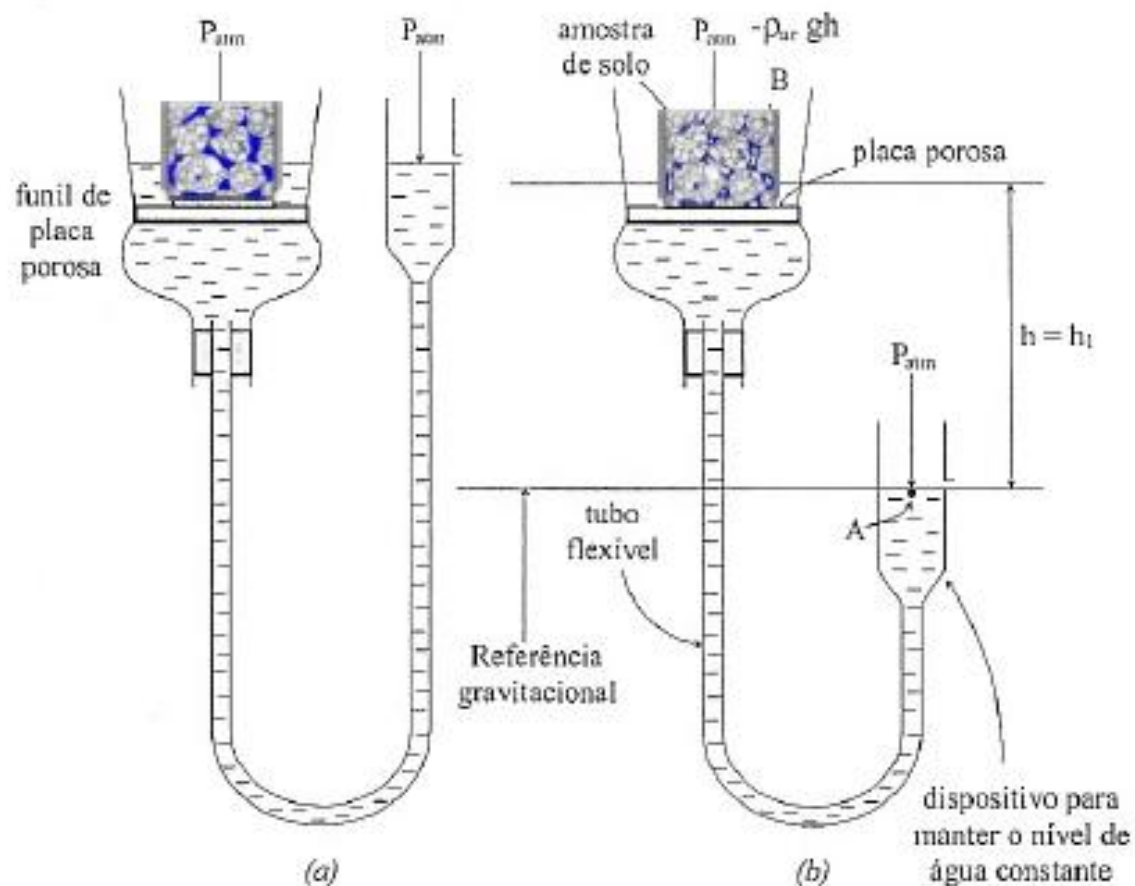
Capacidade de medida = tensões de até 8 m ou 80 kPa

## Leitura automática da tensão: tensímetro



# Como medir o potencial matricial?

No laboratório: Funis de placa porosa



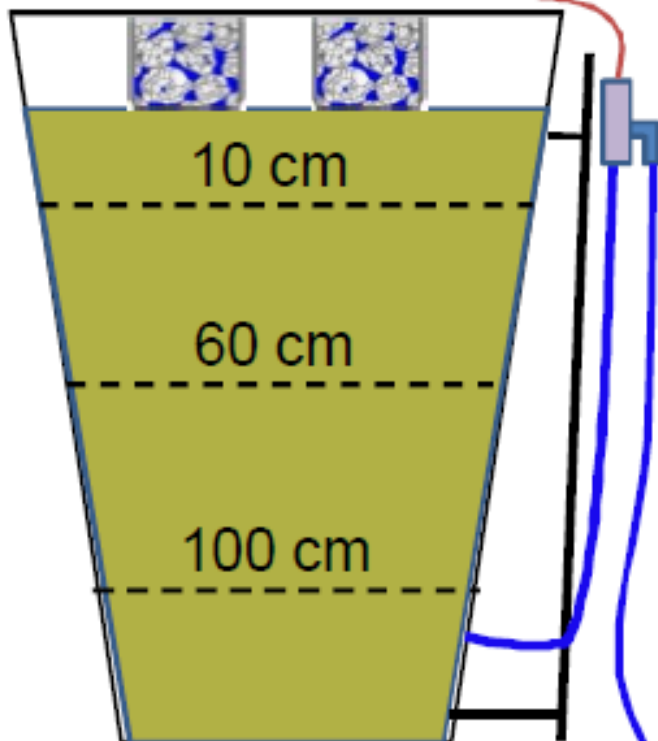
Capacidade de medida = tensões de 0,1 m até 3m



# Como medir o potencial matricial?

No laboratório: coluna de areia e mesa de tensão

Torneira



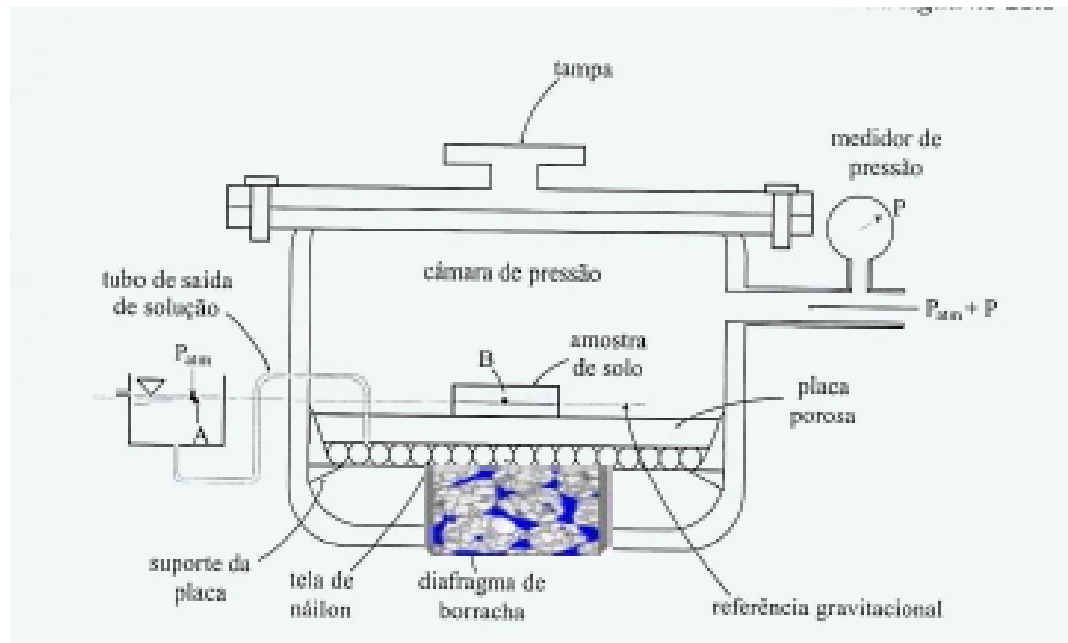
Capacidade = 100 amostras

Capacidade de medida = tensões de 0,1 m até 1 m

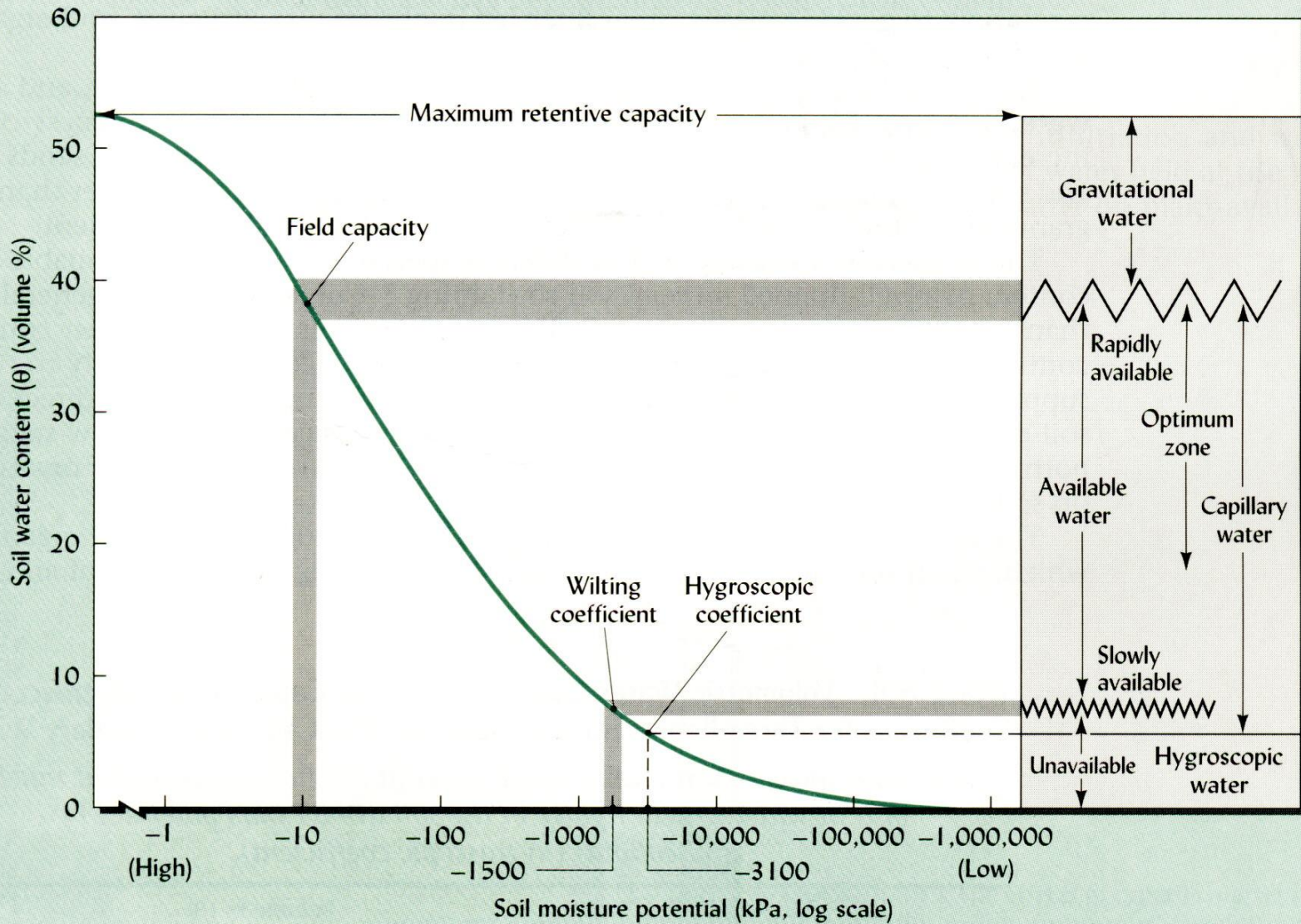
Vertedouro

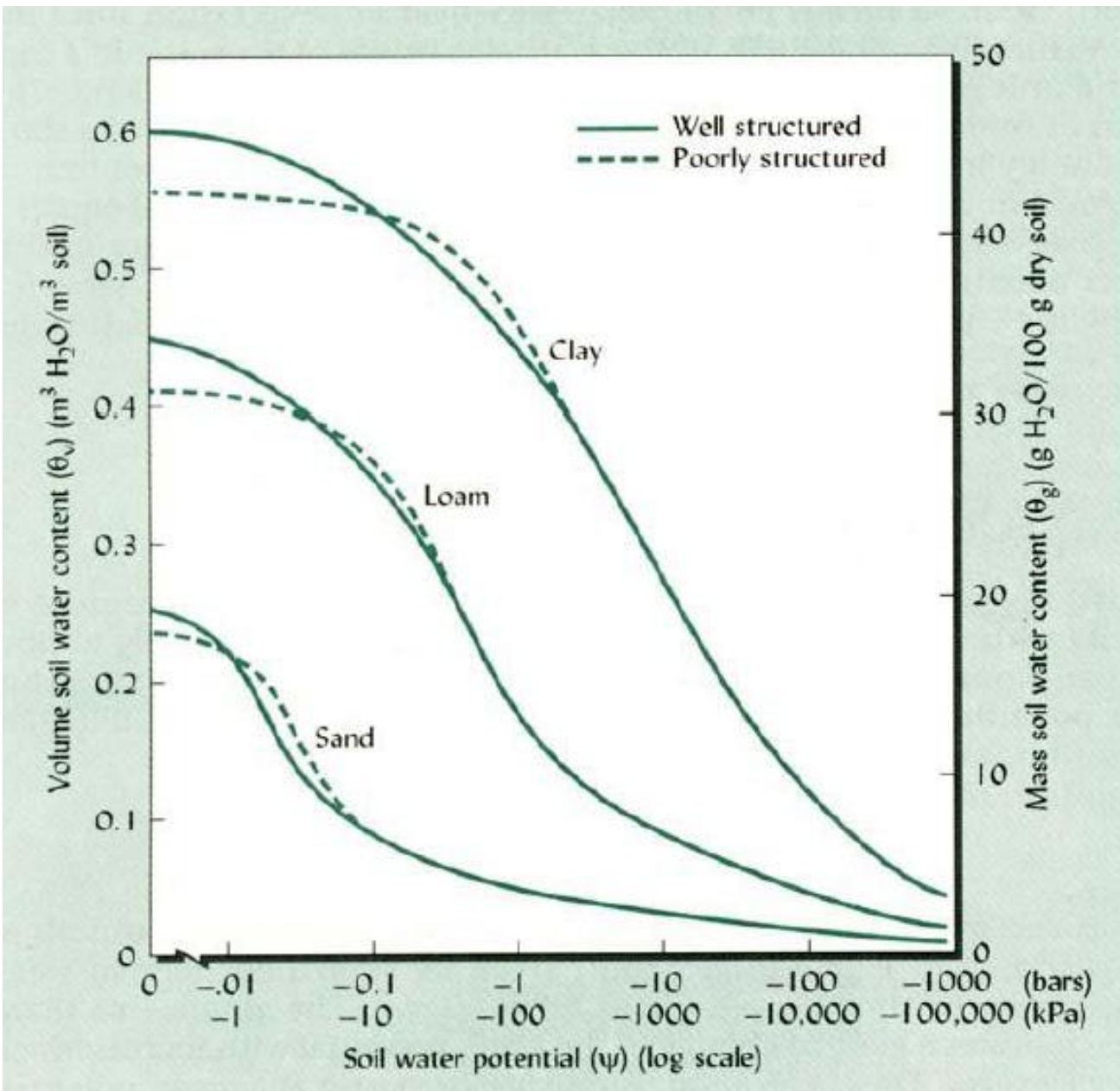
# Como medir o potencial matricial?

No laboratório: Panela de pressão com membrana de Richards



# Curva de retenção de água no solo







# Capacidade de campo e ponto de murcha permanente

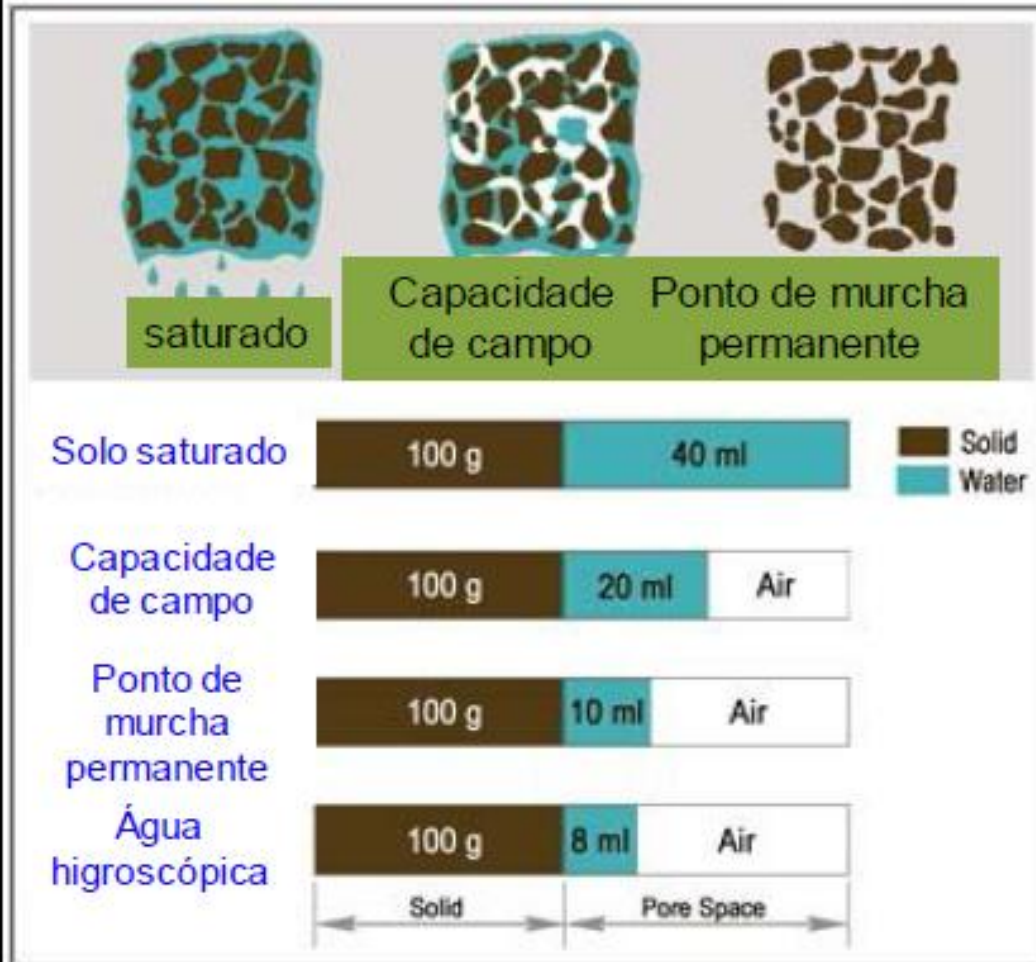
## Capacidade de campo

$\Psi = -0,01$  MPa  
(solos arenosos)

$\Psi = -0,033$  MPa  
(solos argilosos)

## Ponto de murcha permanente

$\Psi = -1,5$  MPa





## Capacidade de campo e ponto de murcha permanente

- A capacidade de campo (CC) é definida como a quantidade de água que um solo pode reter após a ocorrência da drenagem natural do perfil;
- O ponto de murcha permanente (PMP) é definido pelo conteúdo de água no solo quando ocorre o murchamento das plantas em crescimento, mesmo que estas sejam colocadas em um ambiente saturado com água.

## Disponibilidade de água às plantas

$$AD = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \times P, \text{ onde :}$$

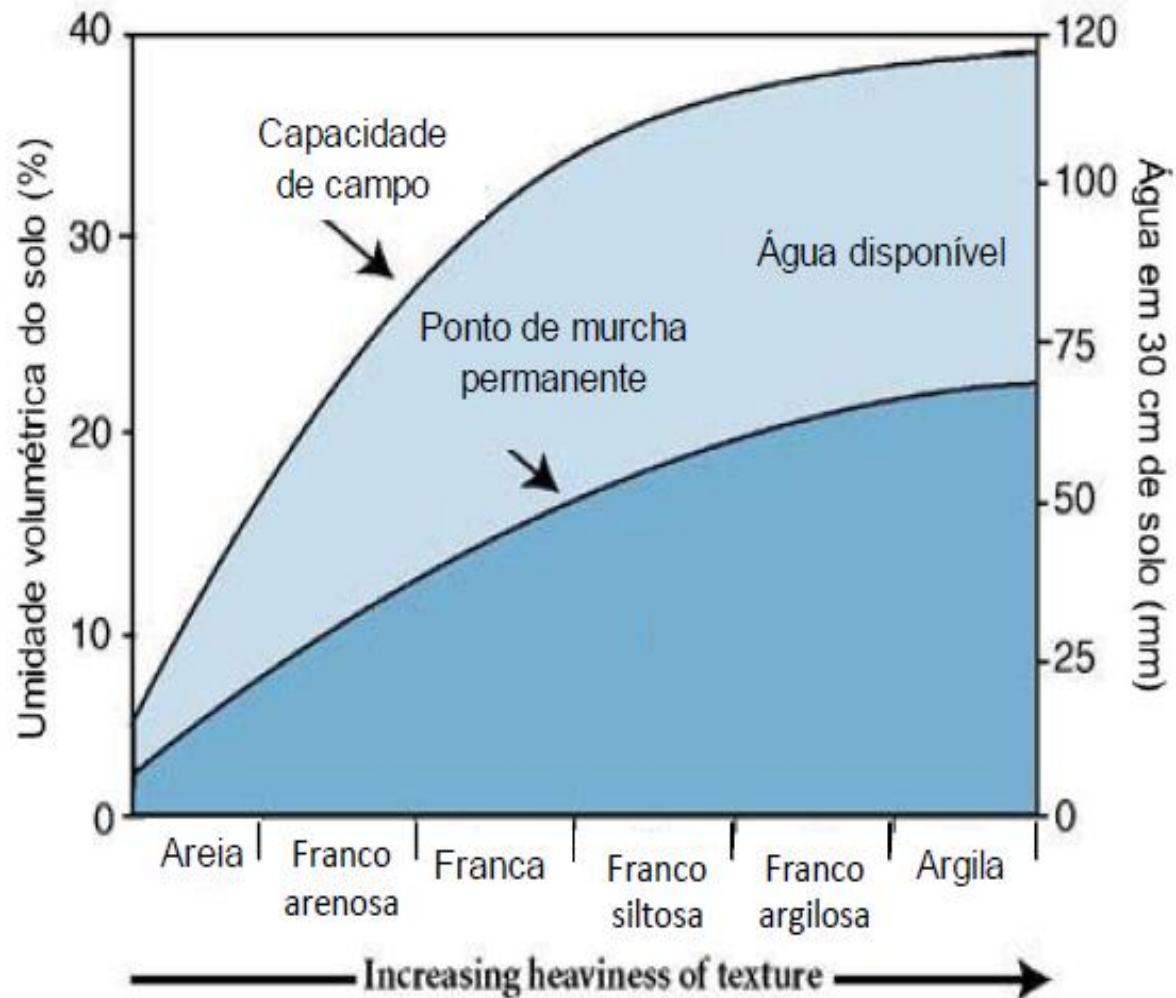
AD = água disponível (mm)

$\theta_{CC}$  = Umidade volumétrica na capacidade de campo

$\theta_{PMP}$  = Umidade volumétrica no ponto de murcha permanente

P = profundidade do solo explorada pelas raízes

## Efeito da textura sobre a CC, PMP e AD



Adapted from Brady and Weil, 1996

# Distribuição de poros

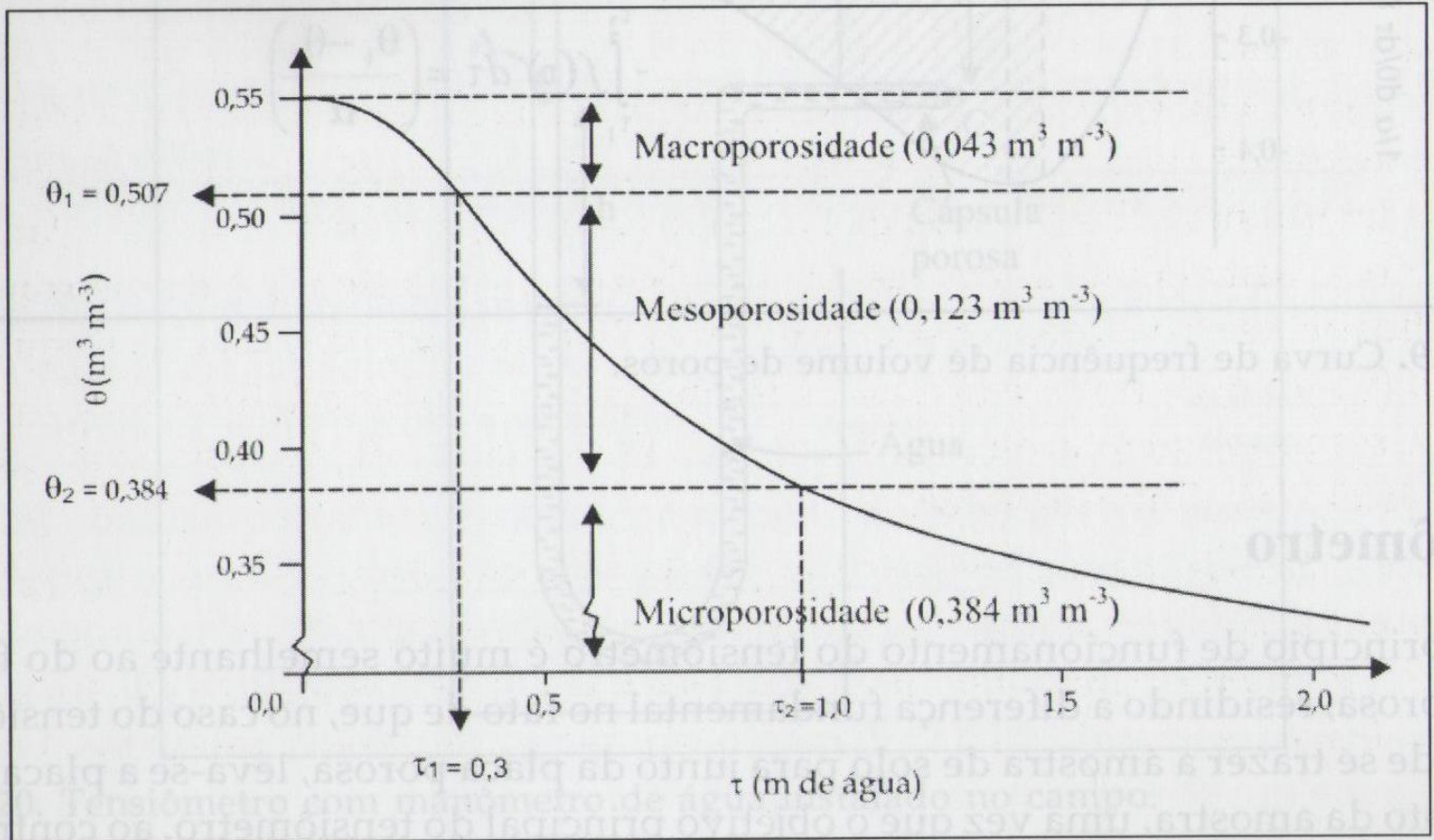


Figura 17. Curva de retenção da água no solo.

# Distribuição de poros

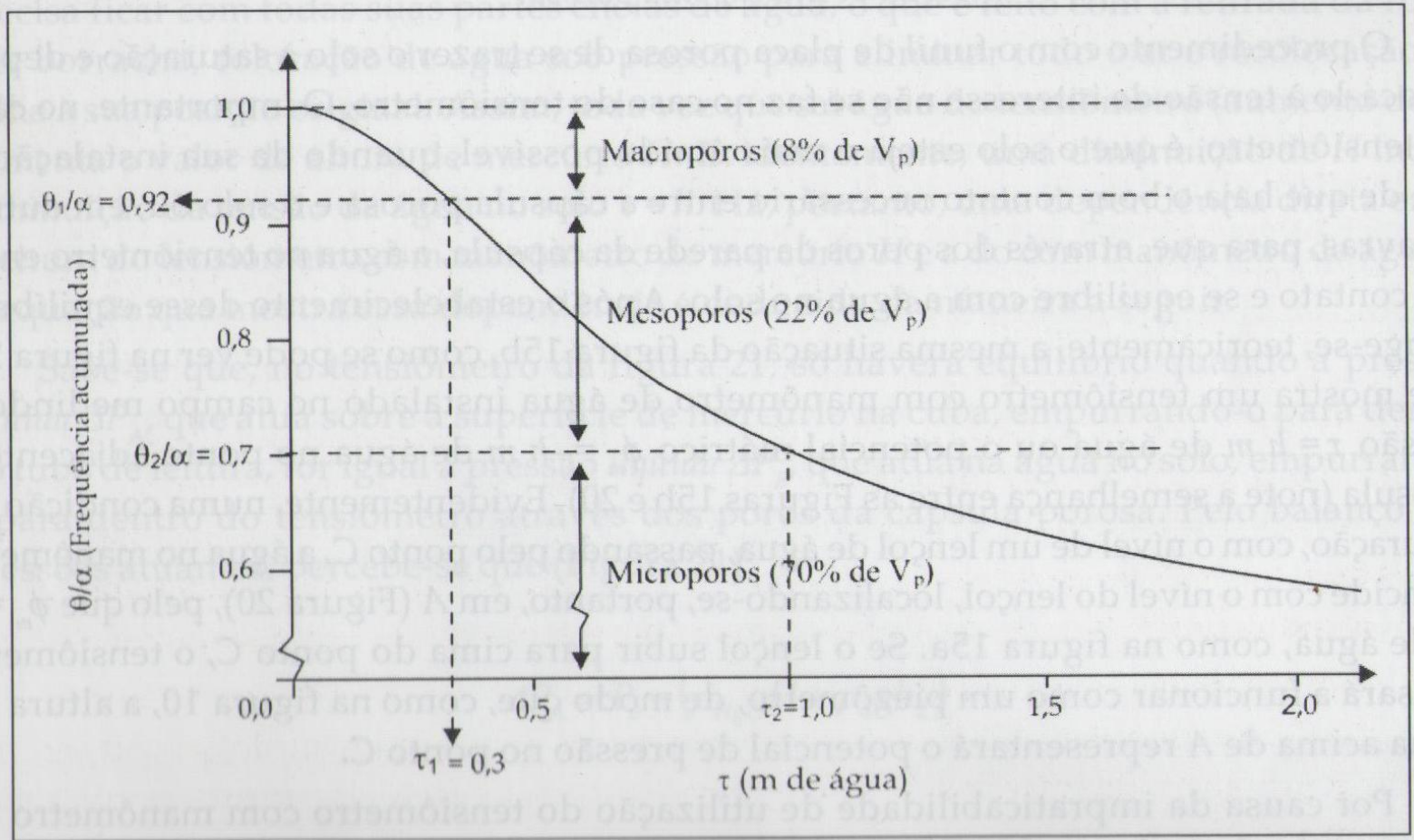


Figura 18. Curva de distribuição de frequência de volume de poros.



# **Determinação da Curva de retenção de água no solo**

# Obtenção da curva de retenção de água no solo

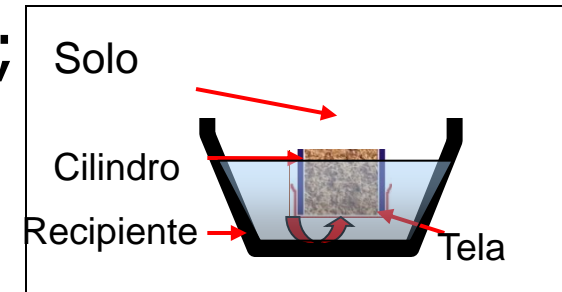
## Amostragem



## Laboratório:

- ✓ Excesso de solo;
- ✓ Tela permeável;

## Saturação



## Curva de Retenção de água no solo

Pressões: 0,002; 0,004, 0,006; 0,008; 0,01; 0,03; 0,05; 0,07; 0,1; 1,5 MPa.