



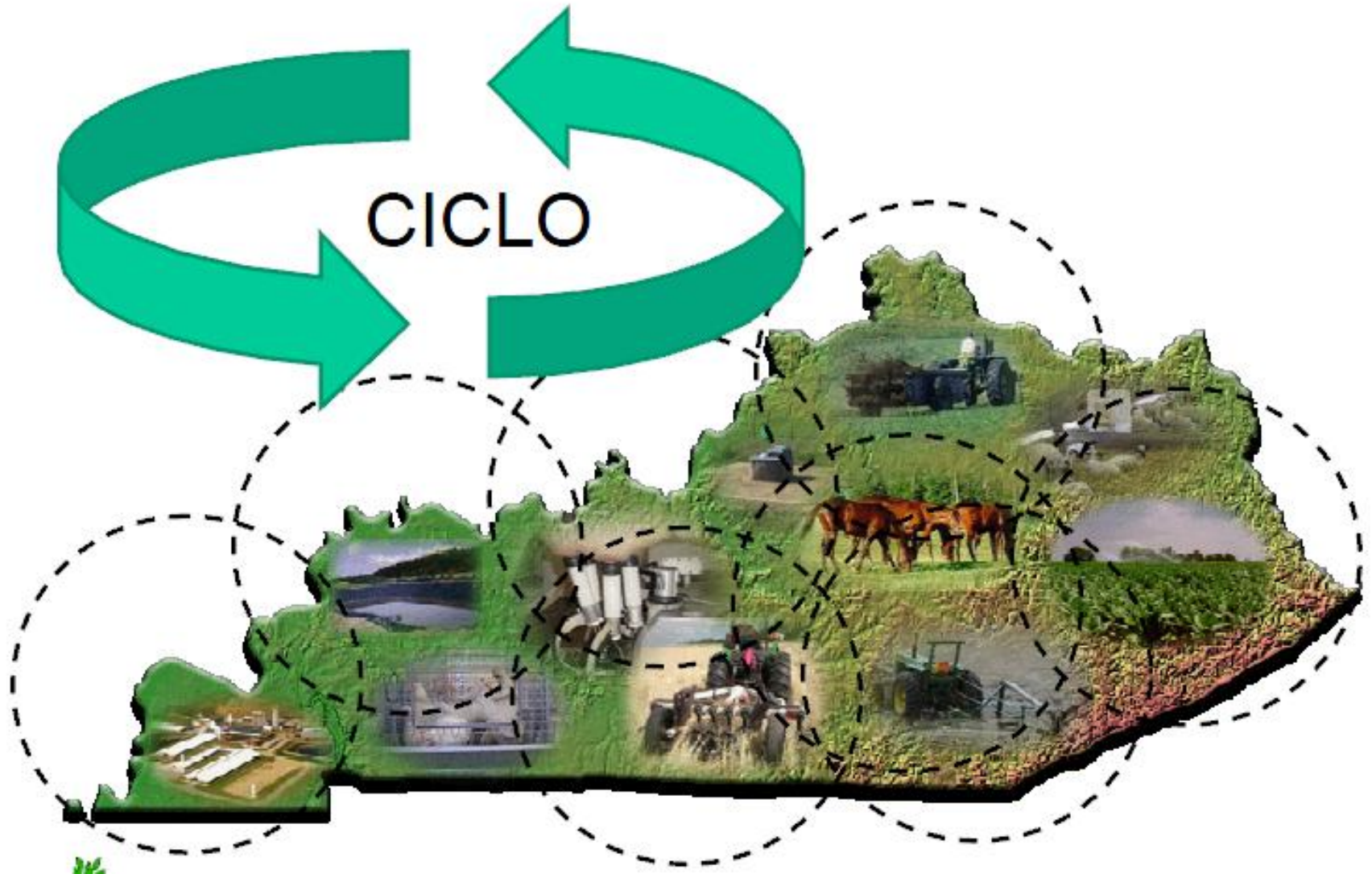
ÁGUA DO SOLO

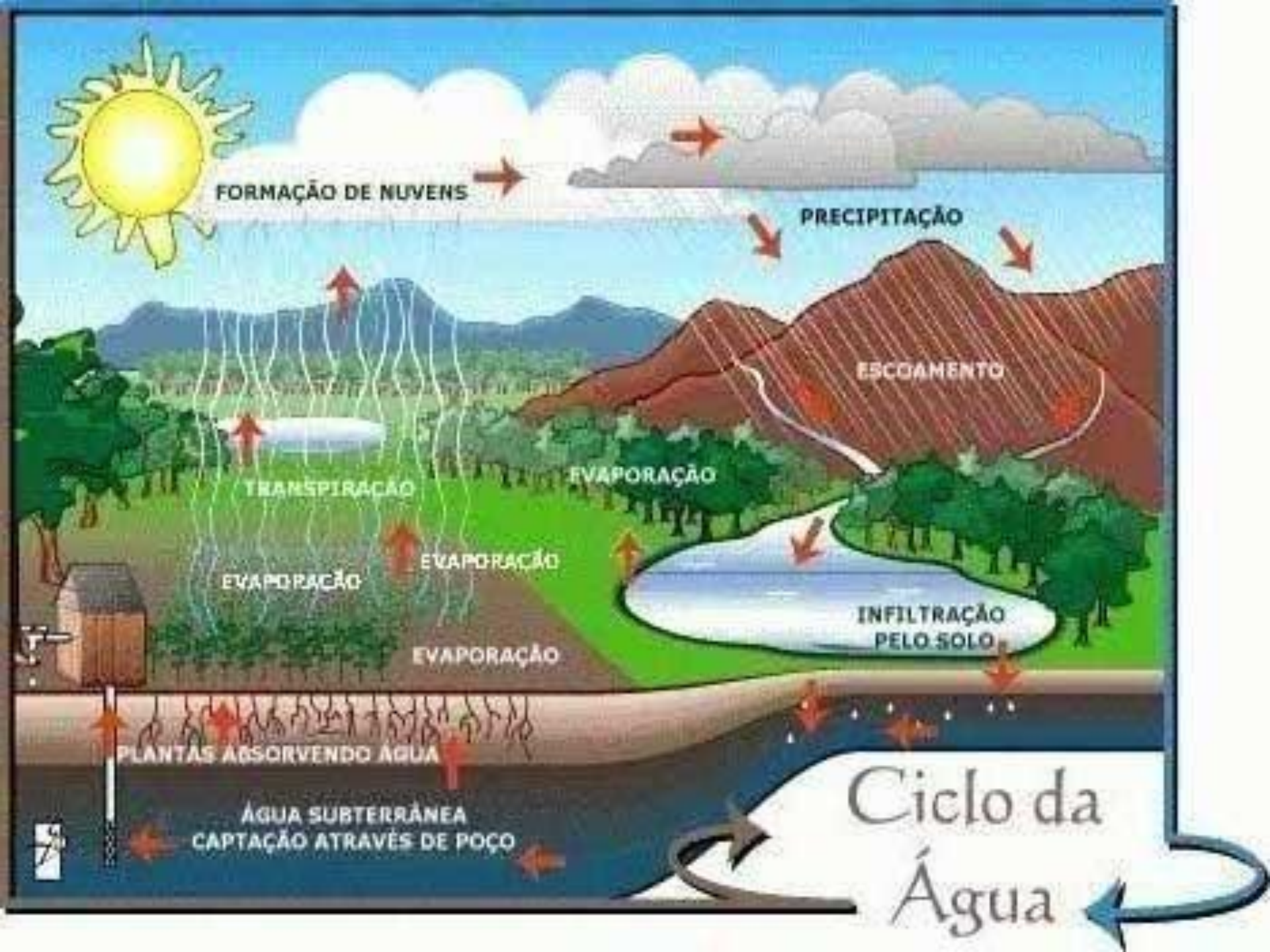
Aula 9

Prof. Miguel Cooper

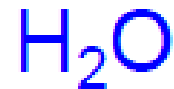
CONCEITO E IMPORTÂNCIA DO USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA

Qual a importância de estudar a água no solo?

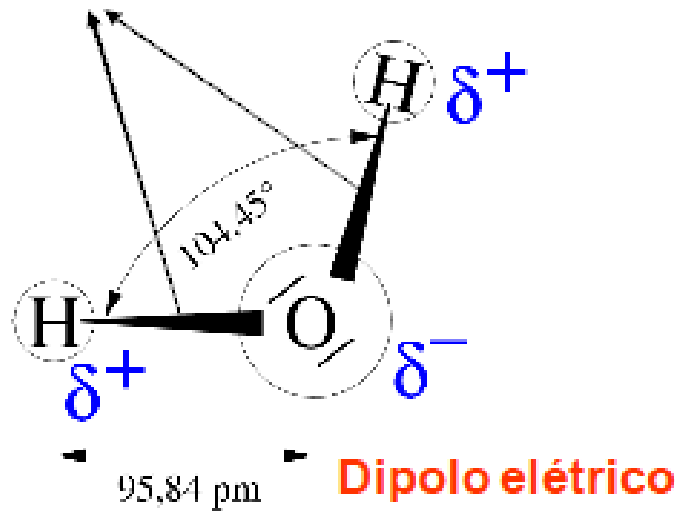




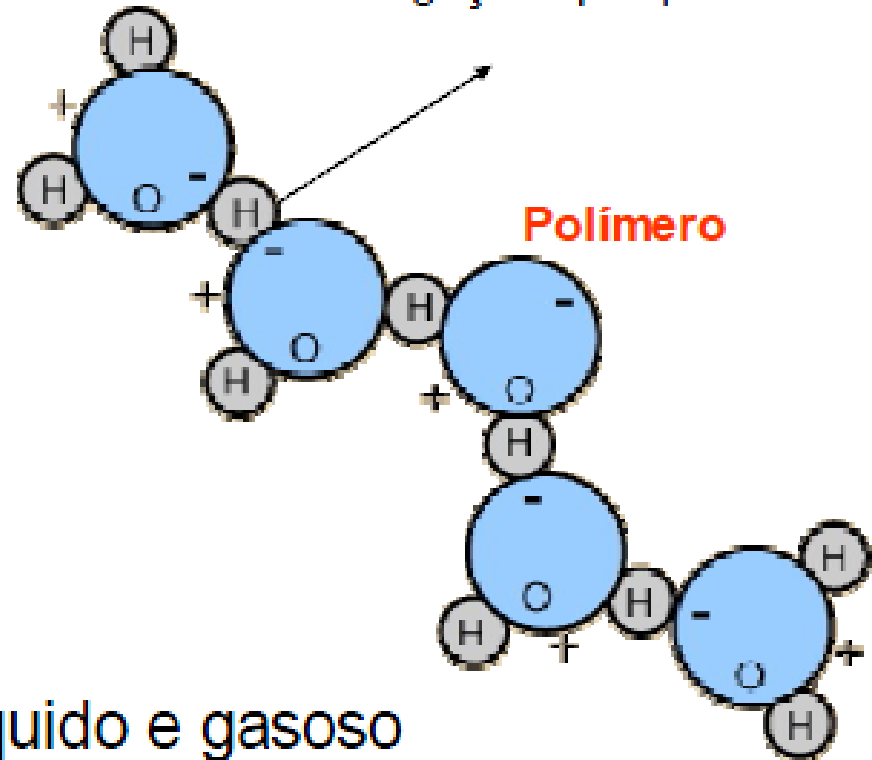
Estrutura Molecular da Água



Ligações covalentes



Ligações por pontes de H



Estados físicos: sólido, líquido e gasoso

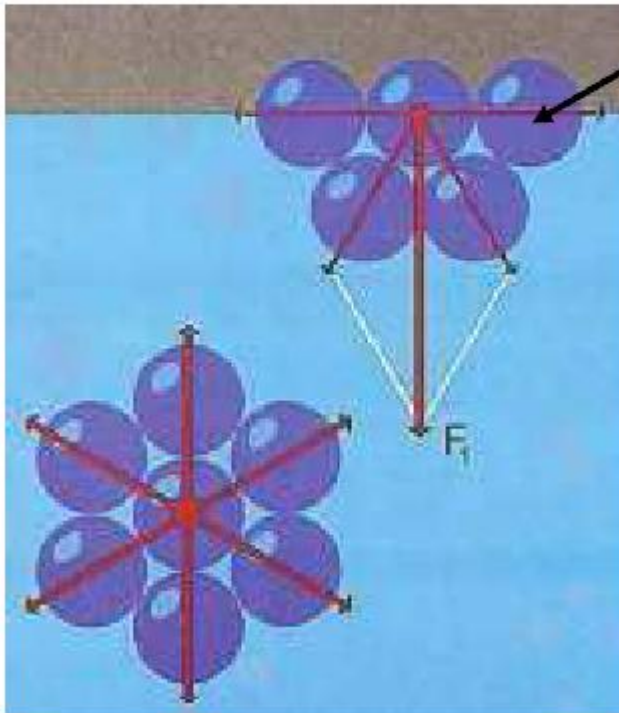
Ponto de ebulição: 100 °C

Ponto de fusão: 0 °C

TENSÃO SUPERFICIAL

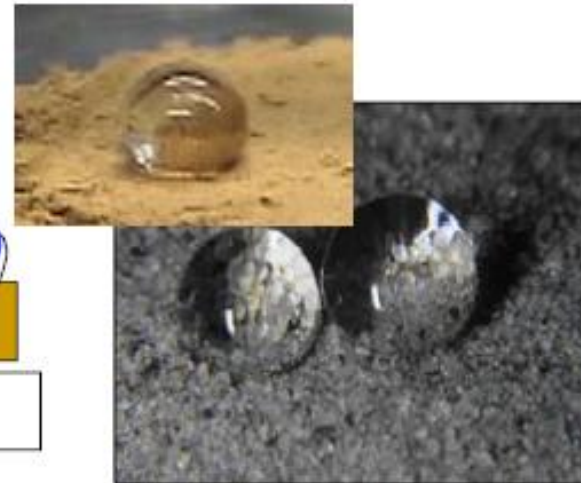
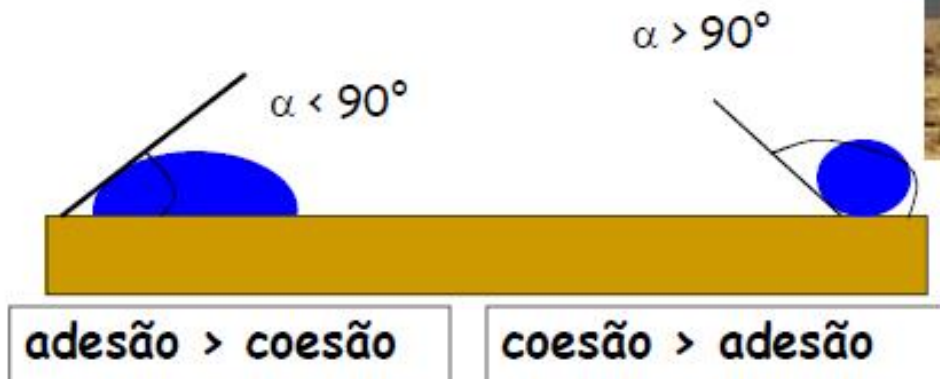
- Fenômeno típico de uma interface líquida-gás;
- É a medida da resistência à formação de uma membrana elástica em uma interface líquida-gás;

*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;



Hidrorepelência

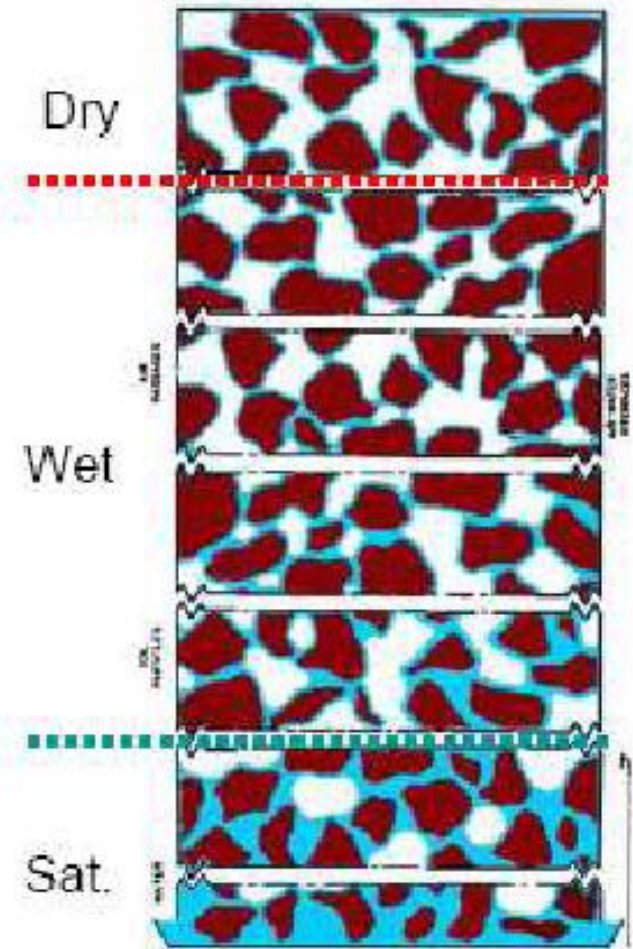
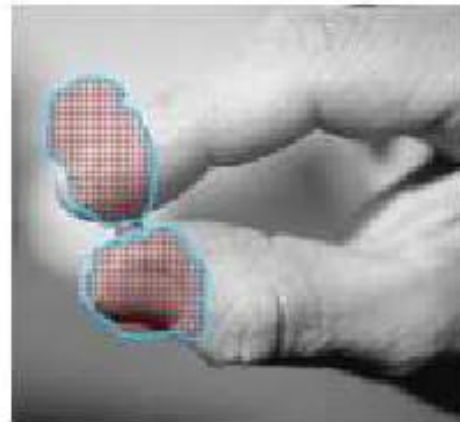
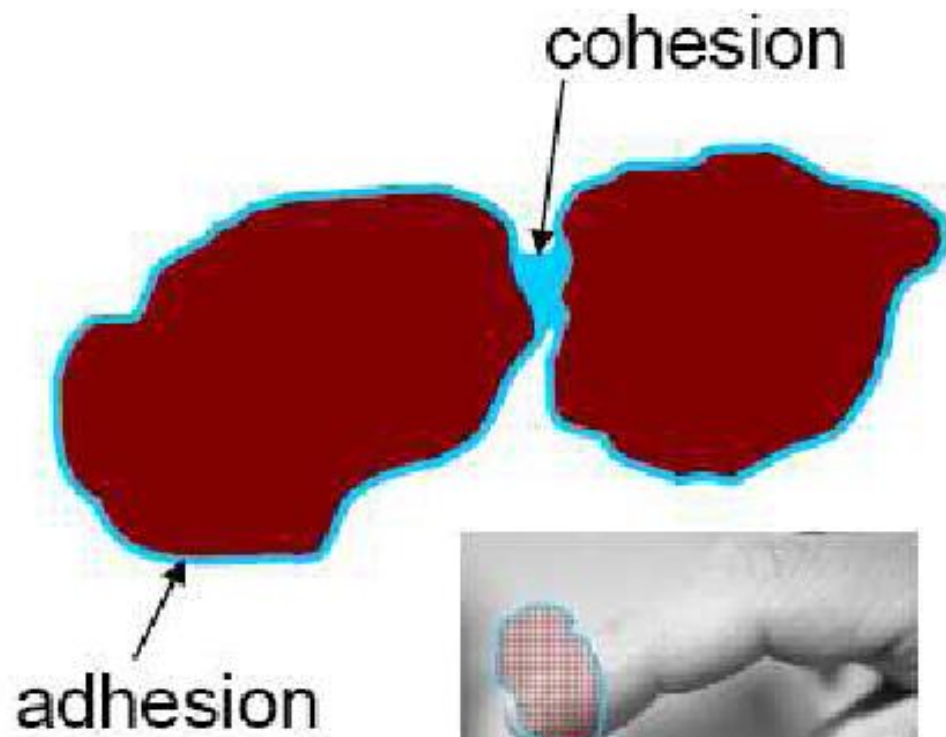
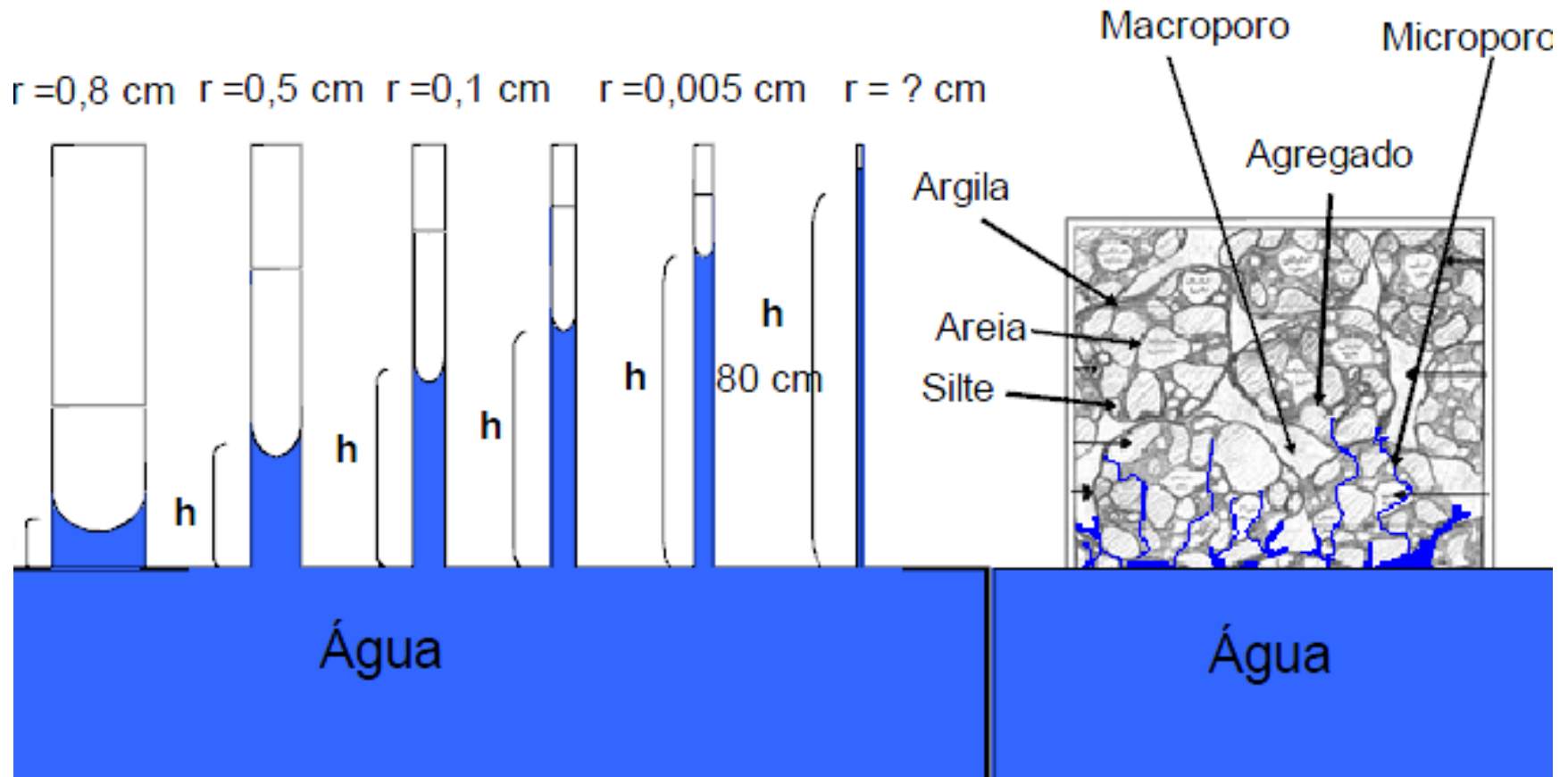


Fig. 1-22. Air-water interfaces in soil. (Gardner and)

EQUAÇÃO FUNDAMENTAL DA CAPILARIDADE

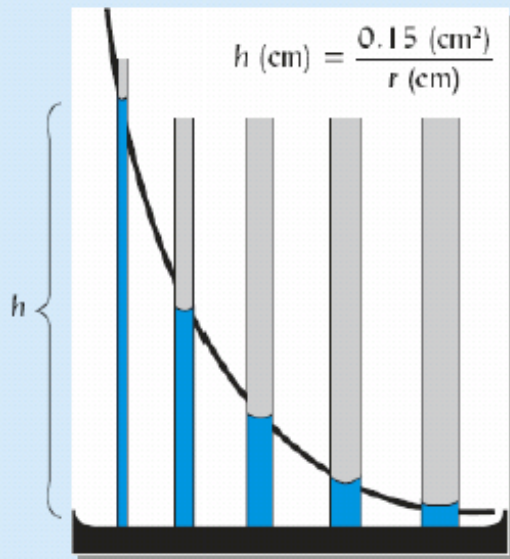
$$h = \frac{2\lambda \cos \theta}{r \cdot d \cdot g}$$

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



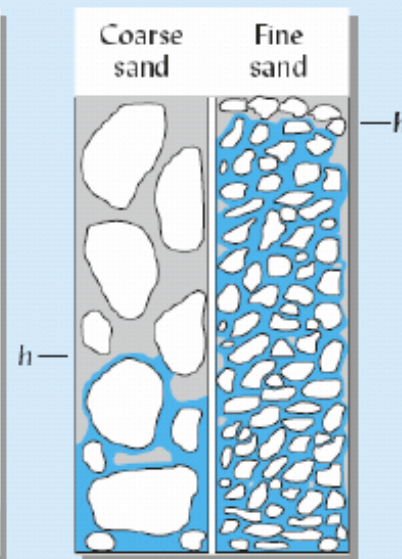
ASCENSÃO CAPILAR X TEXTURA

Water movement by capillarity

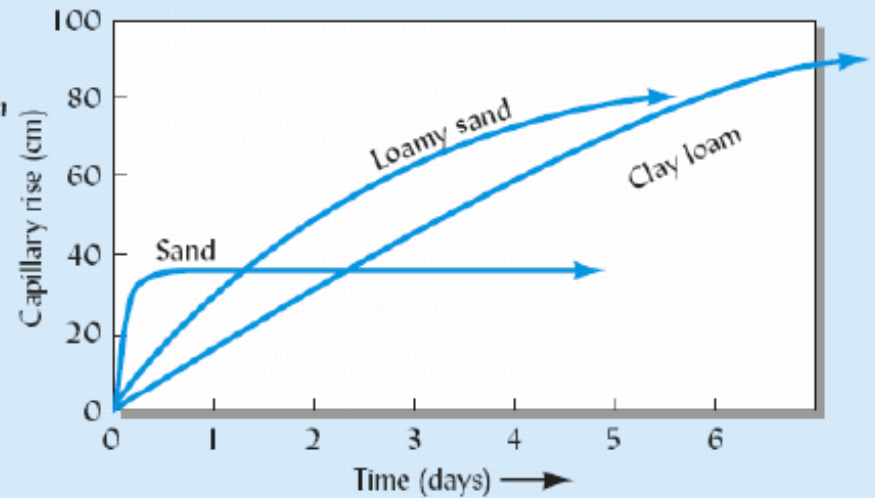


Radius of tube

(a)



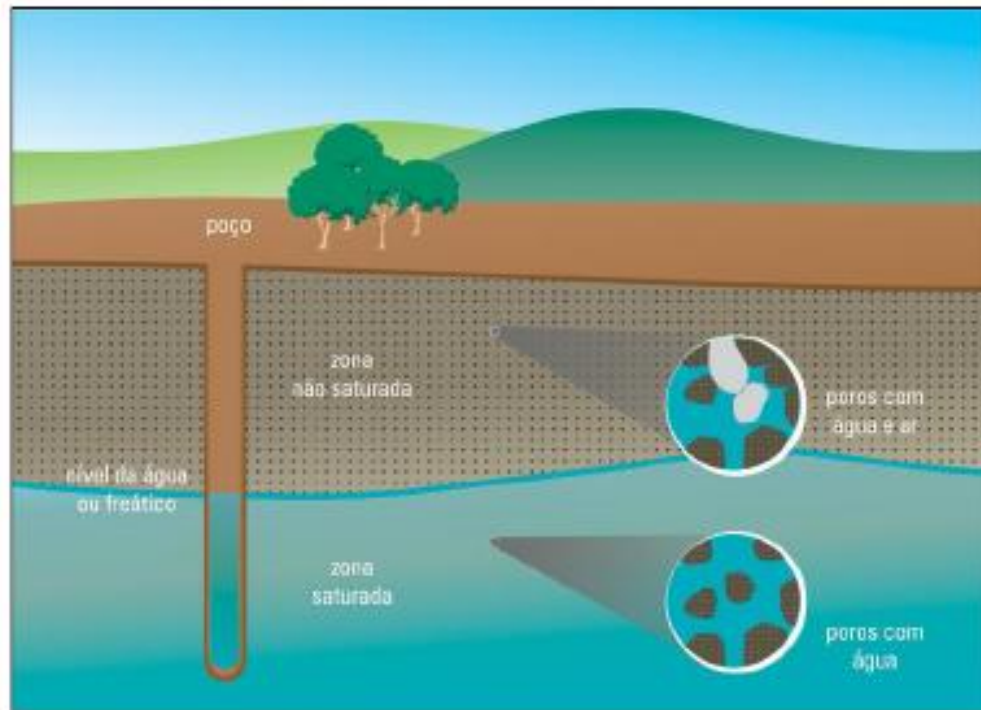
(b)



(c)

Água no solo (solução do solo)

solução: água + nutrientes + elementos tóxicos ...



Solo = meio trifásico

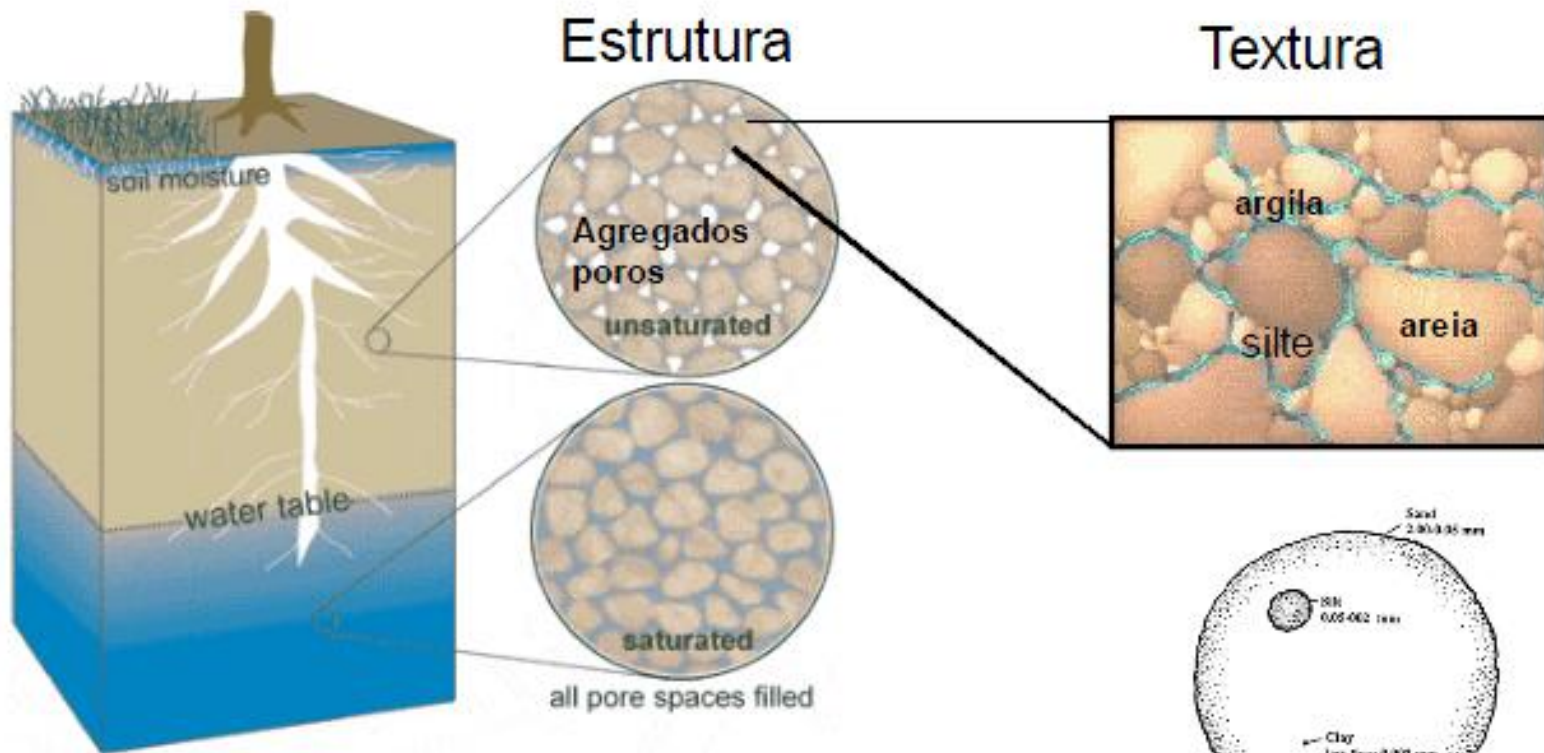
- Fase sólida
 - Fase líquida
 - Fase gasosa
- } POROS

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:

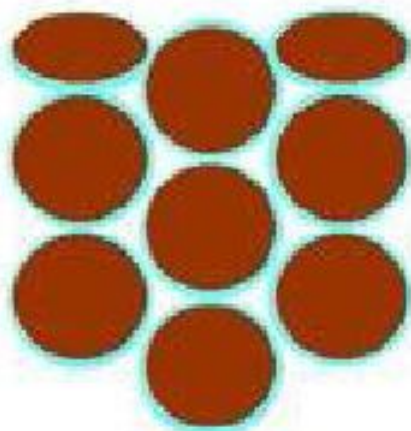
- Adesão
- Coesão
- Tensão superficial
- Capilaridade
- Adsorção



Difícil de ser quantificado no solo

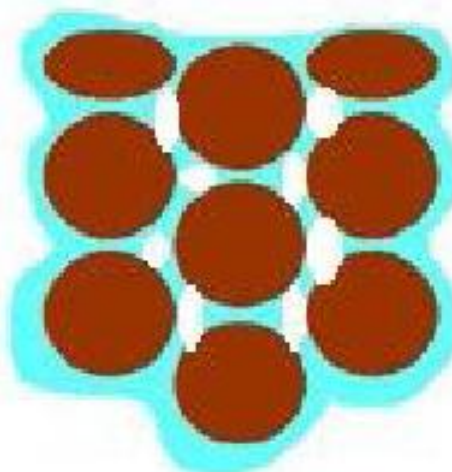
Ciclo de umedecimento e secagem do solo

Água higroscópica



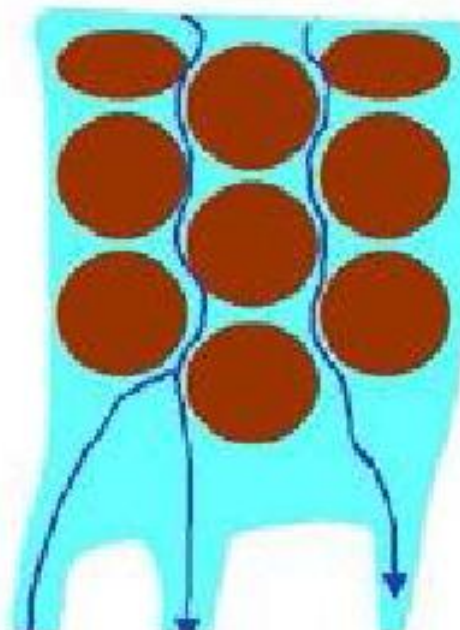
Água adsorvida na superfície das partículas

Água capilar



Água retida nos Microporos (< 50 μ m)

Água gravitacional



Água retida nos Macroporos (> 50 μ m)

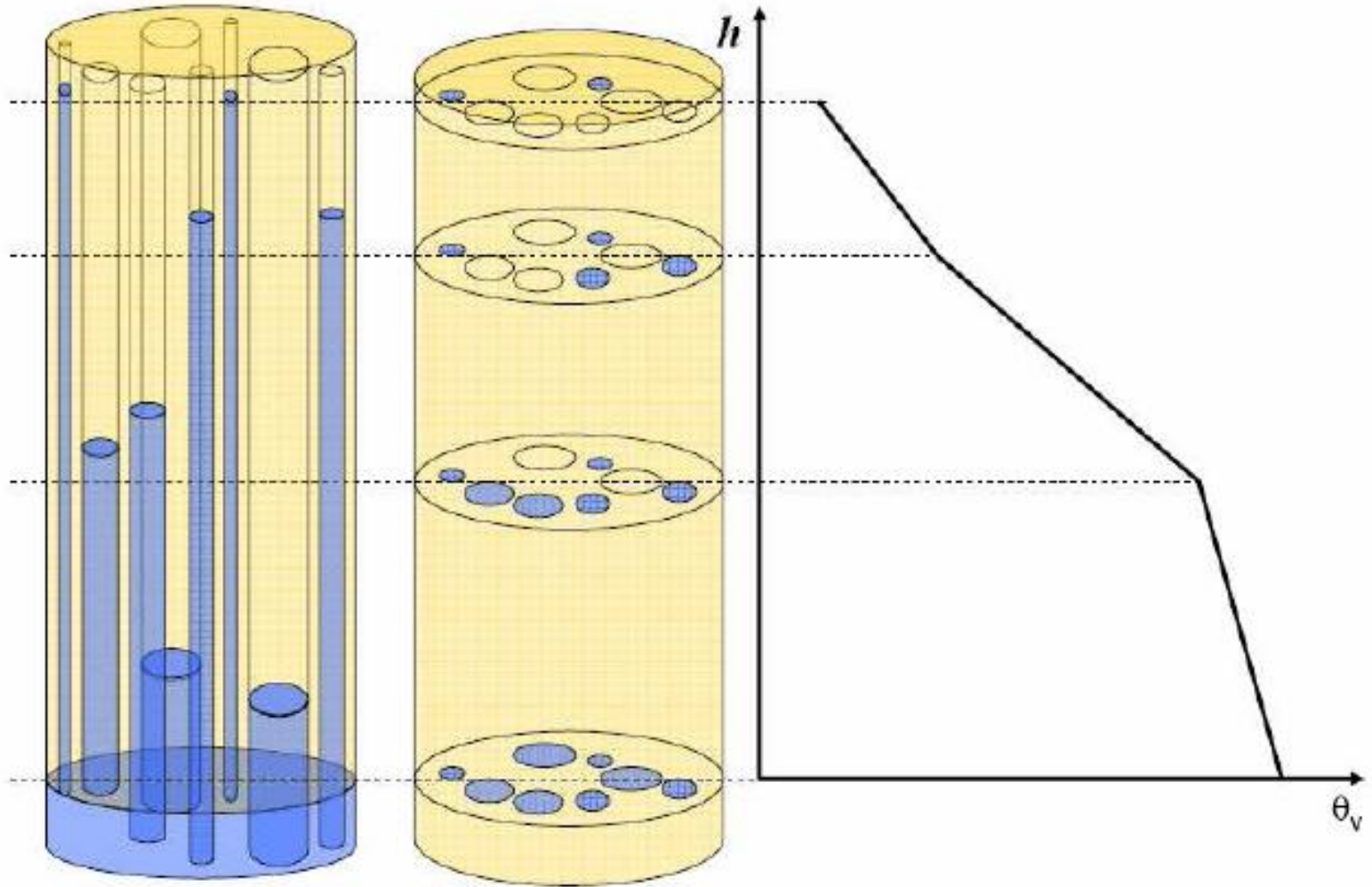
Capilaridade (poros)



Adsorção (ASE)



Retenção de Água e Porosidade do Solo



REVISÃO

RELAÇÕES MASSA-VOLUME

Parâmetros das relações massa-volume

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

– 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

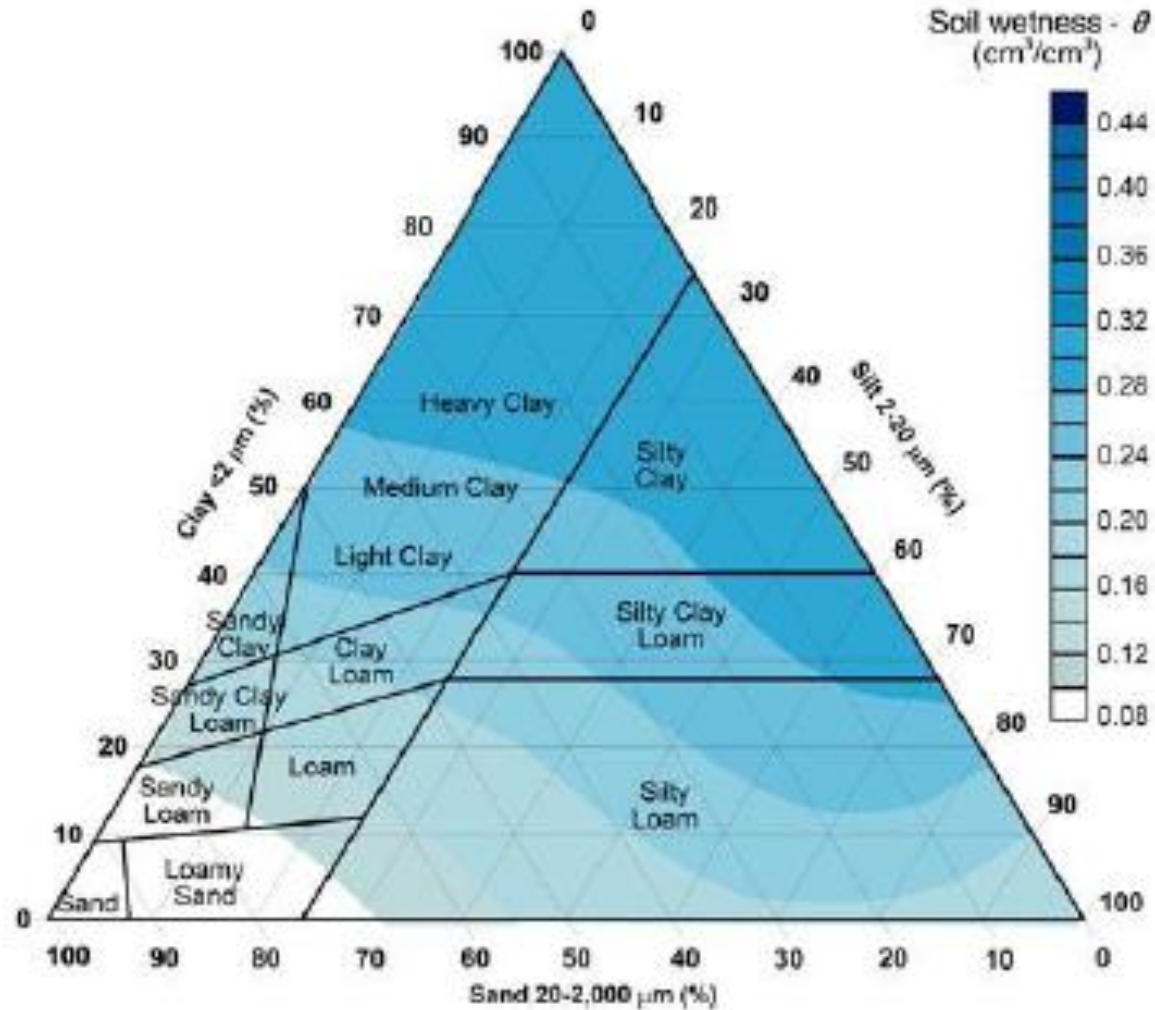
- Porosidade e densidades do solo e de partículas

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

- 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:

Ψ_T = potencial total da água no solo

Ψ_g = potencial gravitacional

Ψ_m = potencial matricial

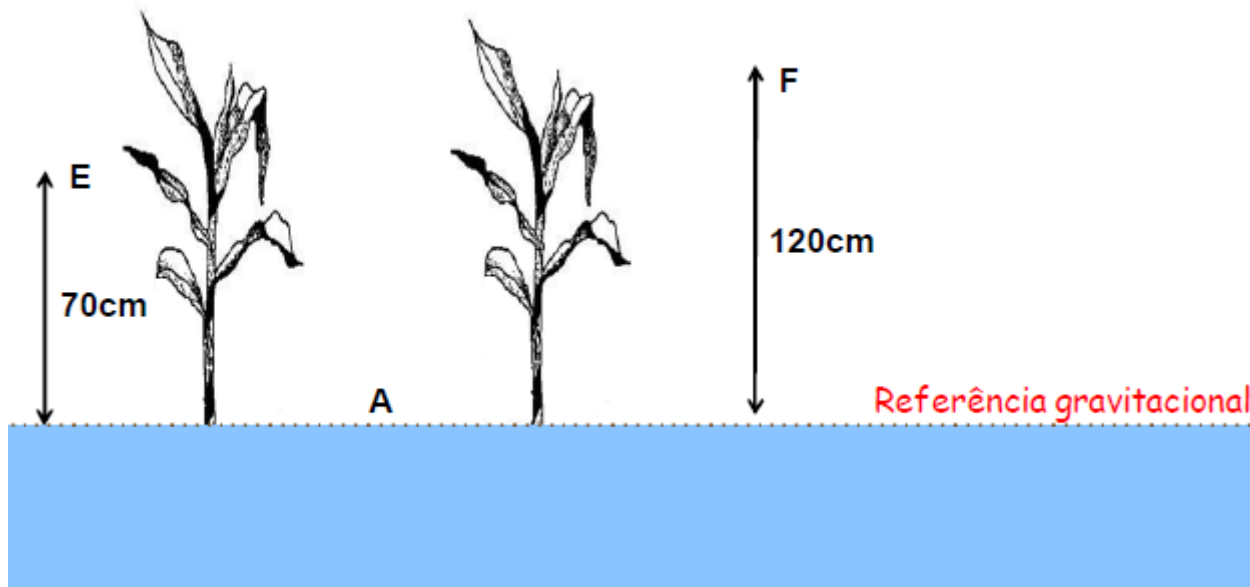
Ψ_p = potencial de pressão

Ψ_{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.

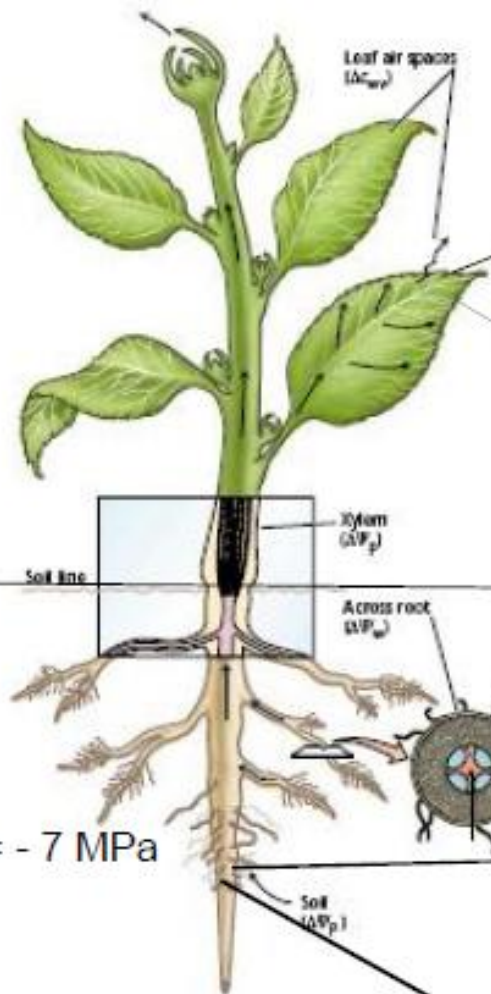


POTENCIAL OSMÓTICO

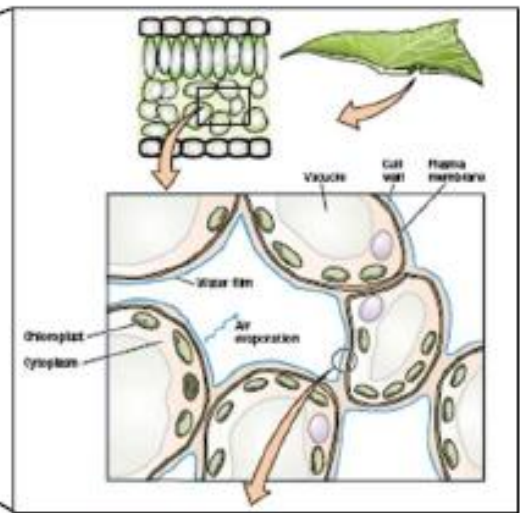
- ❖ Quantidade de energia necessária para transportar uma unidade de água pura do nível de referência até um ponto onde a concentração de solutos na solução é diferente da água pura;
- ❖ Na água do solo ou solução do solo estão dissolvidos minerais e substâncias orgânicas que lhe conferem um estado energético 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

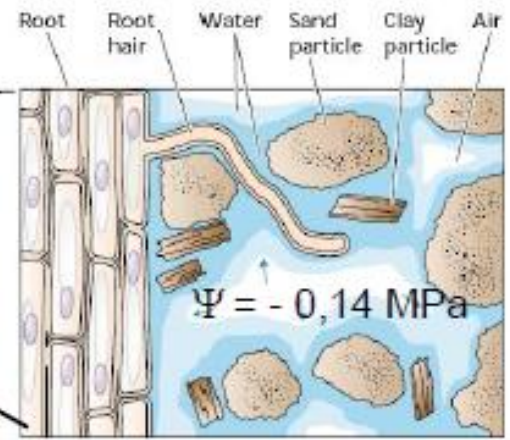
- ❖ Representa a interação entre a **matriz do solo** (granulometria, estrutura e poros) e a água;
- ❖ O potencial matricial descreve a contribuição das forças de retenção da água no solo associadas com suas interfaces líquido-ar e sólido-líquido (adesão, coesão, tensão superficial e capilaridade);
- ❖ 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 %
 $\Psi = - 39,5 \text{ MPa}$



$\Psi = - 7 \text{ MPa}$



Como medir o potencial matricial?

No campo: tensiômetro



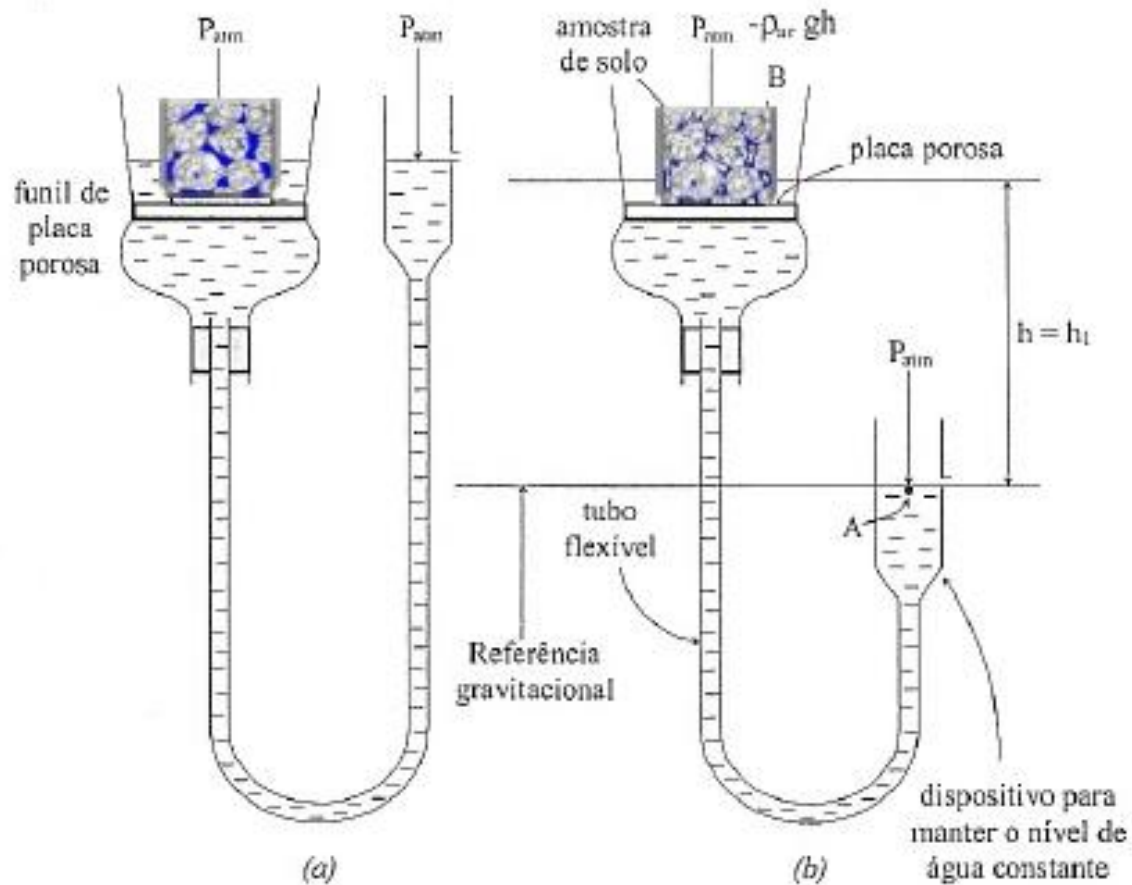
Capacidade de medida = tensões de até 8 m ou 80 kPa

Leitura automática da tensão: tensímetro



Como medir o potencial matricial?

No laboratório: Funis de placa porosa

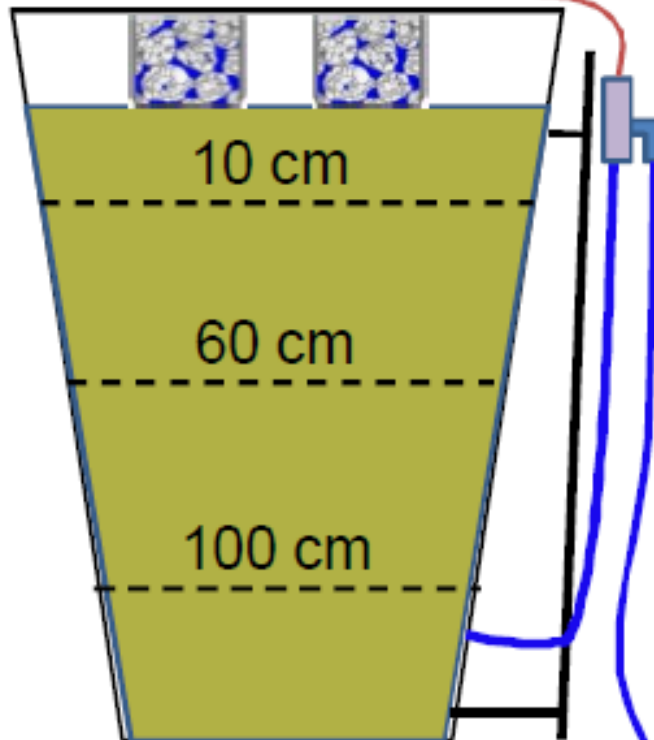


Capacidade de medida = tensões de 0,1 m até 3m

Como medir o potencial matricial?

No laboratório: coluna de areia e mesa de tensão

Torneira



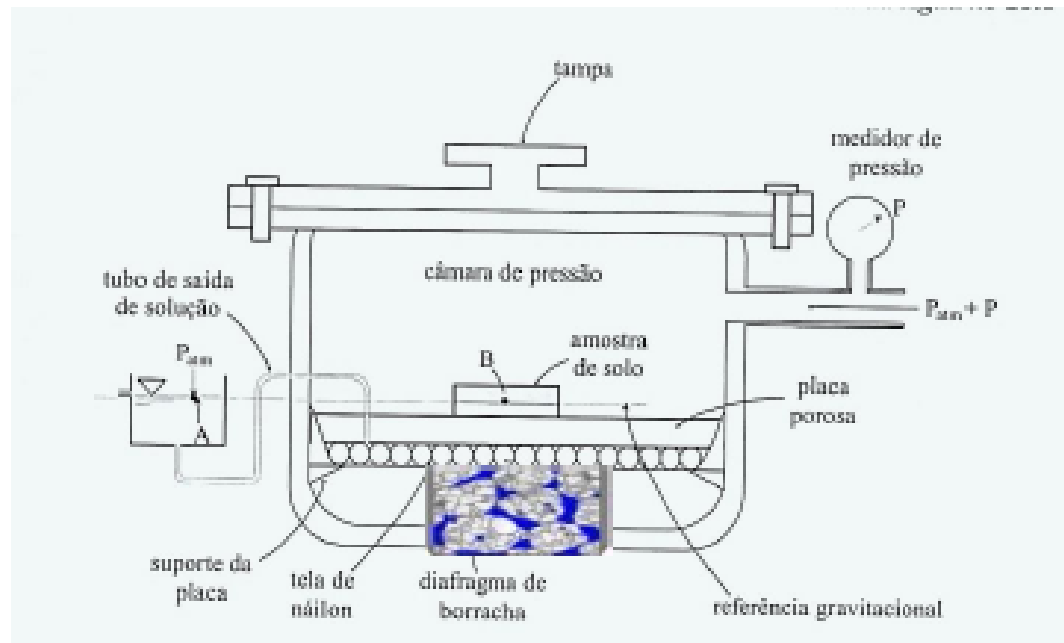
Capacidade = 100 amostras

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

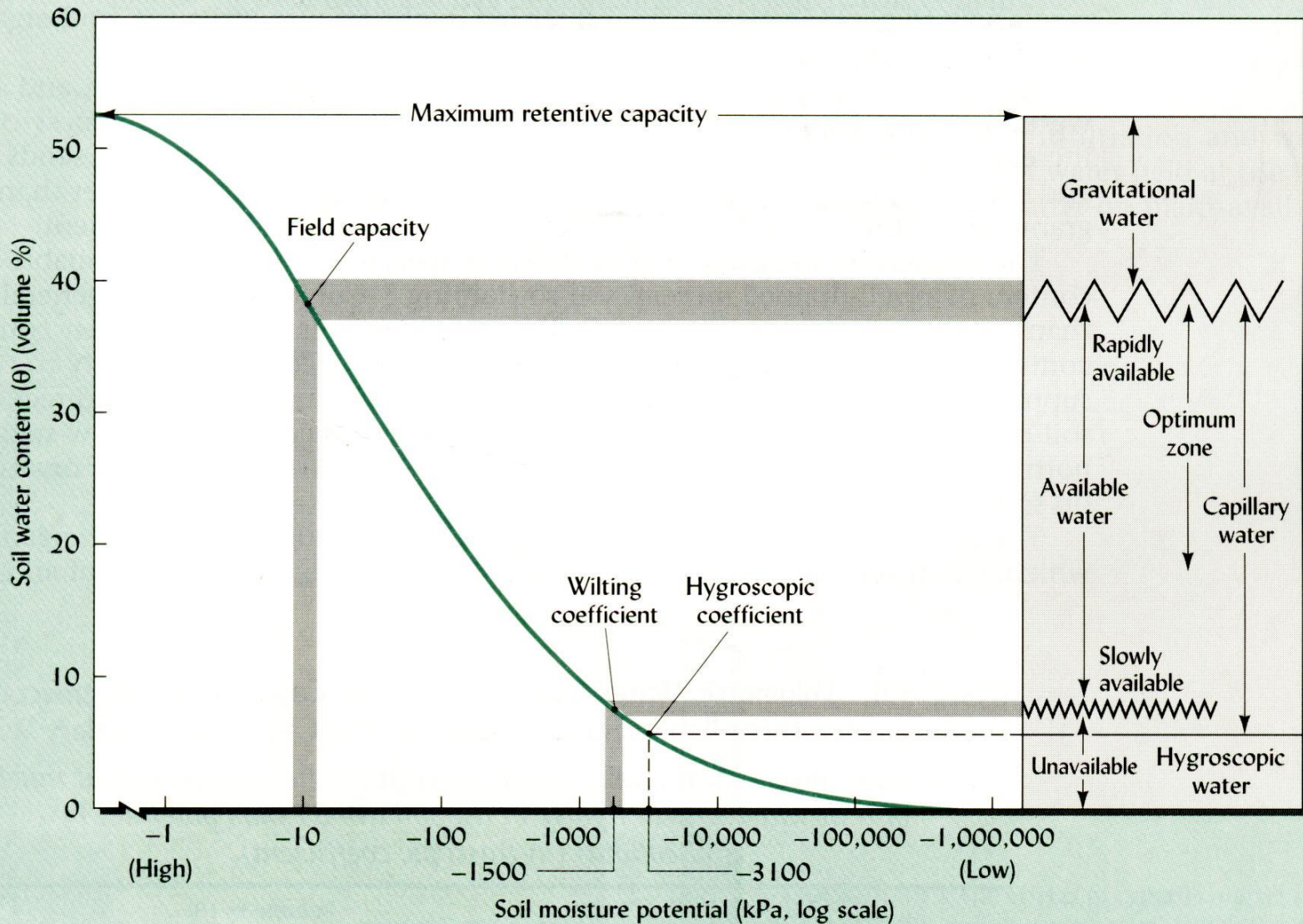
Vertedouro

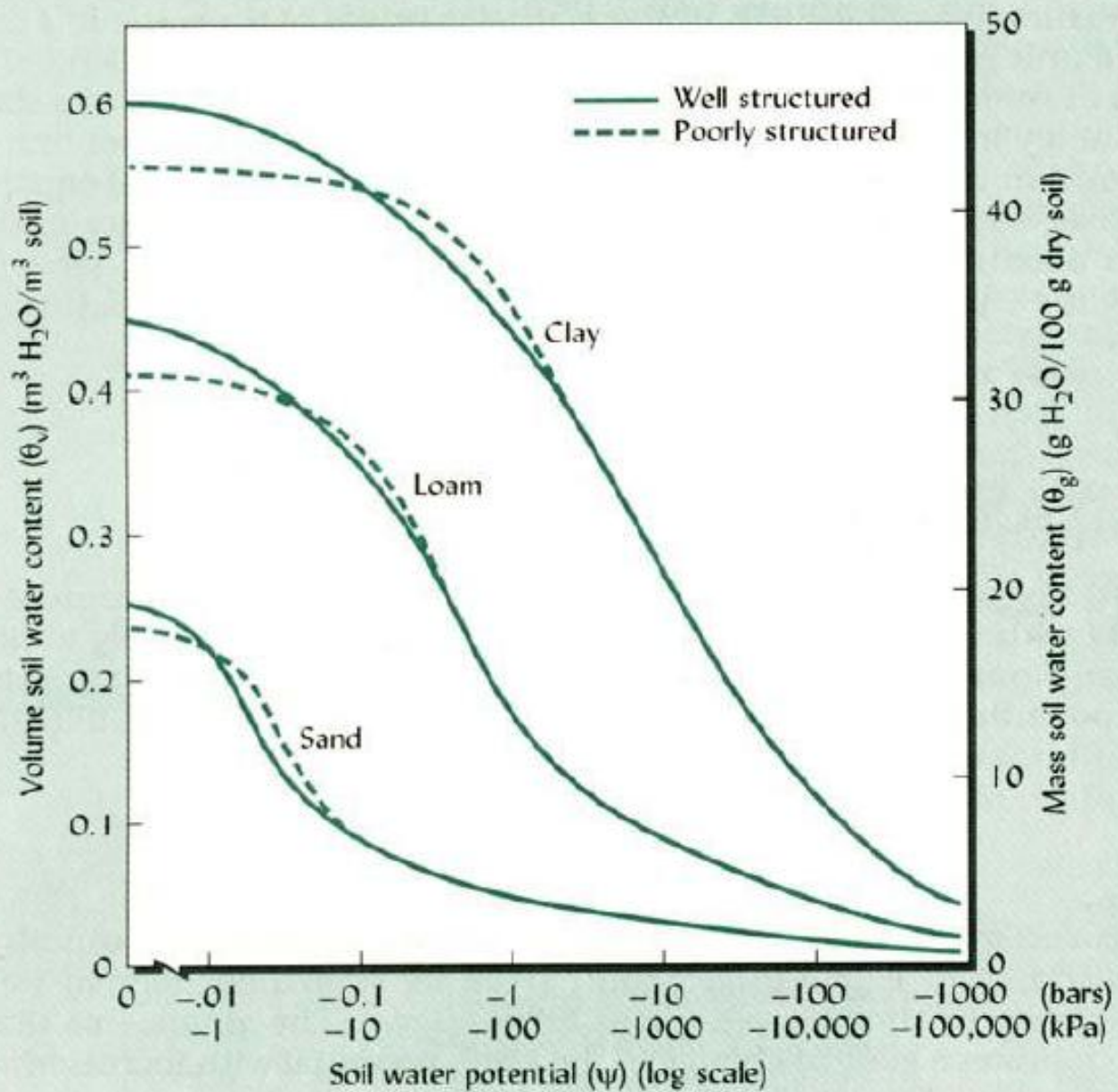
Como medir o potencial matricial?

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

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

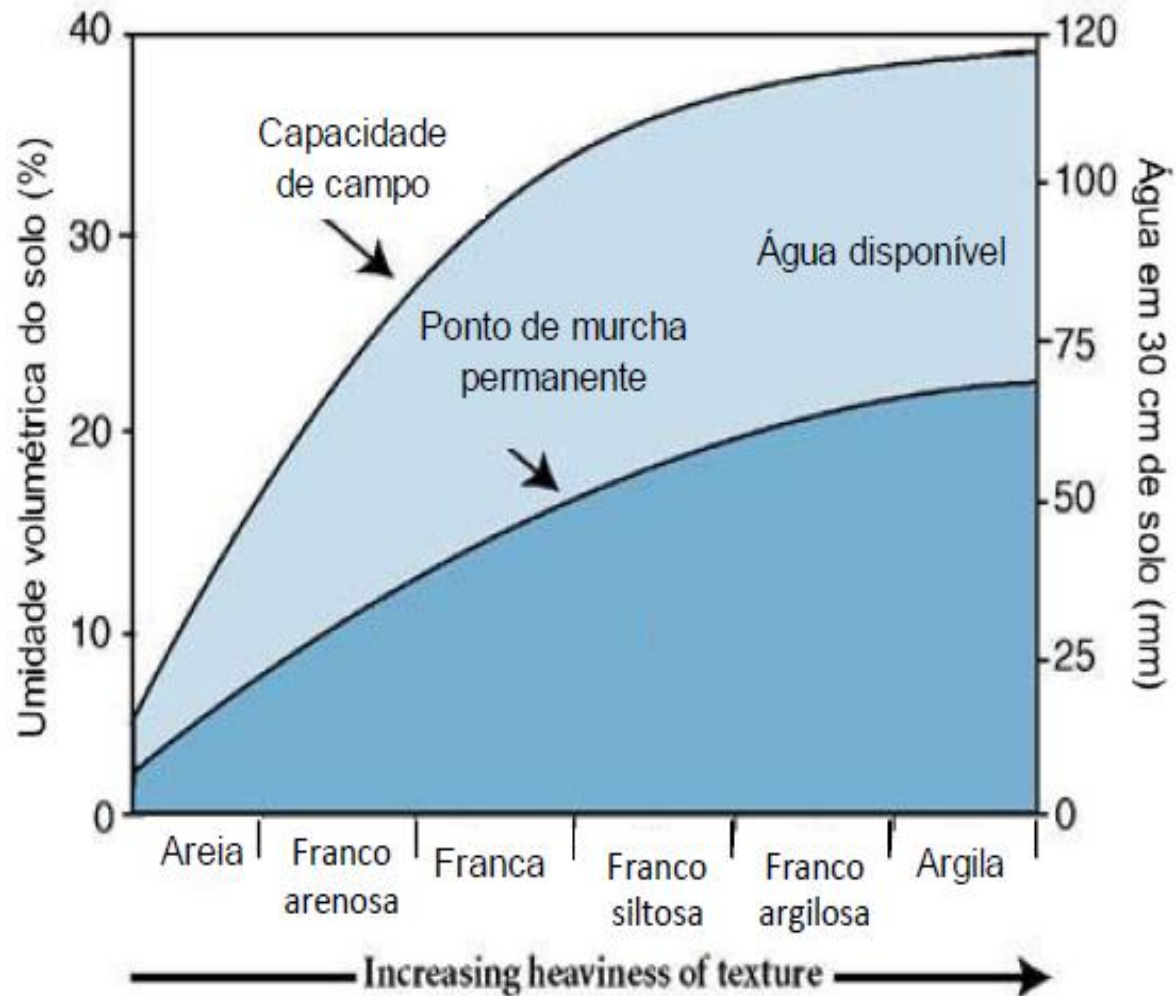
AD = água disponível (mm)

θ_{CC} = Umidade volumétrica na capacidade de campo

θ_{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

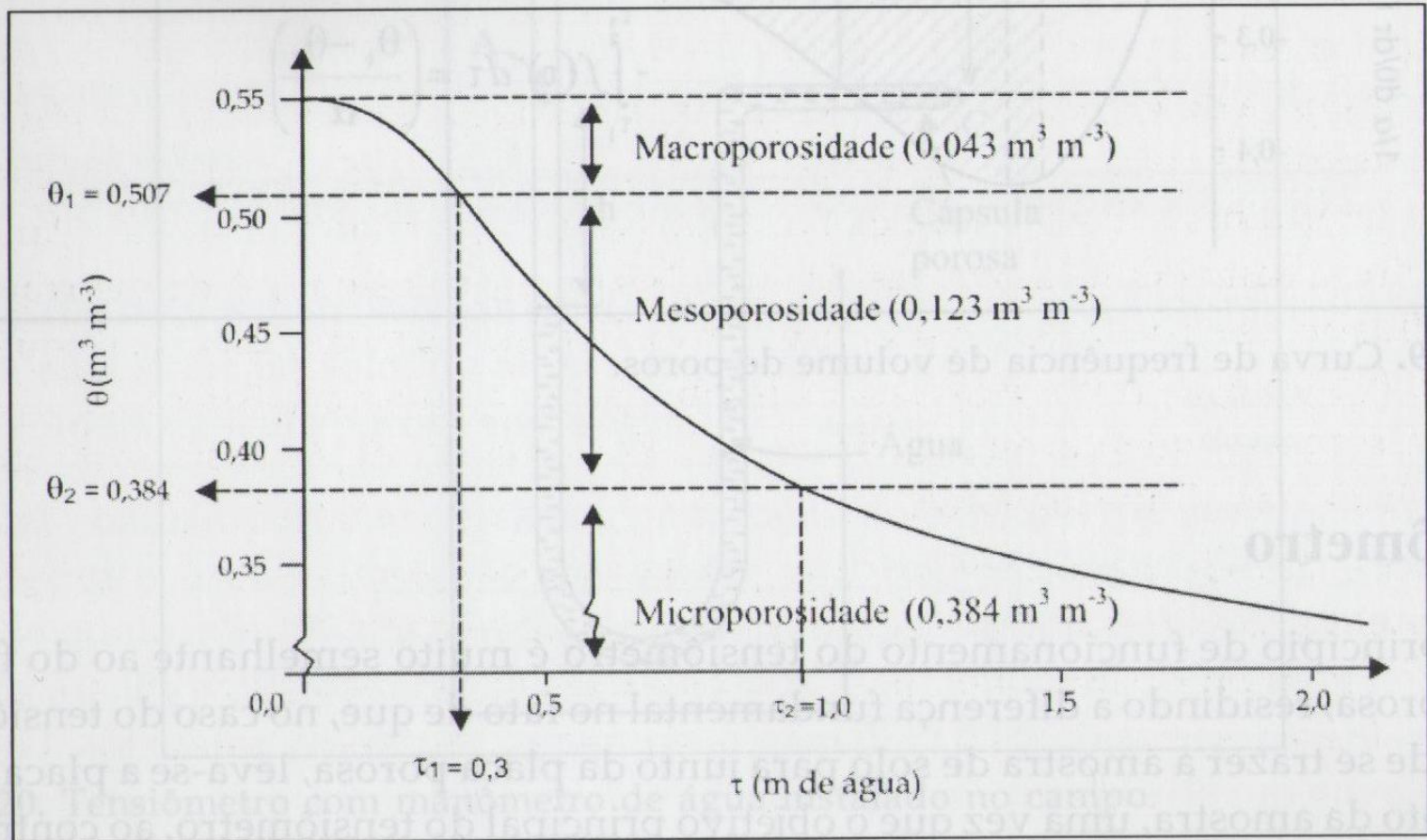


Figura 17. Curva de retenção da água no solo.

Distribuição de poros

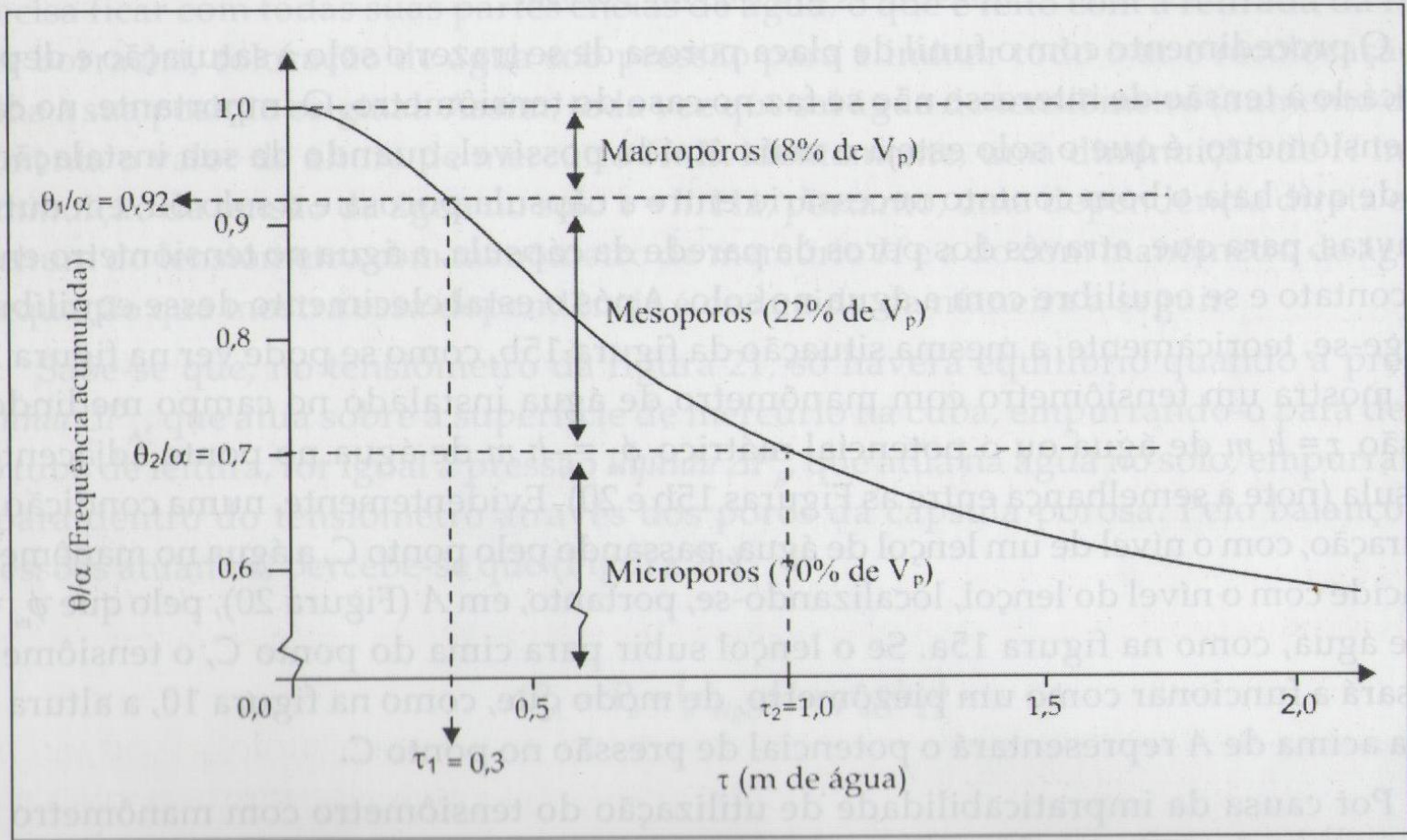


Figura 18. Curva de distribuição de frequência de volume de poros.