



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Departamento de Ciência do Solo

LSO - 0257 - Fundamentos de Ciência do Solo

ATRIBUTOS FÍSICOS E ÁGUA NO SOLO

Prof. Dr. Paulo Sérgio Pavinato

Prof. Dr. Antonio Roque Dechen

Prof. Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmello

Piracicaba

2017

Propriedades Físicas do Solo

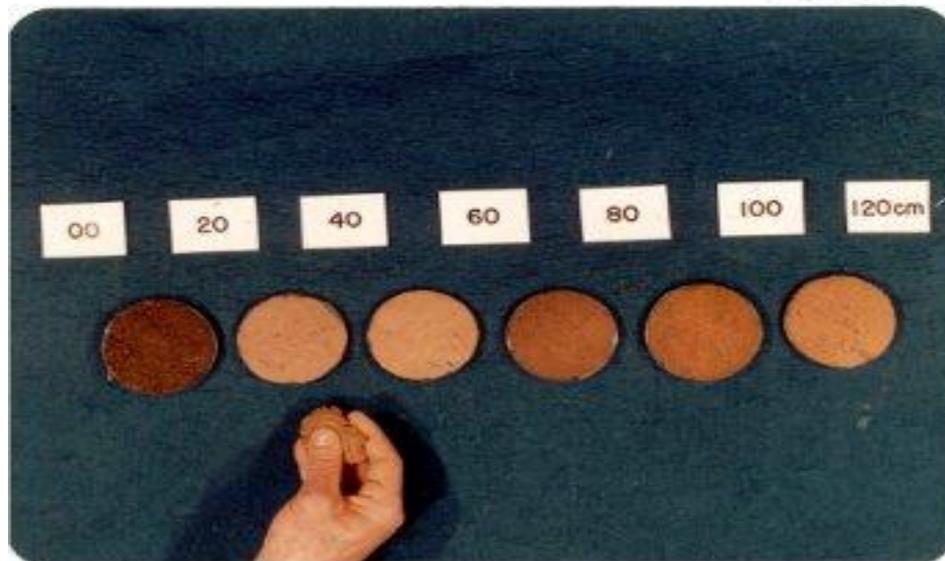
- 1) Cor
- 2) Textura
- 3) Estrutura
- 4) Consistência
- 5) Densidade do solo
- 6) Porosidade do solo
- 7) Estabilidade de agregados
- 8) Resistência do solo à penetração

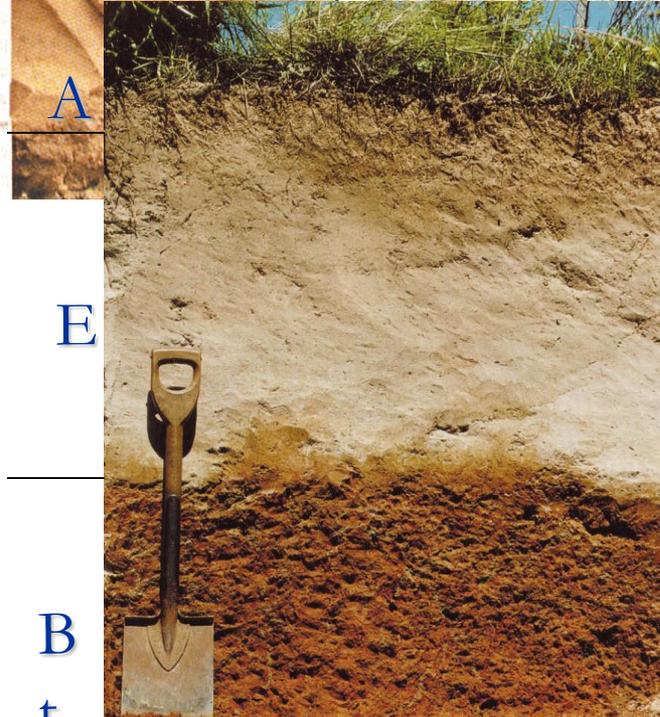
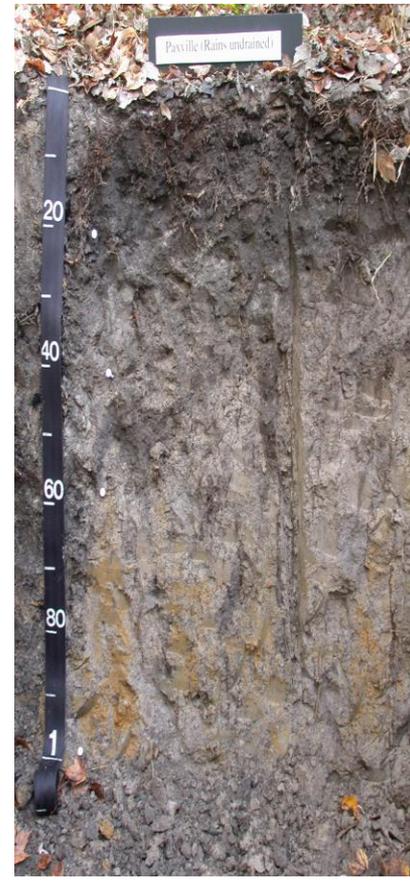
Cor do solo

- Carta de Munsell



Ft
FORTEST





A

E

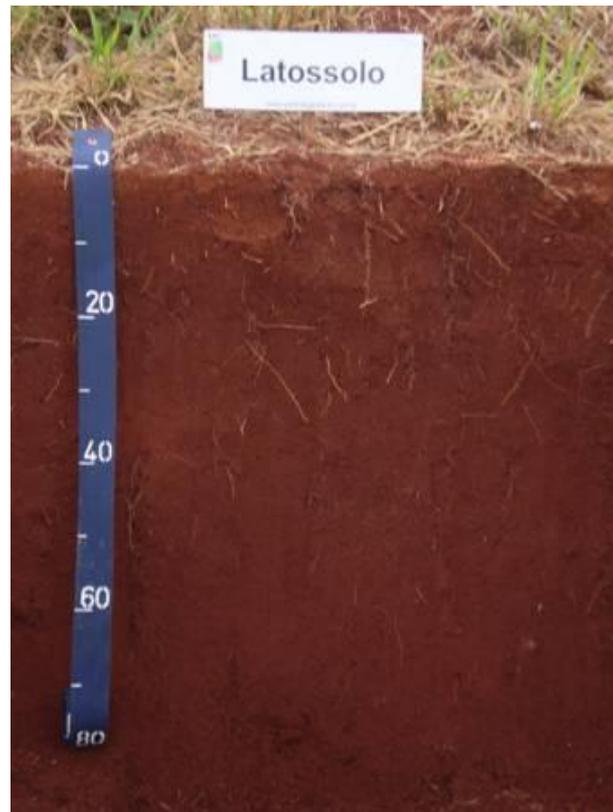
B

t

TEXTURA DO SOLO

- **Proporção relativa das partículas constituintes do solo**
- **Importante - comportamento e manejo do solo**
- **A textura do solo é a primeira e mais importante propriedade a conhecer**
 - **textura do solo não é alterada a curto prazo**

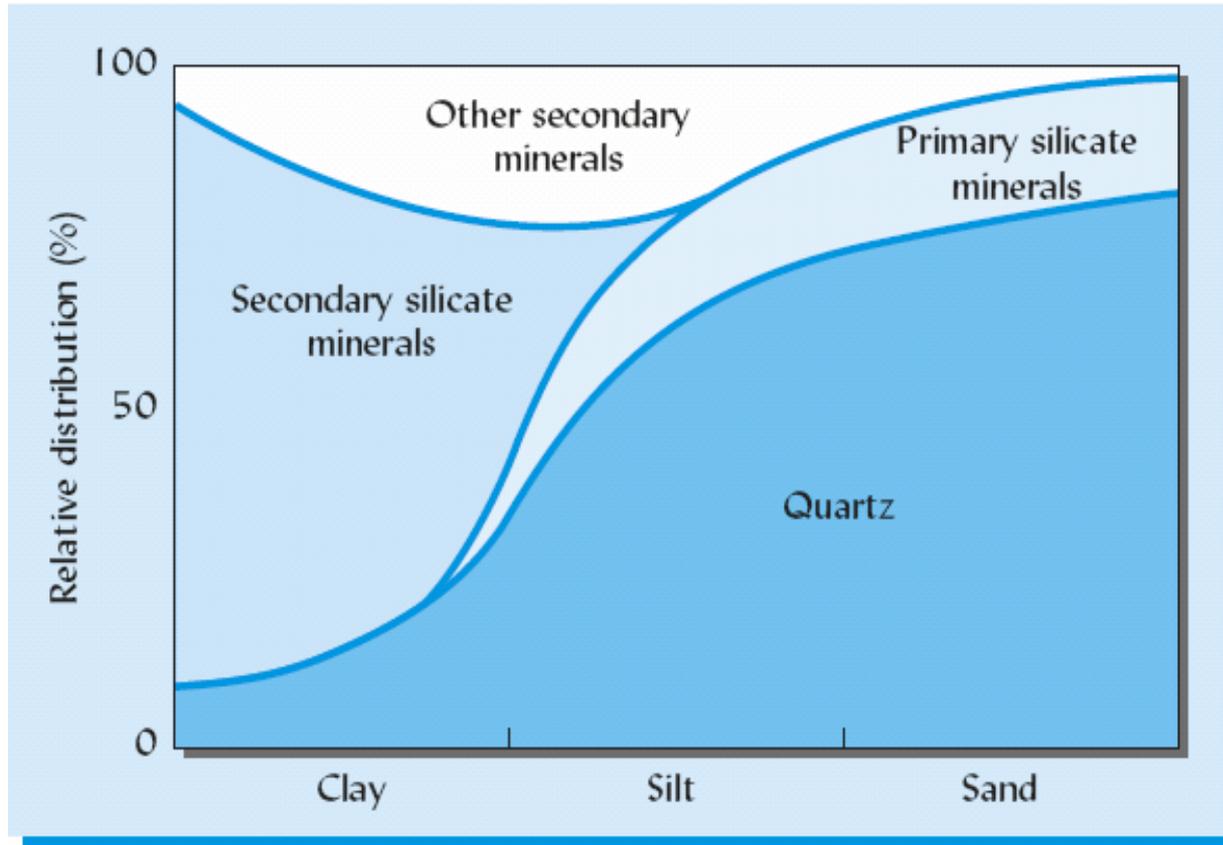
TEXTURA DO SOLO (Distribuição das partículas)



No Brasil
(SiBCS)

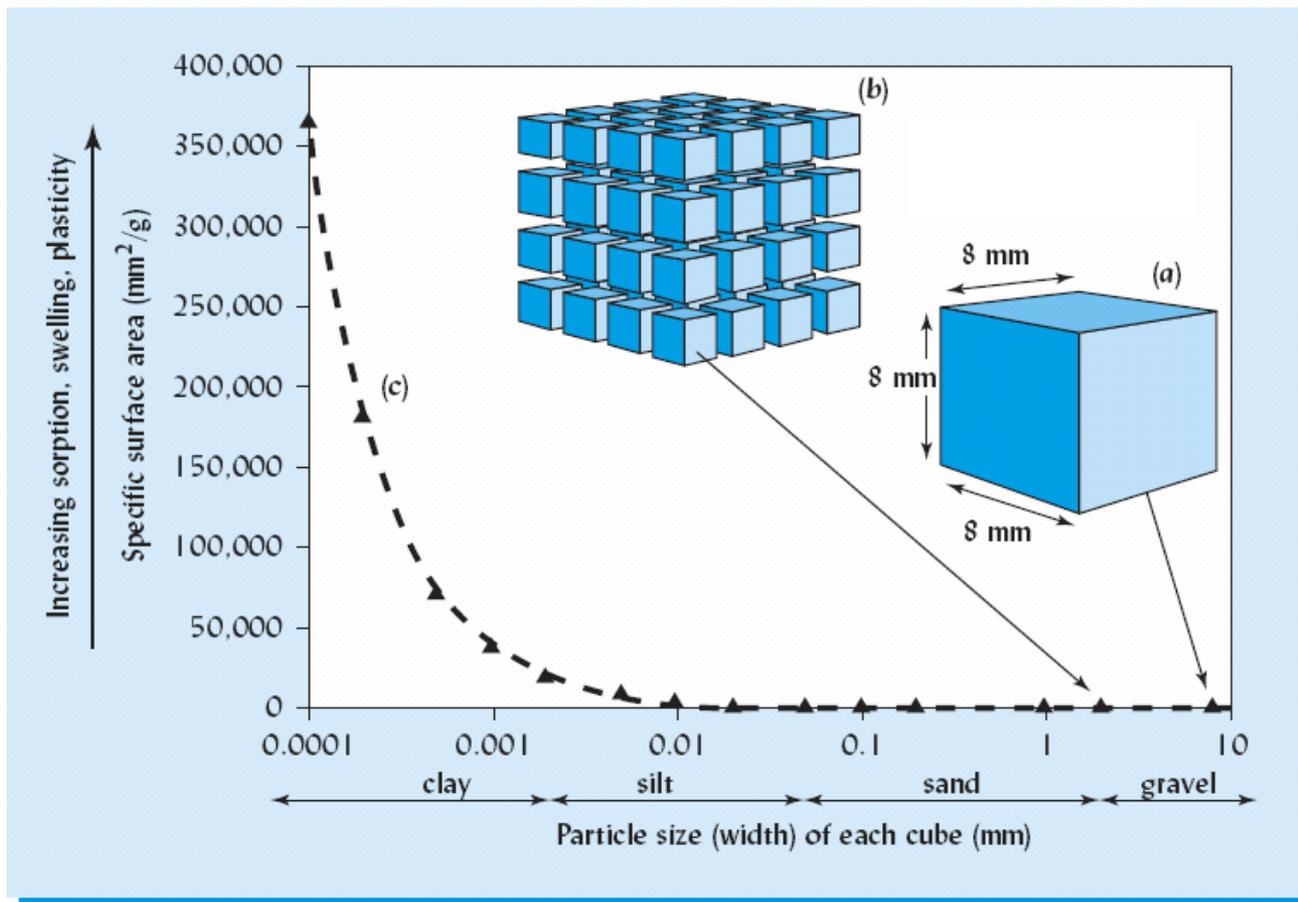
- Areia grossa – 2 a 0,2 mm
- Areia fina – 0,2 a 0,05 mm
- Silte – 0,05 a 0,002 mm
- Argila – menor do que 2 μm

TEXTURA DO SOLO (Natureza das partículas)



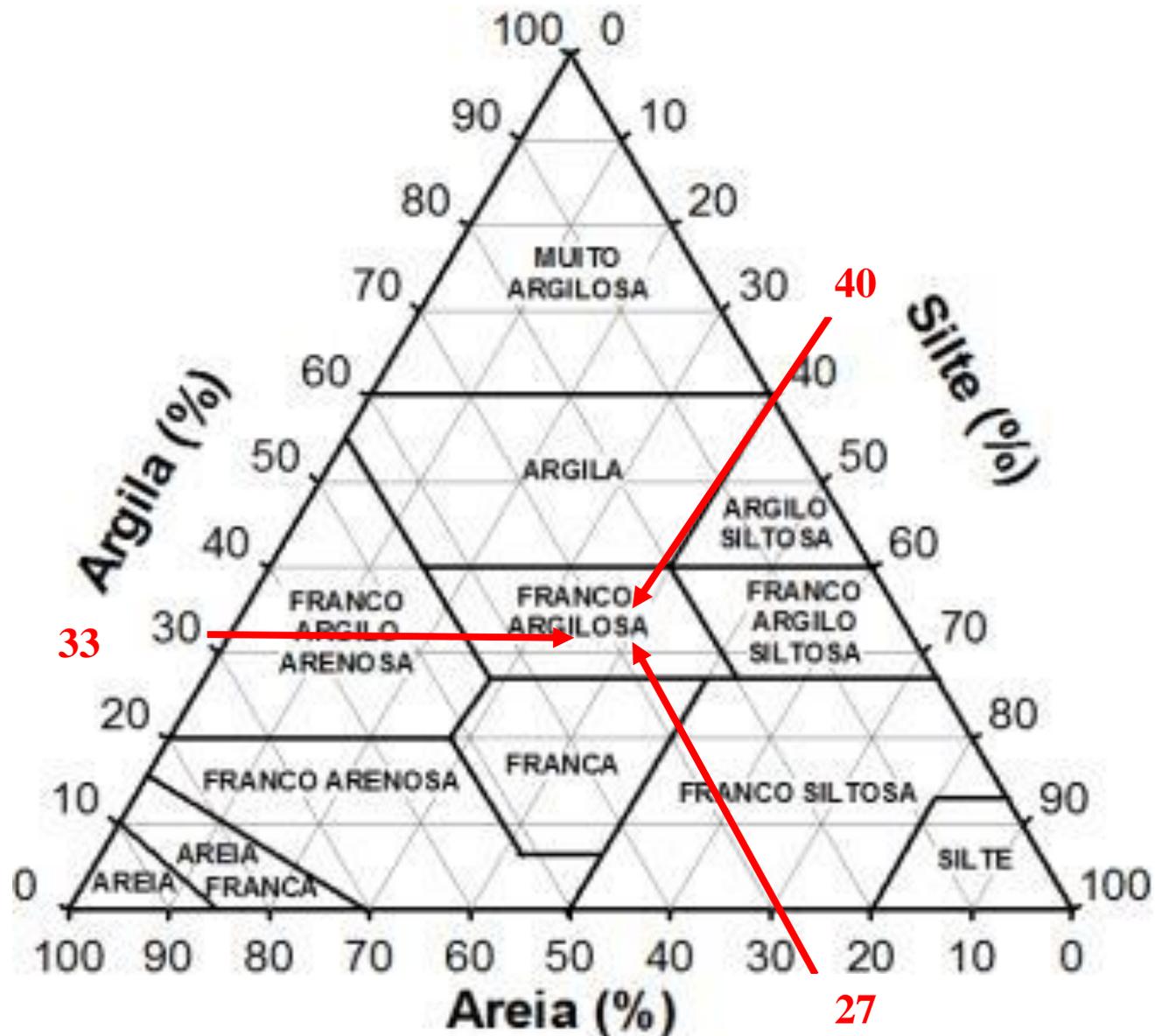
Fonte: Brady e Weil (2013)

TEXTURA DO SOLO (ÁREA SUPERFICIAL ESPECÍFICA)



Fonte: Brady e Weil (2013)

CLASSE TEXTURAL DO SOLO



CLASSE TEXTURAL DO SOLO

Argila (%)	Classe textural
< 15	Arenosa
16 - 35	Média
36 - 60	Argilosa
> 60	Muito argilosa

Fonte: EMBRAPA (2006)

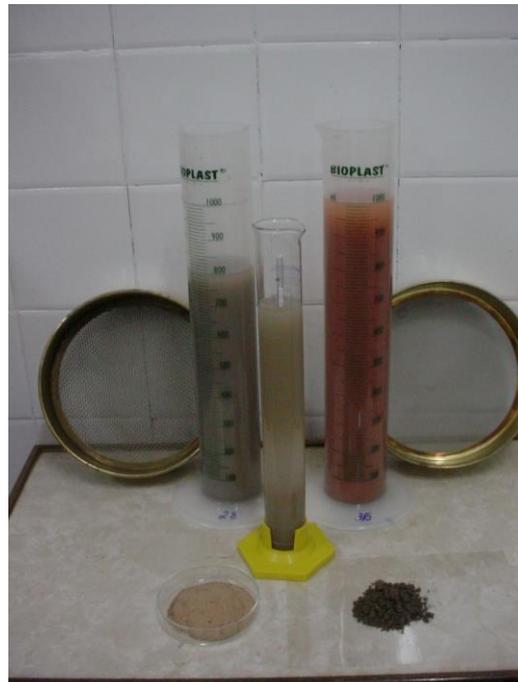
Influência da textura do solo em propriedades e comportamento do solo

Propriedade	Areia	Silte	Argila
Capac. retenção de água	Baixa	Média	Alta
Aeração	Boa	Média	Pobre
Taxa de drenagem	Alta	Devagar / media	Muito devagar
Teor de matéria orgânica	Baixa	Média	Média a alta
Decomposição da MO	Rápido	Moderado	Devagar
Compactabilidade	Baixa	Média	Alta
Susceptibilidade à erosão	Média/alta	Média / alta	Baixa
Capac. expansão/contração	Muito baixa	Baixa	Moderada/alta
Potencial lixiviação poluentes	Alto	Médio	Baixo
Capac. armazenar nutrientes	Pobre	Médio	Alto
Resistência à mudança de pH	Baixo	Médio	Alto

Fonte: Brady e Weil (2013)

CLASSE TEXTURAL DO SOLO (ANÁLISE LABORATORIAL)

- 1ª etapa: completa dispersão da amostra de solo em água (separar em partículas individuais)
 - Solos tropicais (oxídicos) é um problema
 - Separação da areia por peneiras

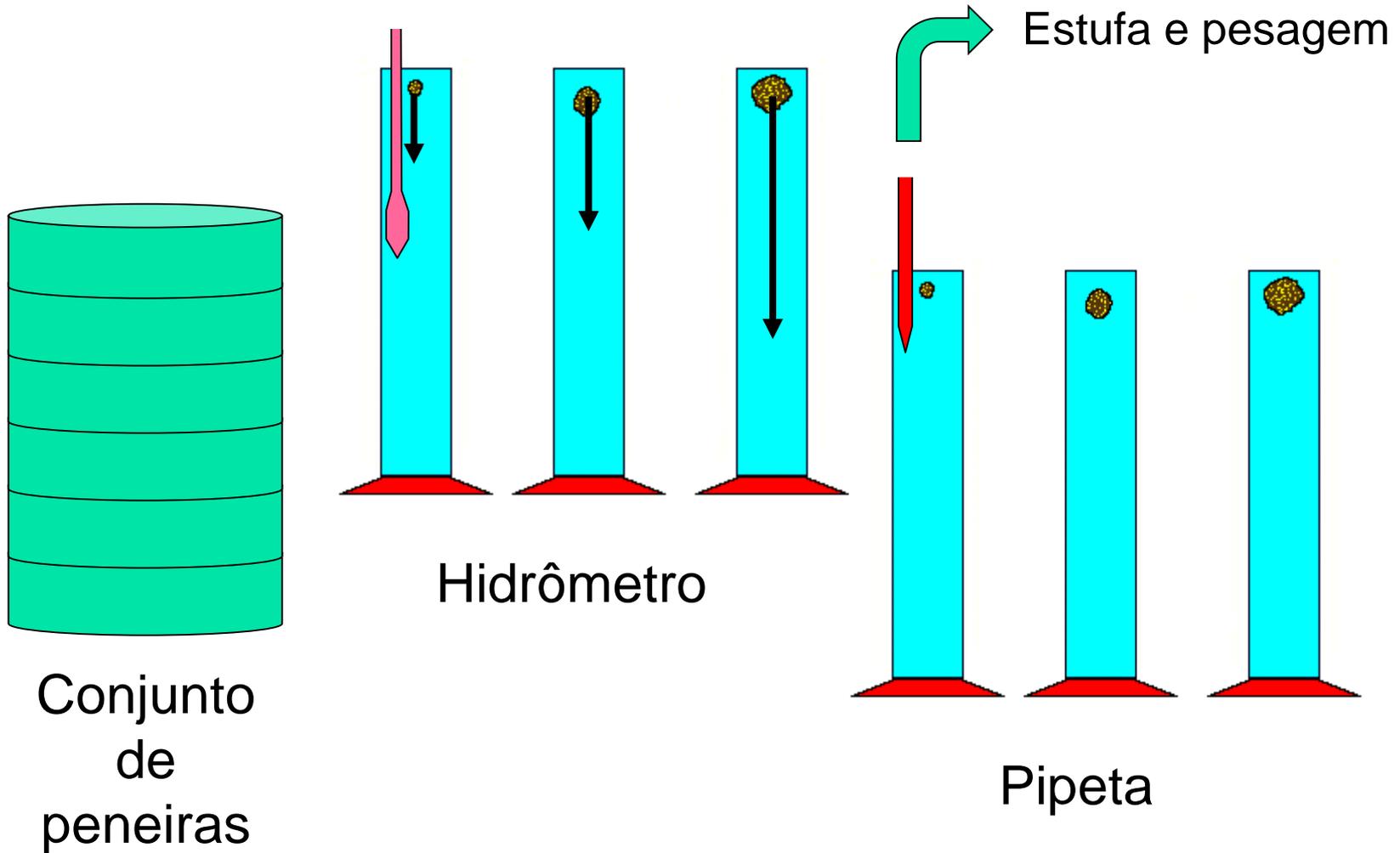


CLASSE TEXTURAL DO SOLO (ANÁLISE LABORATORIAL)

- Processo de sedimentação é utilizado para determinar silte e argila
- **Princípio é simples:** as partículas são mais densas do que a água, então decantam em velocidade proporcional ao seu tamanho
 - Quanto maior o tamanho da partícula, mais rápido ocorre a decantação
 - A equação que descreve esta relação é a Lei de Stokes

$$V = k d^2$$

Métodos de determinação



ESTRUTURA

- A estrutura diz respeito ao arranjo, forma e dimensão das partículas do solo.
- Classifica-se quanto a:
 - **Grau - 0 a 3** - intensidade de agregação (sem, fraca, moderada, forte, maciça)
 - **Classe** - muito pequena a muito grande - dimensão dos agregados estruturais.
 - **Tipo** - granular, prismática etc. - forma e arranjo dos agregados.

Estrutura

Maciça



Particular

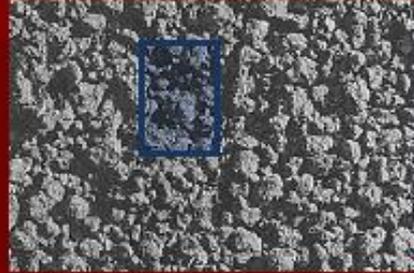
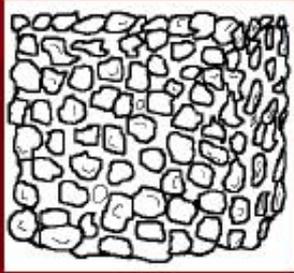


A estrutura depende das forças de adesão e coesão

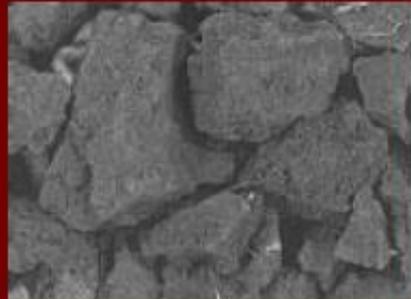
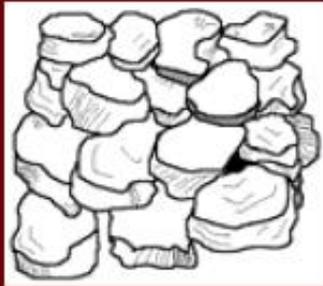
É promovida pelas argilas, óxidos e MO coloidal

Tipos de estrutura

Granular



Anisoforme



Laminar



Prismática

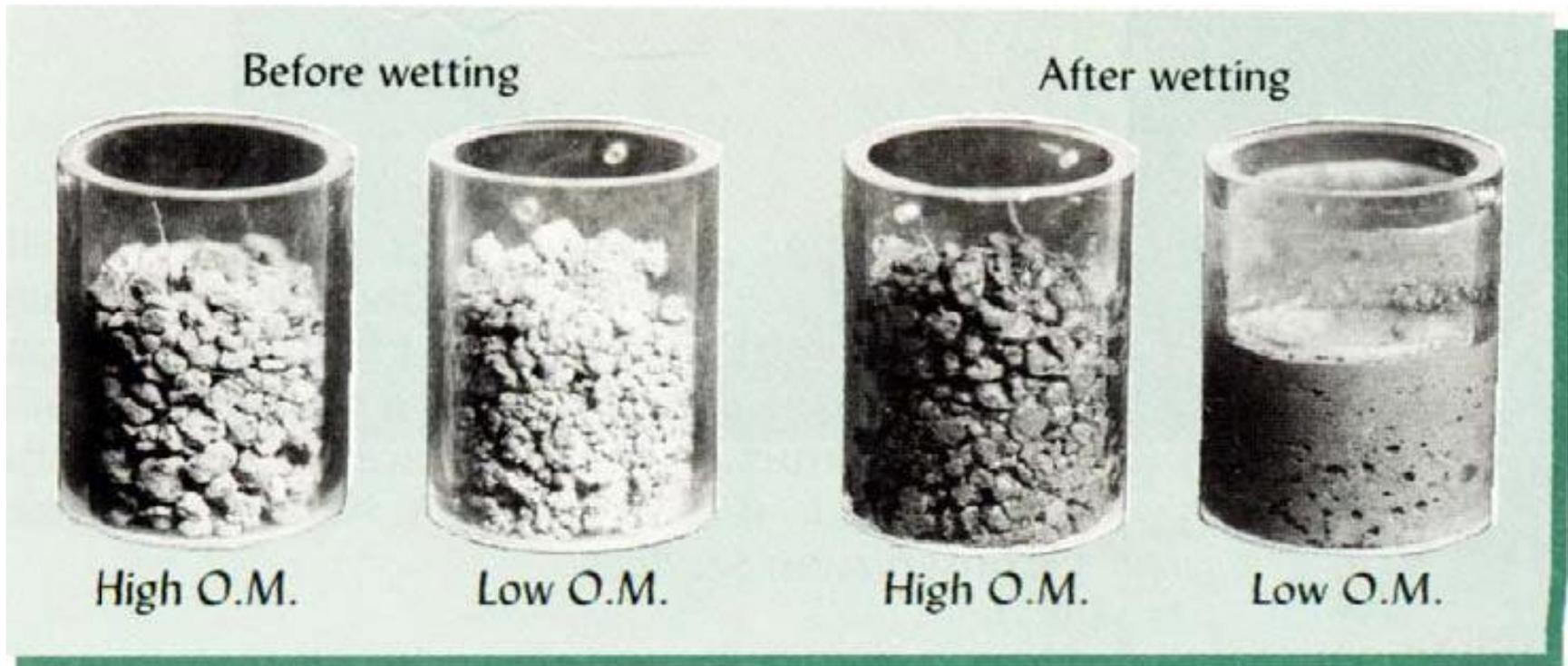


Colunar



Estrutura

Efeito da MO na estrutura dos agregados



Estrutura

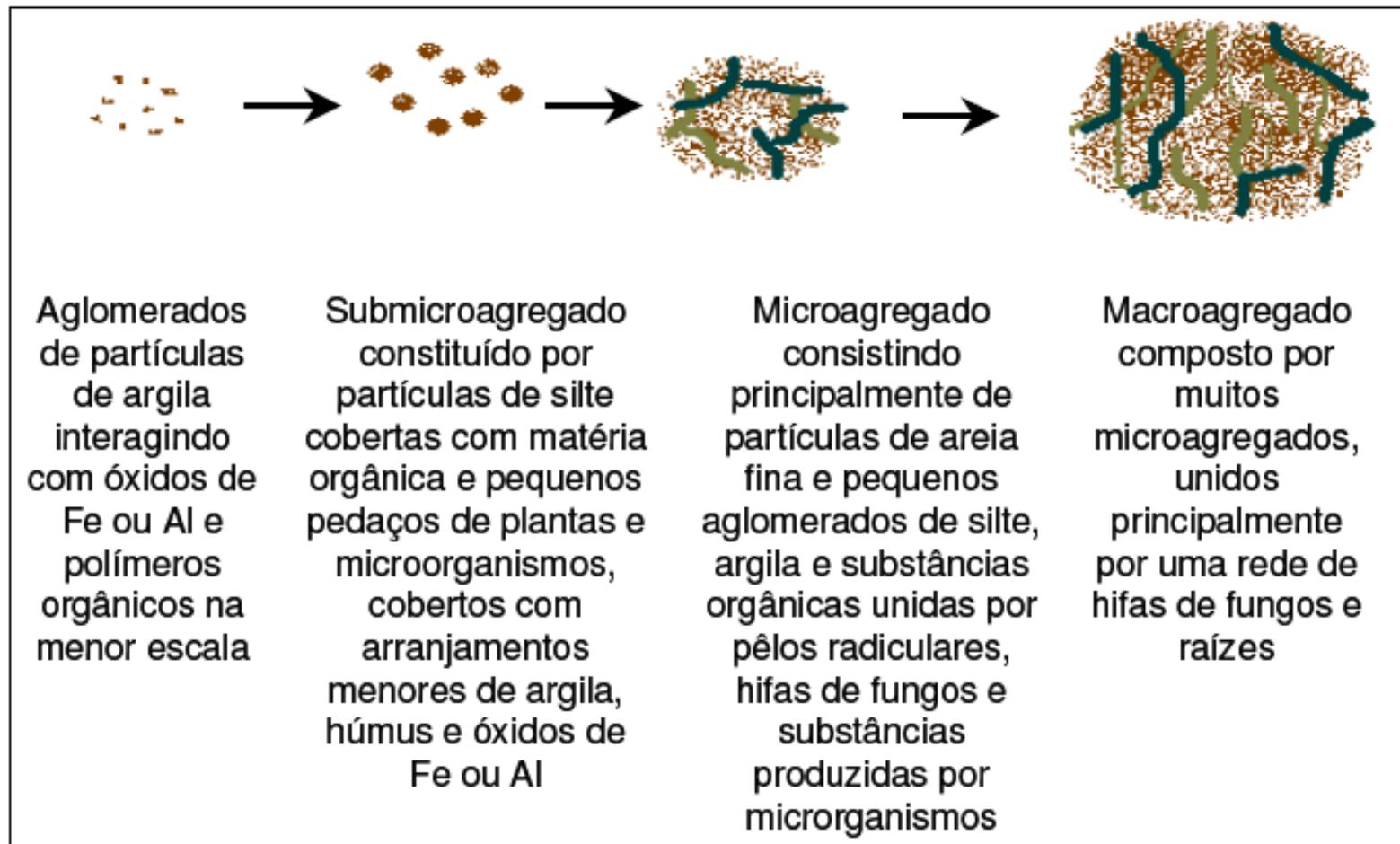


Figura 7.6. Importância hierárquica de mecanismos formadores de agregados.

CONSISTÊNCIA DO SOLO

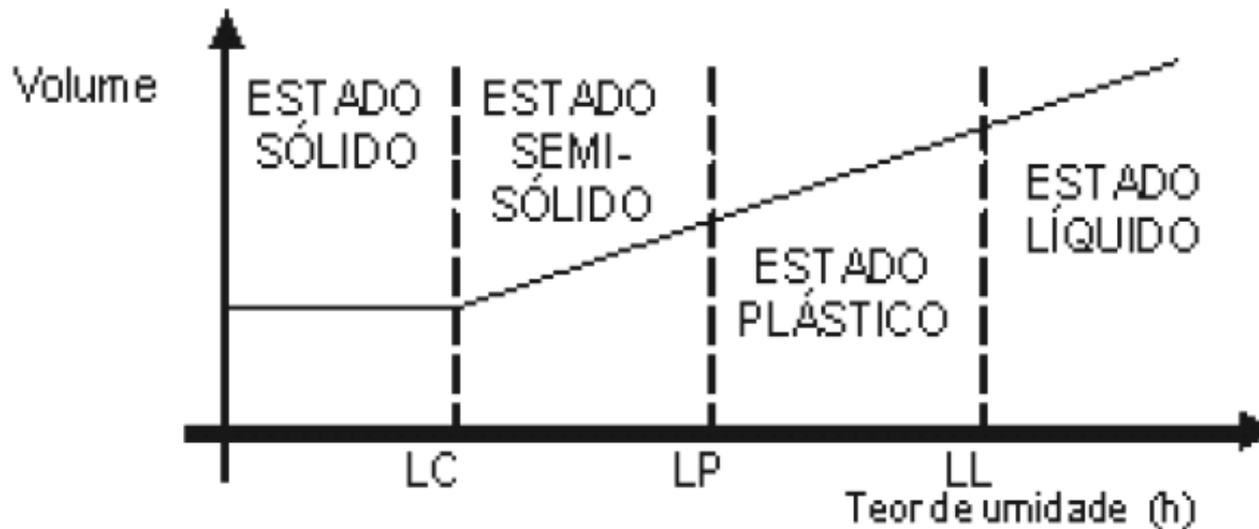
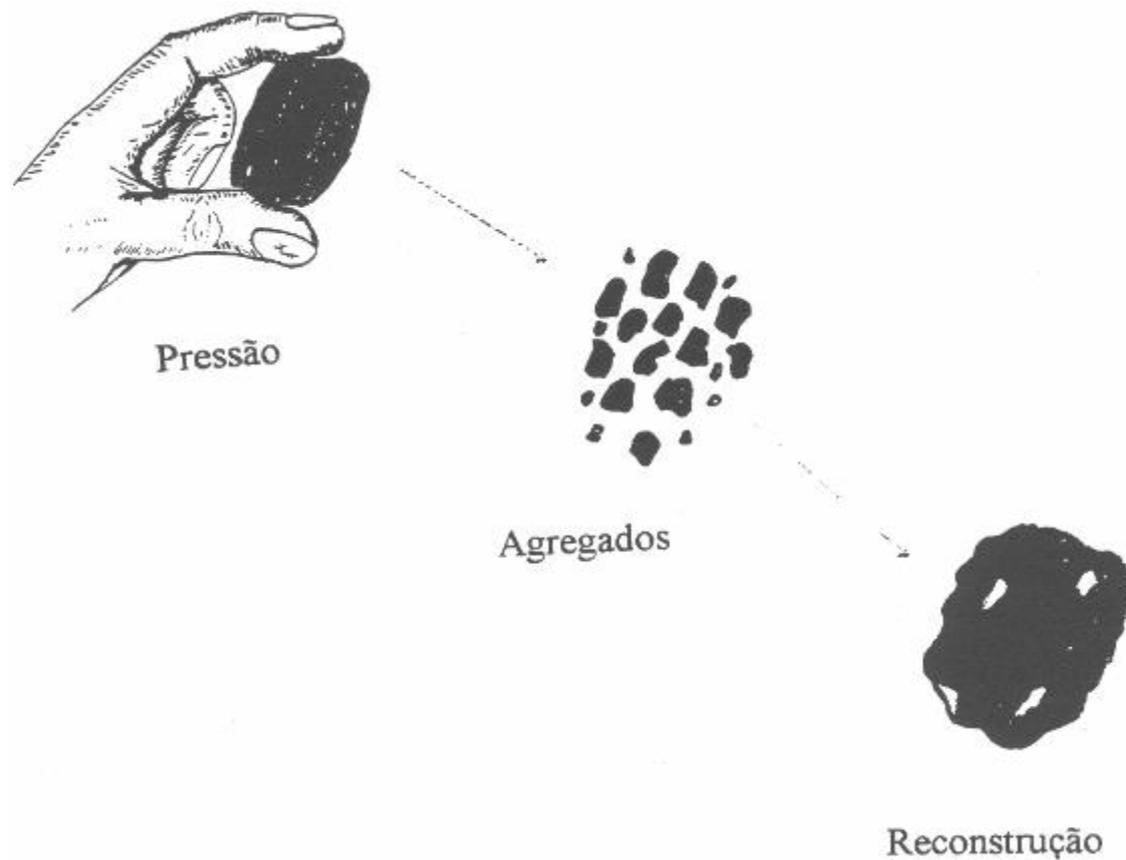
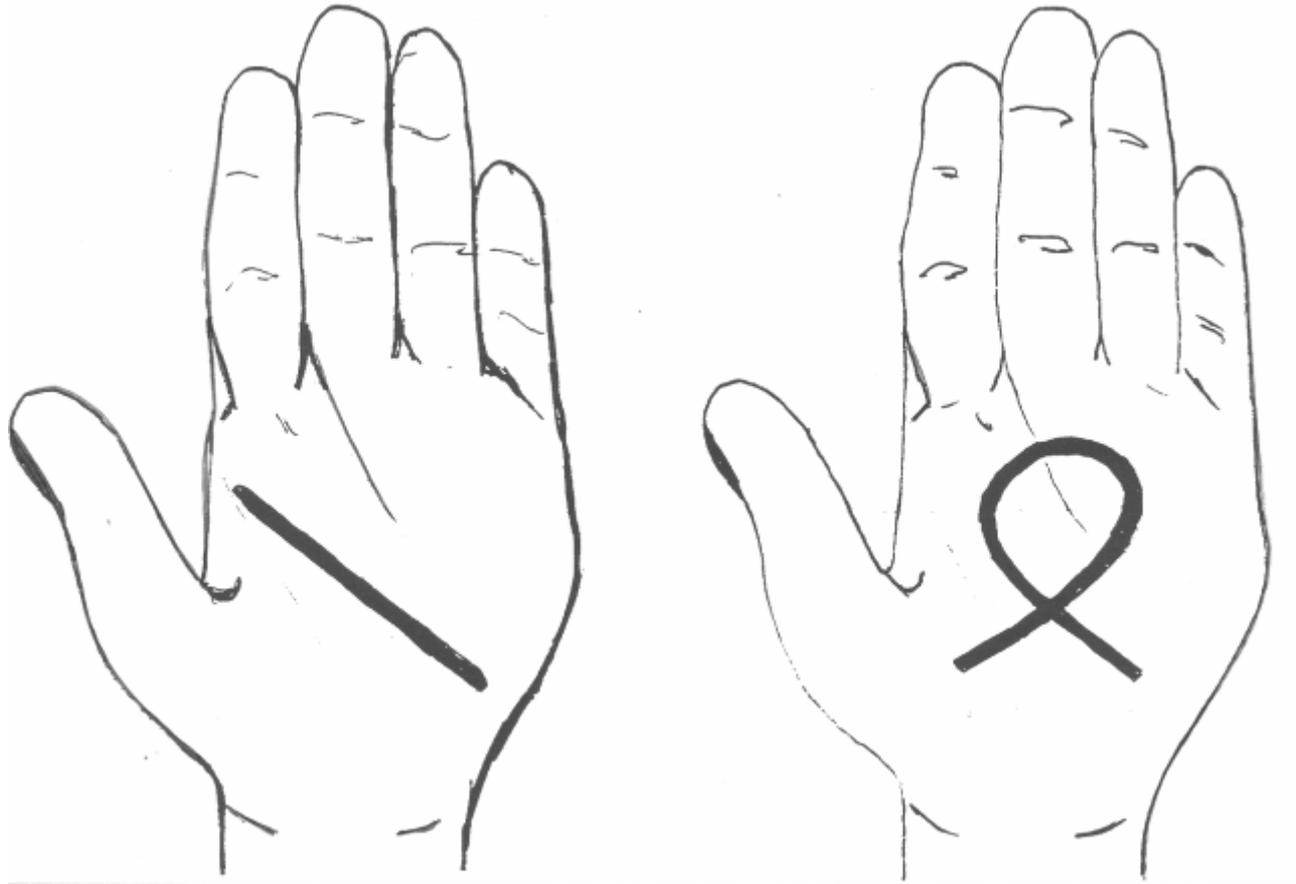


Figura 7.2 – Estados de consistência e limite de plasticidade em relação à variação de umidade. LC – limite de contração, LP – limite de plasticidade, LL – limite de liquidez, IP – índice de plasticidade ($IP=LL-LP$).

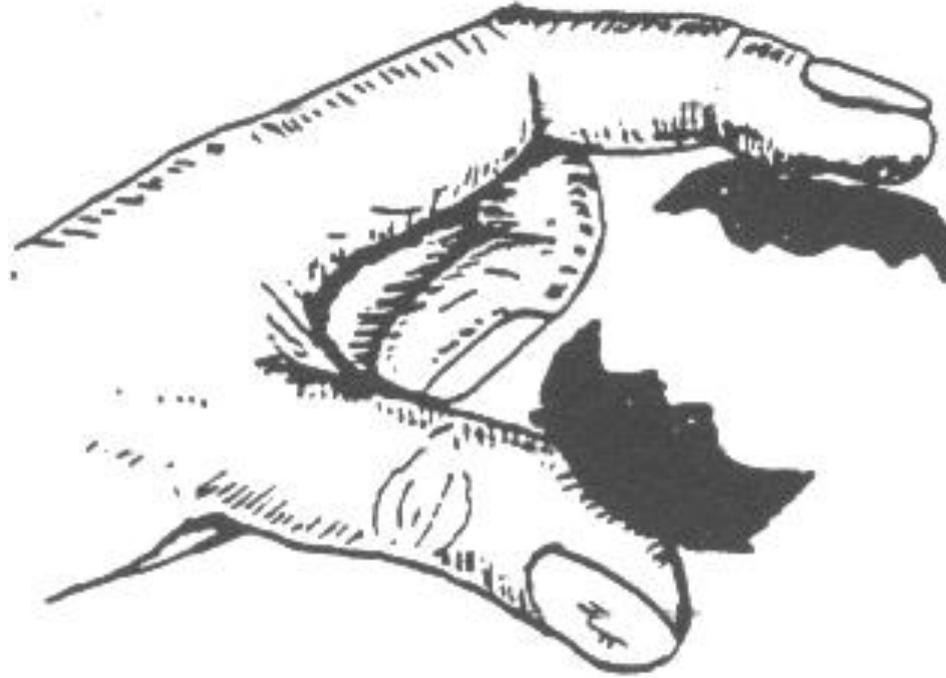


Grau de dureza são: solta, macia, ligeiramente dura, dura, muito dura, extremamente dura

Graus de friabilidade são: solta, muito friável, friável, firme, muito firme, extremamente firme



- **Grau de plasticidade** são: não plástica, ligeiramente plástica, plástica, muito plástica



- **Grau de pegajosidade** são: não pegajosa, ligeiramente pegajosa, pegajosa, muito pegajosa.

DENSIDADE DO SOLO E COMPACTAÇÃO

(Densidade de partícula)

- **Densidade de partícula (D_p)** é definido como a massa por unidade de volume de sólidos
- 1 m³ pesa 2600 kg, a **D_p** é 2600 kg/m³ (ou 2,6 g/cm³)
- Depende:
 - da mineralogia do solo - ex., quartzo = 2800 kg/m³; magnetita = 3000 kg/m³,
 - matéria orgânica = 900 a 1400 kg/m³ etc)
- Varia de **2,6 a 2,75 g/cm³** (média 2,65 g/cm³)

DENSIDADE DO SOLO E COMPACTAÇÃO

(Densidade do solo)

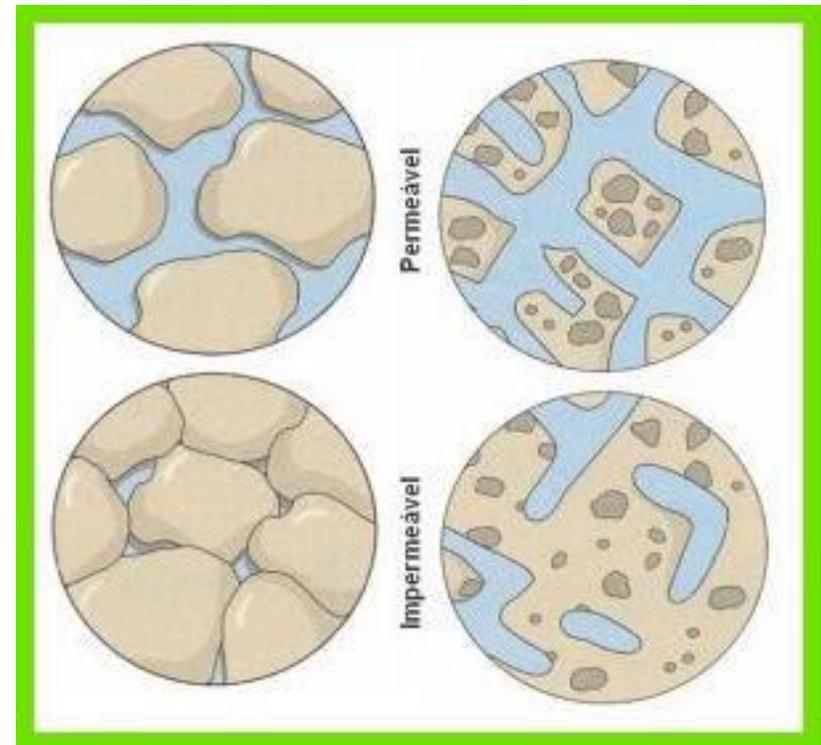
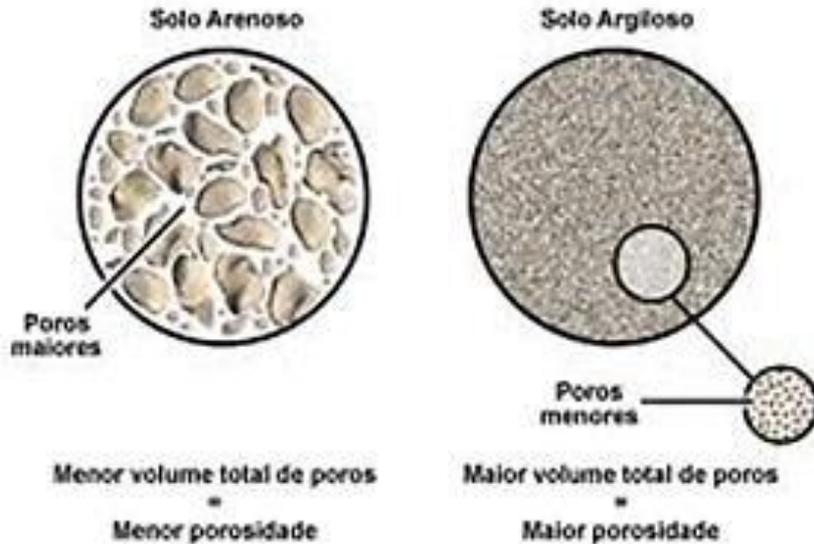
- **Densidade do solo (D_s)** - é definida com a massa de solo seco por unidade de volume
 - Este volume inclui tanto espaço ocupado por sólidos quanto por poros



DENSIDADE DO SOLO E COMPACTAÇÃO

(Densidade do solo)

Espaço Poroso em Solo Arenoso vs. Solo Argiloso



Fatores que afetam a Densidade do Solo

Textura

Textura arenosa = 1,4 a 1,7 g cm⁻³

Textura média = 1,2 a 1,4 g cm⁻³

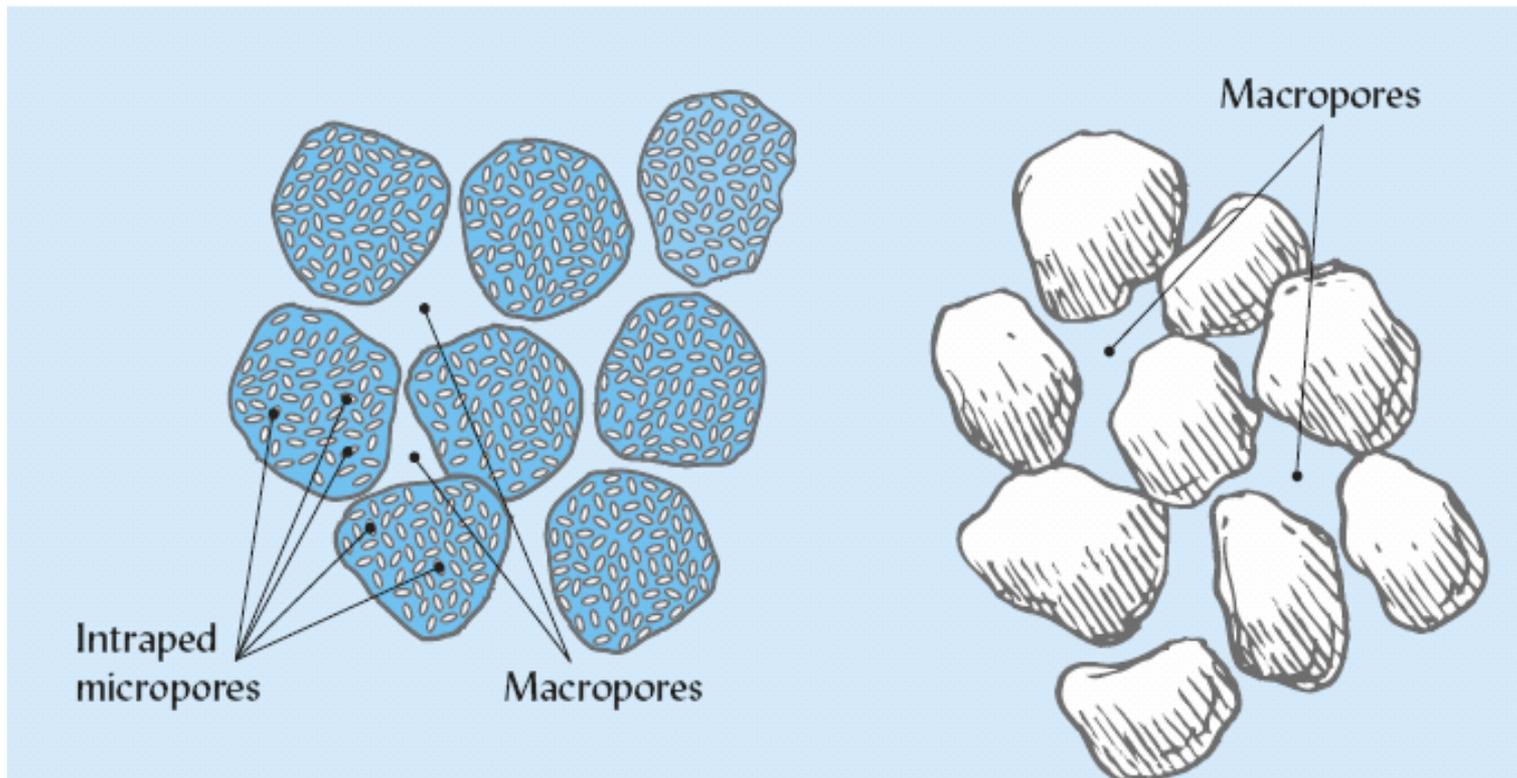
Textura argilosa = 0,9 a 1,2 g cm⁻³

Fatores que afetam a Densidade do Solo

Espaço poroso

Agregados de argila

Areia e silte



Fonte: Brady e Weil (2013)

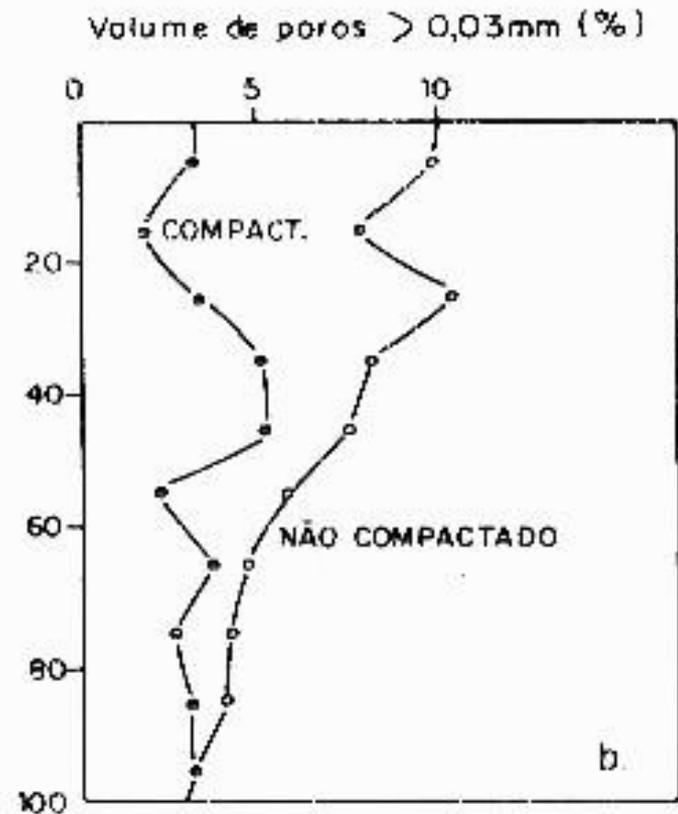
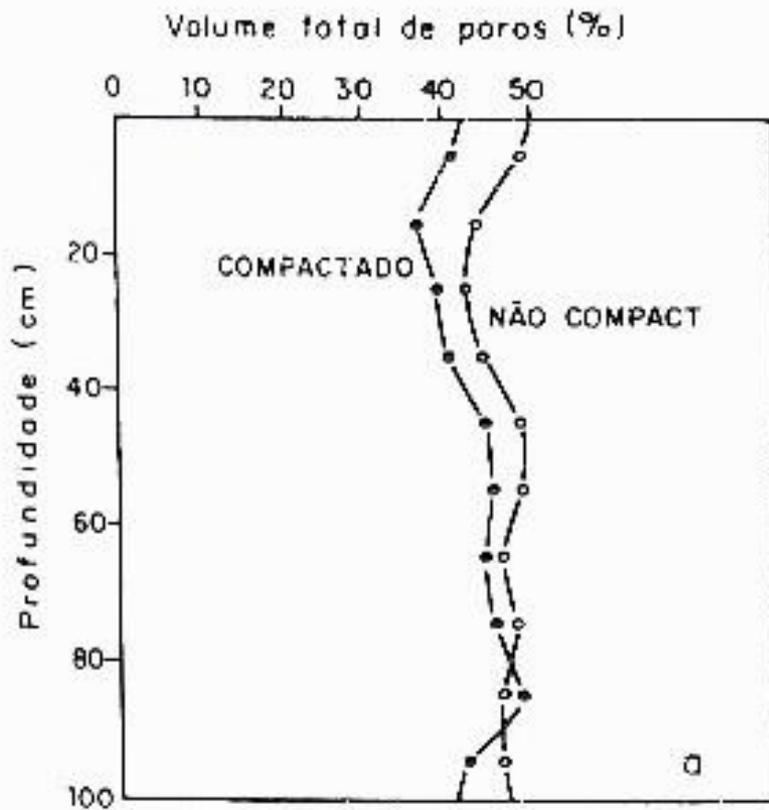
Fatores que afetam a Densidade do Solo

Manejo



Fatores que afetam a Densidade do Solo

Manejo



Fatores que afetam a Densidade do Solo

Manejo



Fatores que afetam a Densidade do Solo

Manejo

Table 4.2

BULK DENSITY AND PORE SPACE OF SURFACE SOILS FROM CULTIVATED AND NEARBY UNCULTIVATED AREAS

Soil	Texture	Years cropped	Bulk density, Mg/m ³		Pore space, %	
			Cultivated soil	Uncultivated soil	Cultivated soil	Uncultivated soil
Mean of 2 Udults (Maryland)	Sandy loam	50+	1.59	0.84	40.0	66.4
Mean of 2 Udults (Maryland)	Silt loam	50+	1.18	0.78	55.5	68.8
Mean of 3 Ustalfs (Zimbabwe)	Clay	20–50	1.44	1.20	54.1	62.6
Mean of 3 Ustalfs (Zimbabwe)	Sandy loam	20–50	1.54	1.43	42.9	47.2

For Maryland soils from Lucas and Weil (unpublished) and for Zimbabwe soils from Weil (unpublished).

ESPAÇO POROSO

- - A densidade do solo pode ser usada para calcular o espaço poroso
 - Quanto menor a densidade do solo, maior a porcentagem de espaço poroso (porosidade total)

$$\text{Porosidade total (\%)} = 100 - \frac{D_s}{D_p} \times 100$$

Exemplo: $D_s = 1,28 \text{ g cm}^{-3}$

$$\text{Porosidade total (\%)} = 100 - \frac{1,28}{2,65} \times 100$$

$$\text{Porosidade total (\%)} = 100 - 48,3 = \mathbf{51,7 \%}$$

ESPAÇO POROSO (Tamanho dos poros)

- Densidade do solo prediz somente porosidade total
- Existe grande variedade de tamanho e formato dos poros

macroporos ($> 0,08$ mm)

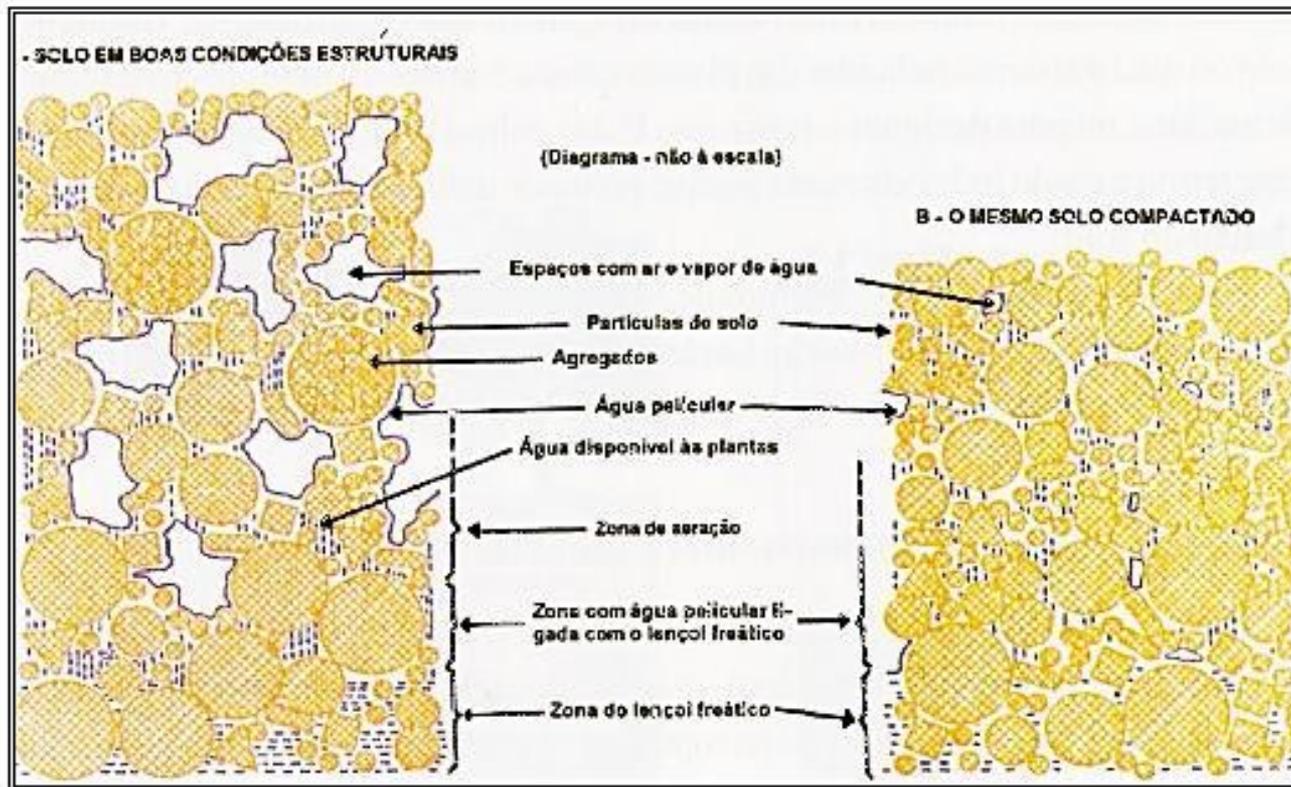
- drenagem da água gravitacional
- importante para difusão de O_2

microporos ($< 0,08$ mm)

- retém água após drenagem
- movimentam água por capilaridade

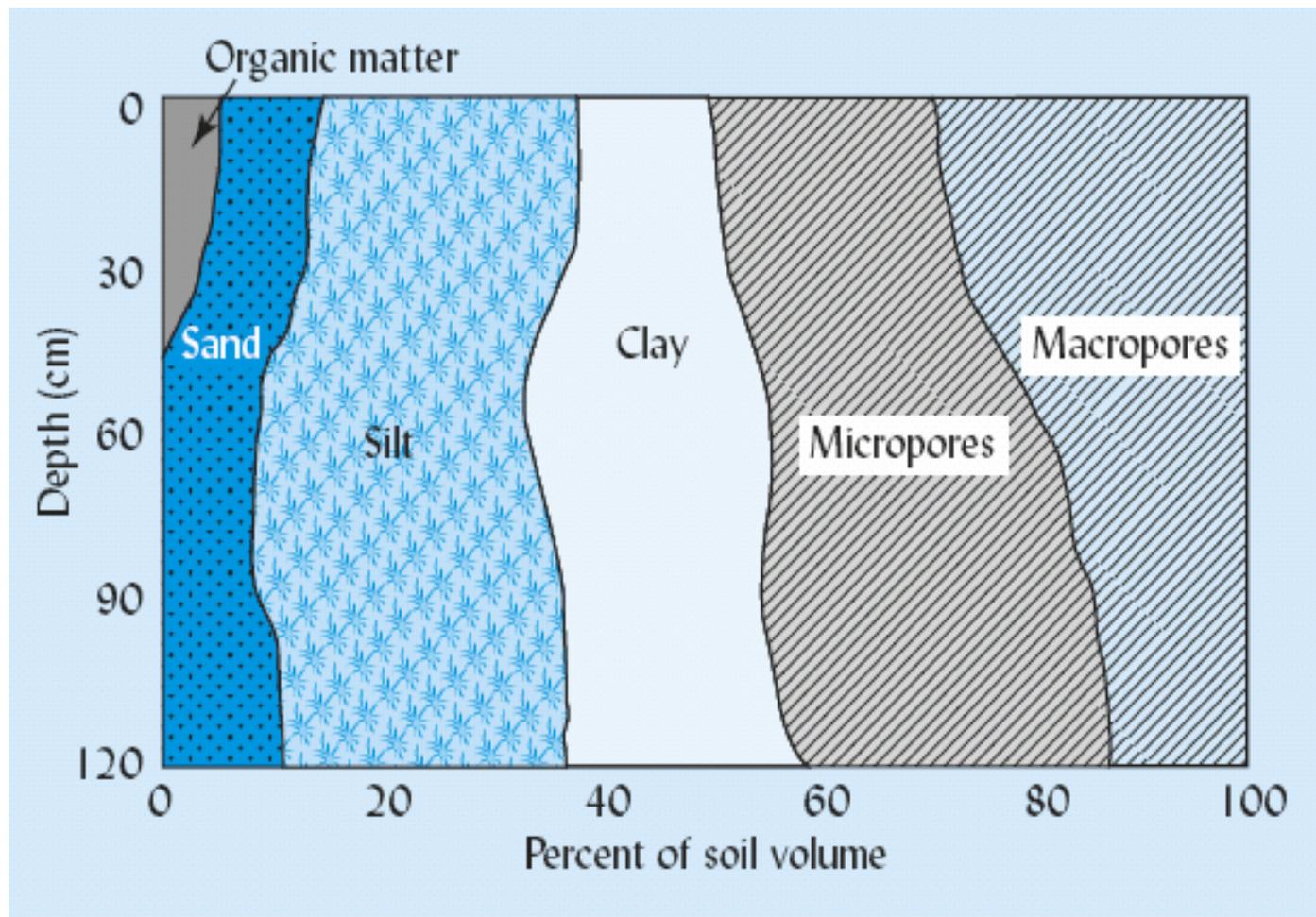
ESPAÇO POROSO (Tamanho dos poros)

Implicações



Fonte: Rezende, 2000

ESPAÇO POROSO (Tamanho dos poros)



Fonte: Brady e Weil (2013)

ESTABILIDADE DE AGREGADOS

Agregação do solo é importante na resistência do solo a erosão e manutenção da fertilidade



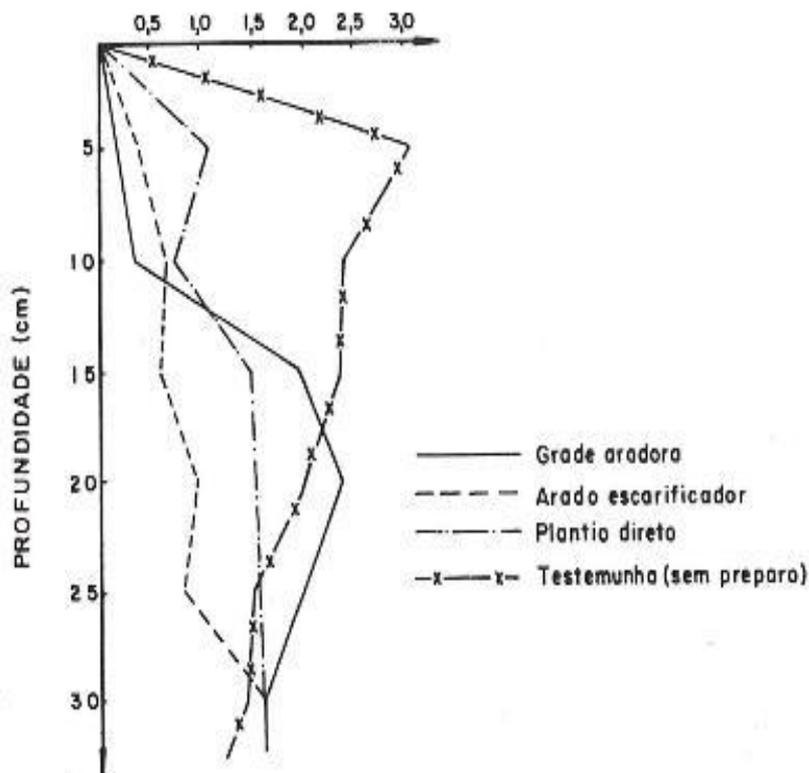
(a)



RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO

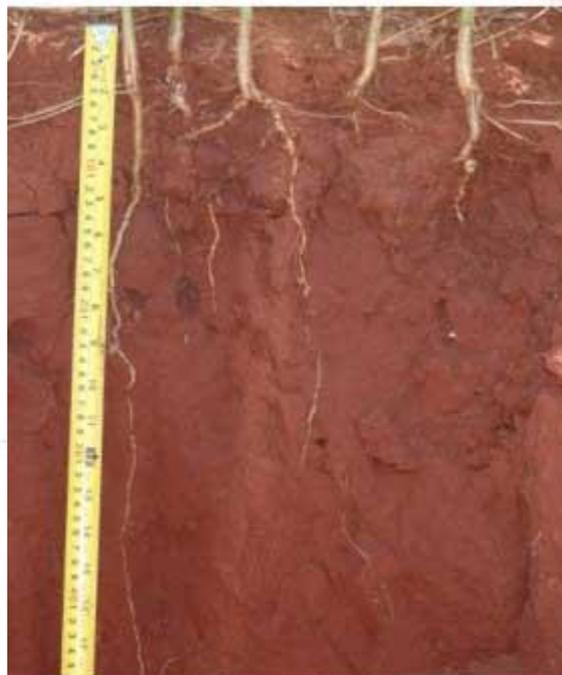
Quanto maior, maior será o gasto de energia da planta para aprofundar as raízes e menos água infiltra no solo

RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (MPa)



Resistência do solo

- Amostras com soja normal
- Soja com morte de plantas por *Phytophthora*



Índice 100

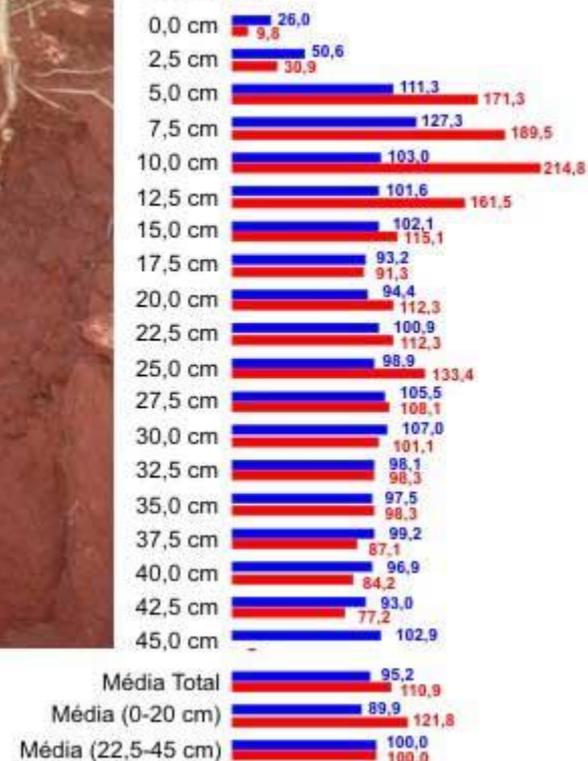


Figura 1. Camada compactada de 61 a 114 acima da base 100 nas profundidades de 5 a 12,5 centímetros.

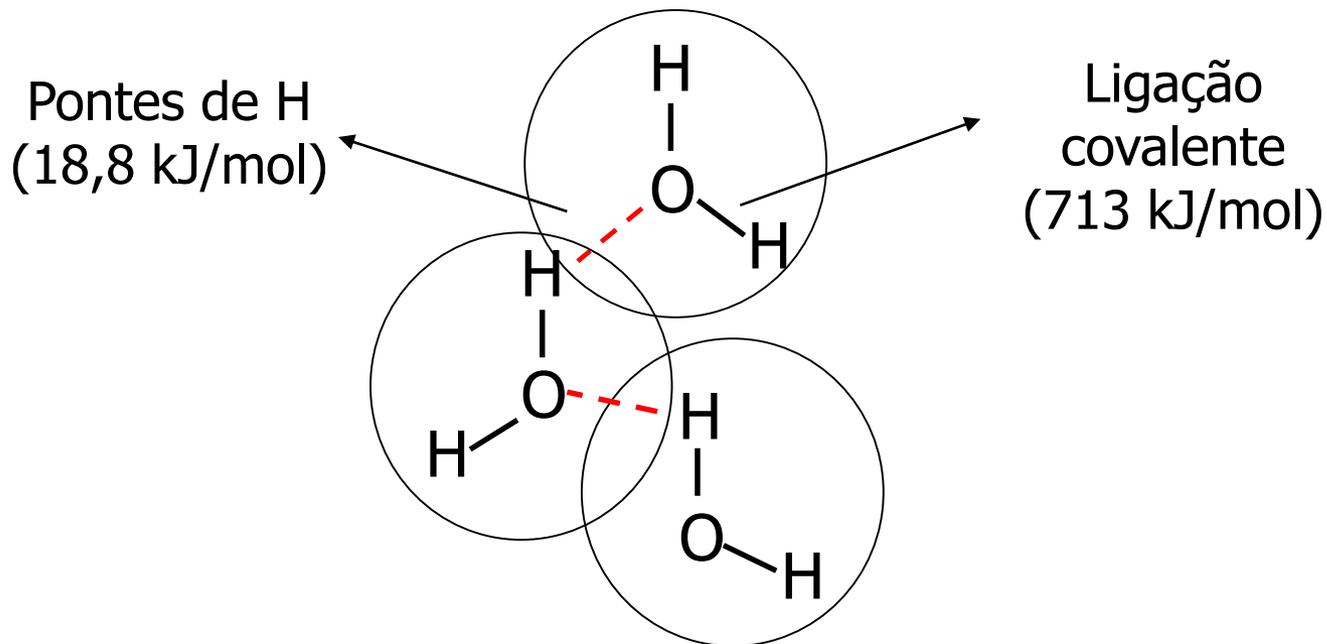
CONCLUSÃO

- **Propriedades físicas do solo influenciam diversas outras propriedades do solo**
- **A natureza e propriedades das partículas, seu tamanho, distribuição e arranjo no solo determinam o volume e tamanho dos poros, influenciando relação da água e ar no solo e o crescimento das plantas**
- **Preparo do solo e tráfego devem ser controlados para evitar degradação das propriedades físicas do solo**

ÁGUA NO SOLO

ESTRUTURA E PROPRIEDADES DA ÁGUA

- Água é um composto simples, suas moléculas contêm um átomo de oxigênio e dois (muito menores) de hidrogênio
- Os elementos estão unidos por ligação covalente, cada H compartilhando seu elétron com o oxigênio



ESTRUTURA E PROPRIEDADES DA ÁGUA

- **Polaridade** (cargas não distribuídas uniformemente)
- **Pontes de H**
 - Um átomo de H de uma molécula de H₂O é atraído pelo O da molécula vizinha, formando uma ligação com baixa energia
- **Coesão, Adesão e Tensão Superficial**
 - Ligações de H ocasionam atração entre as moléculas de água (Coesão) e da molécula de água com superfícies sólidas (Adesão)

ESTRUTURA E PROPRIEDADES DA ÁGUA

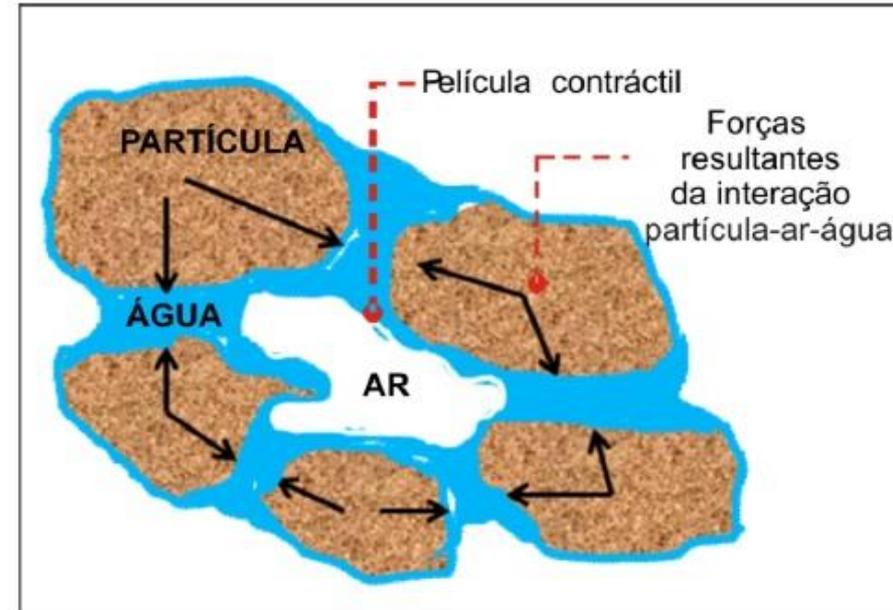
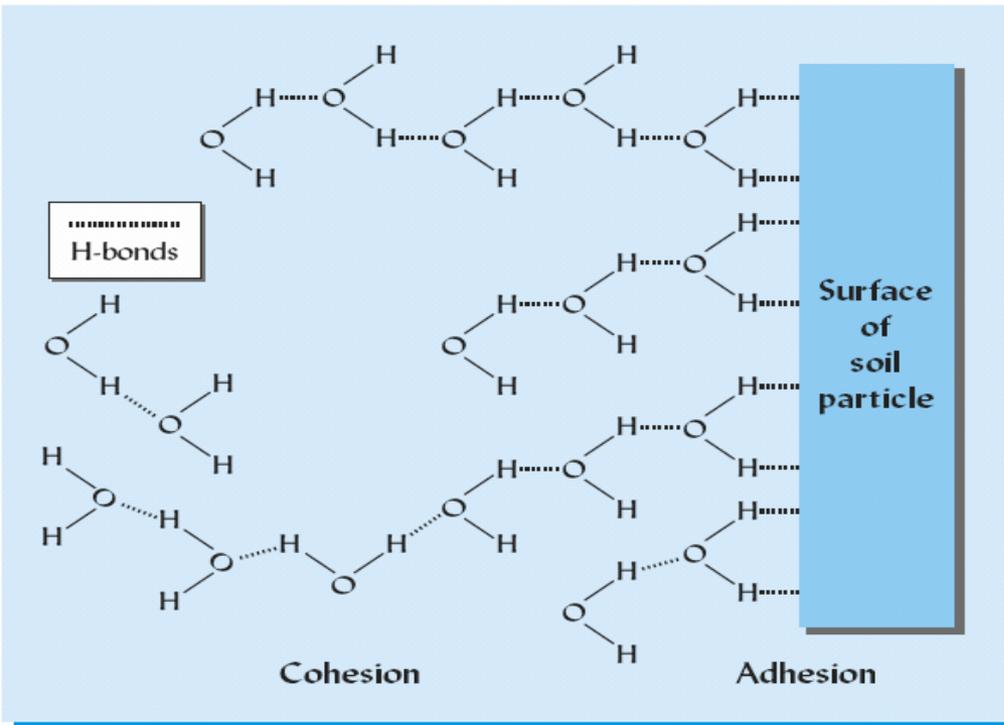


FIGURA 1. Elemento de solo não saturado (Bueno, 1979).

Fonte: Brady e Weil (2013)

ESTRUTURA E PROPRIEDADES DA ÁGUA

TENSÃO SUPERFICIAL

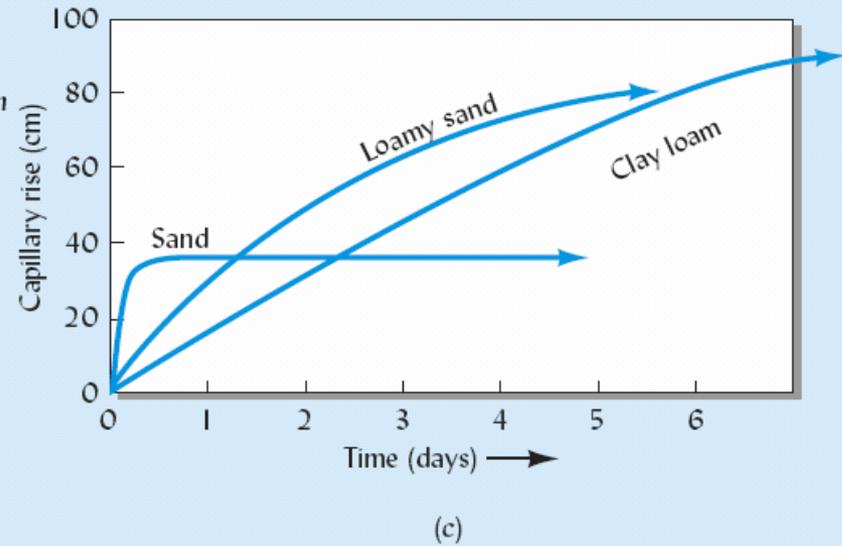
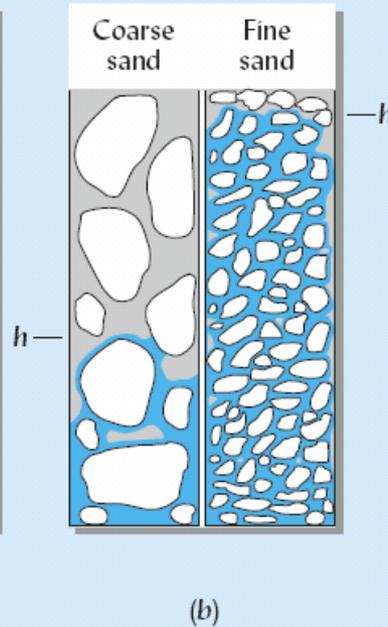
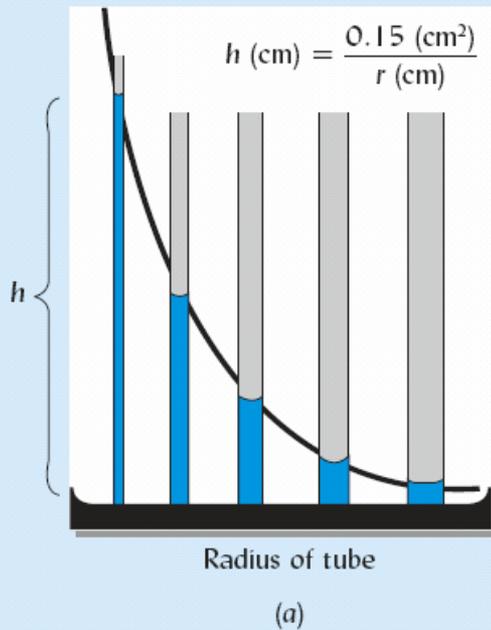


CAPILARIDADE E ÁGUA NO SOLO

- O movimento de água no solo ocorre pelo fenômeno da capilaridade
- Duas forças causam capilaridade:
 - A atração da água pelos sólidos (**adesão e adsorção**)
 - A tensão superficial da água, que ocorre pela atração entre as moléculas de água (**coesão**)
 - A altura de ascensão capilar da água (a 20 °C) é governada pela equação $h = 0,15 / r$ (cm)

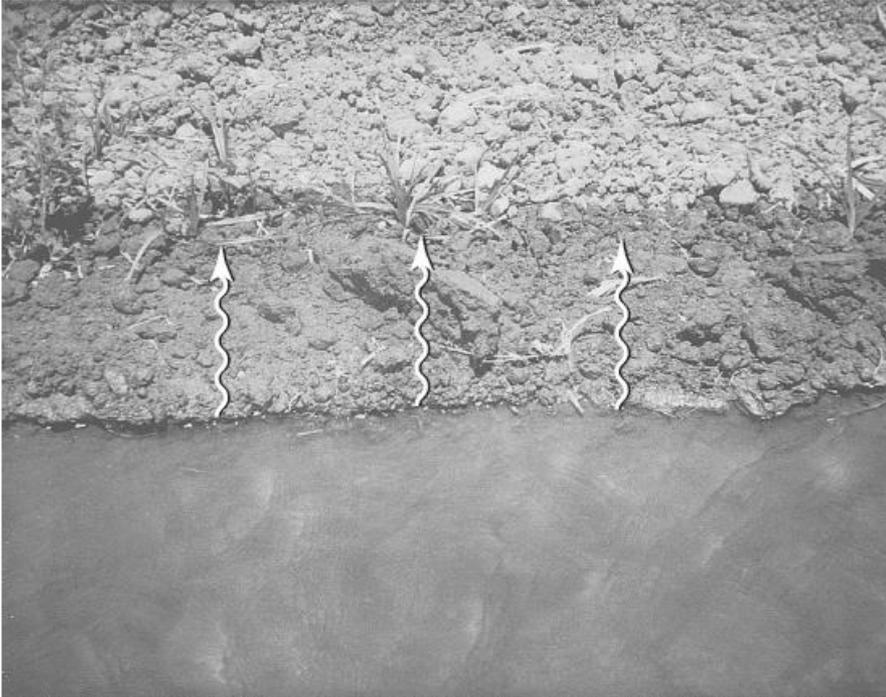
CAPILARIDADE E ÁGUA NO SOLO (Altura de ascensão)

Water movement by capillarity



Fonte: Brady e Weil (2013)

CAPILARIDADE E ÁGUA NO SOLO (Altura de ascensão)



Fonte: Brady e Weil (2013)

CONCEITOS DE ENERGIA DA ÁGUA NO SOLO

- A solução se move da fase em que o potencial total da solução é maior, para a fase em que o potencial total da solução é menor

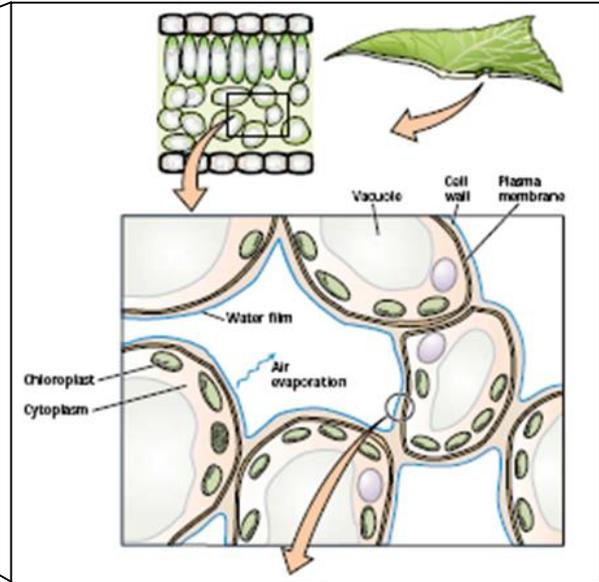
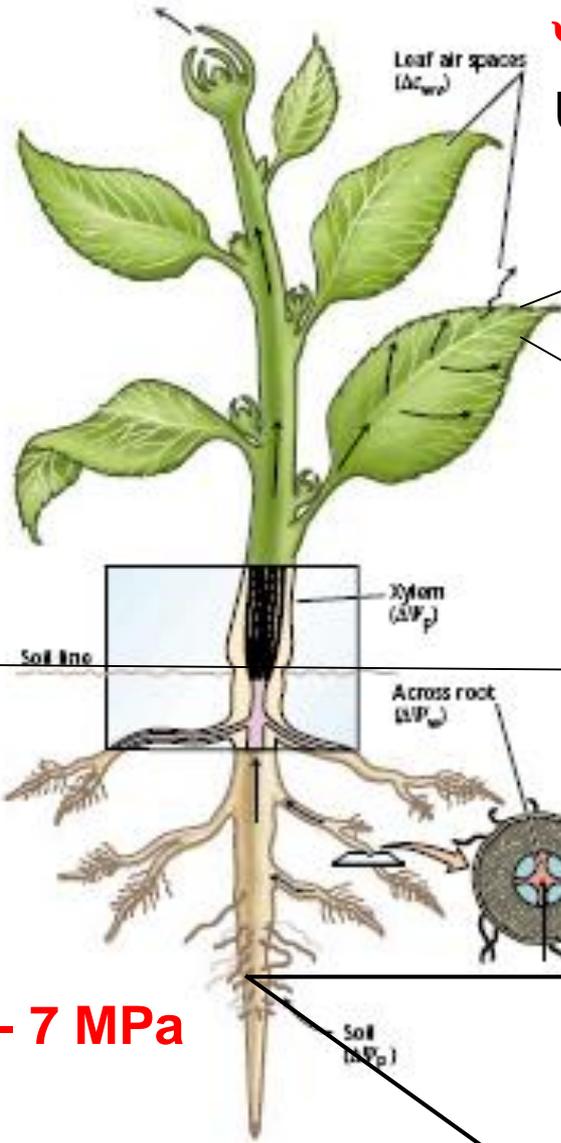
$$\Psi_t = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_o + \dots$$

Ψ_t = potencial total

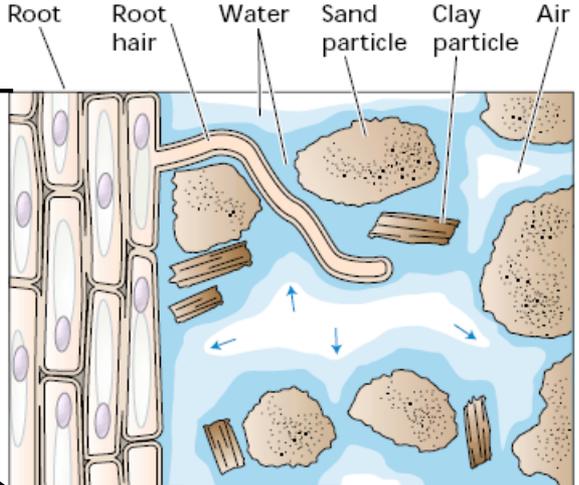
Ψ_g = potencial gravitacional

Ψ_m = potencial mátrico

Ψ_o = potencial osmótico



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



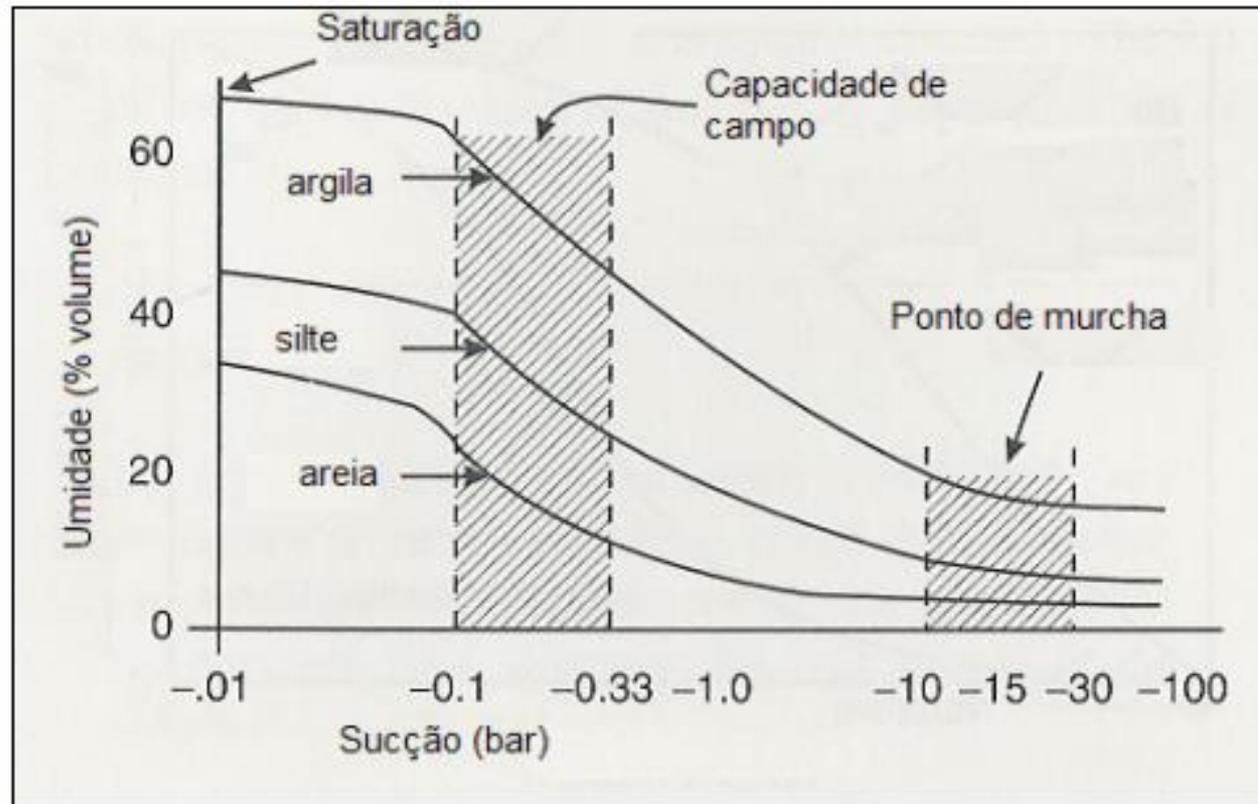
$\Psi = -0,14 \text{ MPa}$

CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO E POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO

- Muitos fatores afetam a relação entre potencial de água no solo (ψ) e o conteúdo de água (Θ)
- **Curva de retenção de água no solo**
- **Medida do status de água no solo:**
 - **Conteúdo de água (Θ)**
 - método gravimétrico
 - métodos eletromagnéticos (TDR)
 - **Potencial de água (ψ)**
 - Tensiômetros
 - Blocos de resistência elétrica

CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO E POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO

Curva de retenção de água no solo



Curva de retenção de água no solo (Ward e Trimble, 2004)

FIGURA 3

CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO E POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO

Medida do conteúdo de água no solo (θ)



Método gravimétrico

•Umidade à base de massa*:

$$u = \frac{m_l}{m_p} = \frac{m_{su} - m_{ss}}{m_{ss}}$$

•Umidade à base de volume:

$$\theta = \frac{v_l}{v_t} = \frac{m_l}{v_t} = \frac{m_{su} - m_{ss}}{v_t}$$

$$\theta = u \cdot d_s$$

*Após secagem em estufa a 105 °C durante 24 h

Medida do potencial de água no solo (ψ)



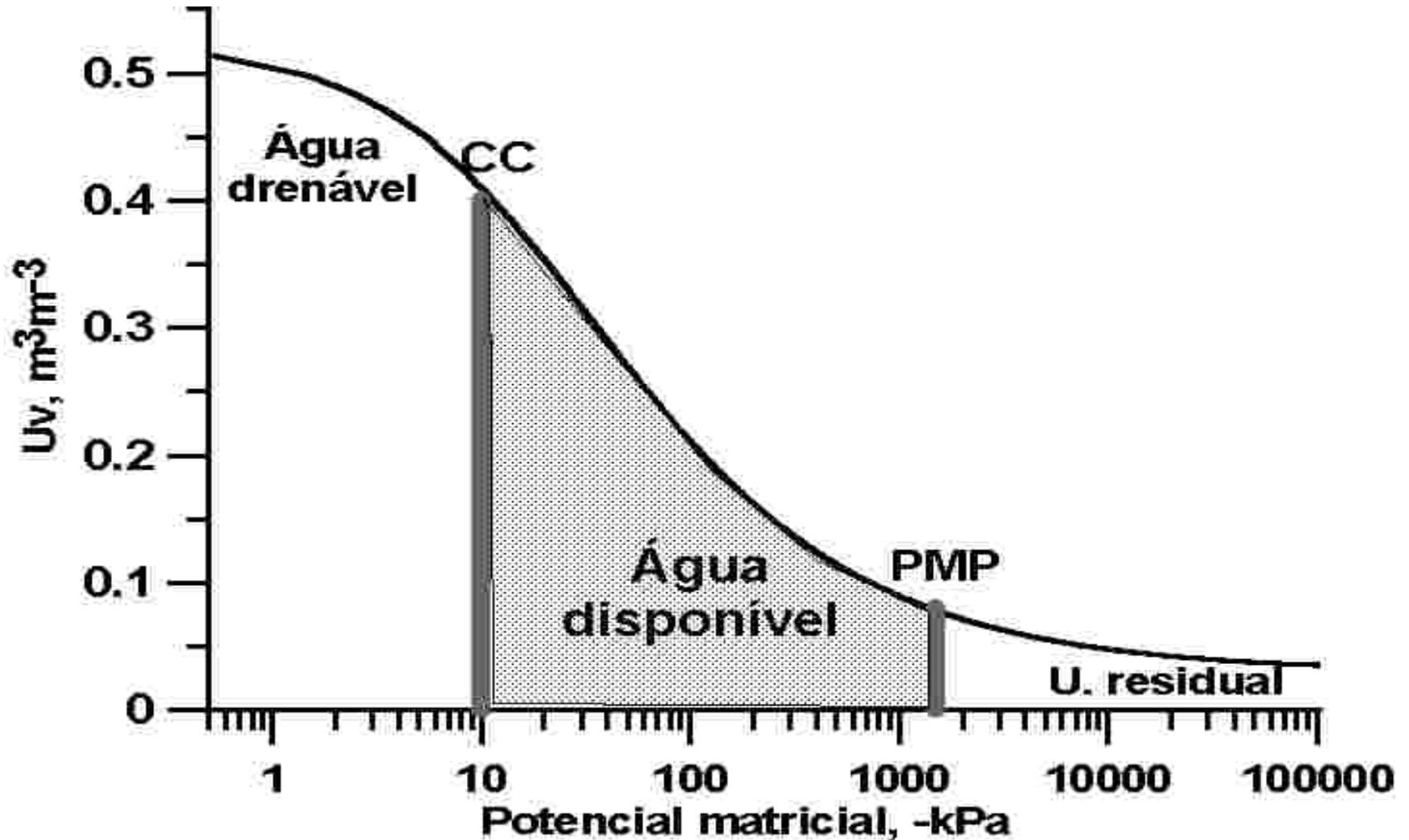
Medida do potencial de água no solo (ψ)

Em laboratório

Câmaras de Richards



Obtenção da curva de retenção de água no solo



Medida do potencial de água no solo (ψ)

No campo: tensiômetro

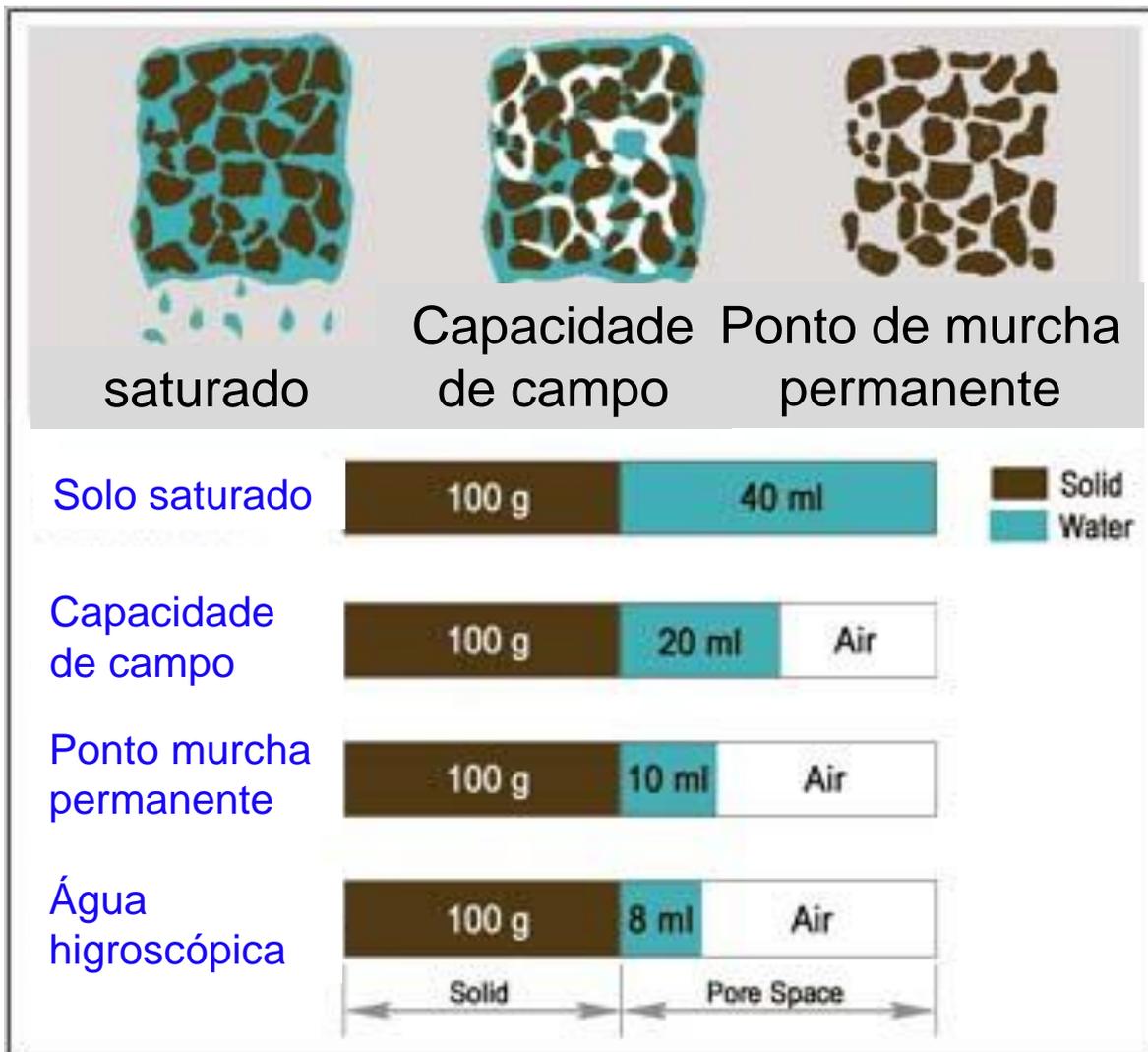


Capacidade de medida = tensões de até 8 m ou 80 kPa

DESCRIÇÃO QUALITATIVA DA UMIDADE DO SOLO

- 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, sem retornar à turgescência após nova adição de água.

DESCRIÇÃO QUALITATIVA DA UMIDADE DO SOLO



Capacidade de campo

$$\Psi = -0,01 \text{ MPa}$$

(solos arenosos)

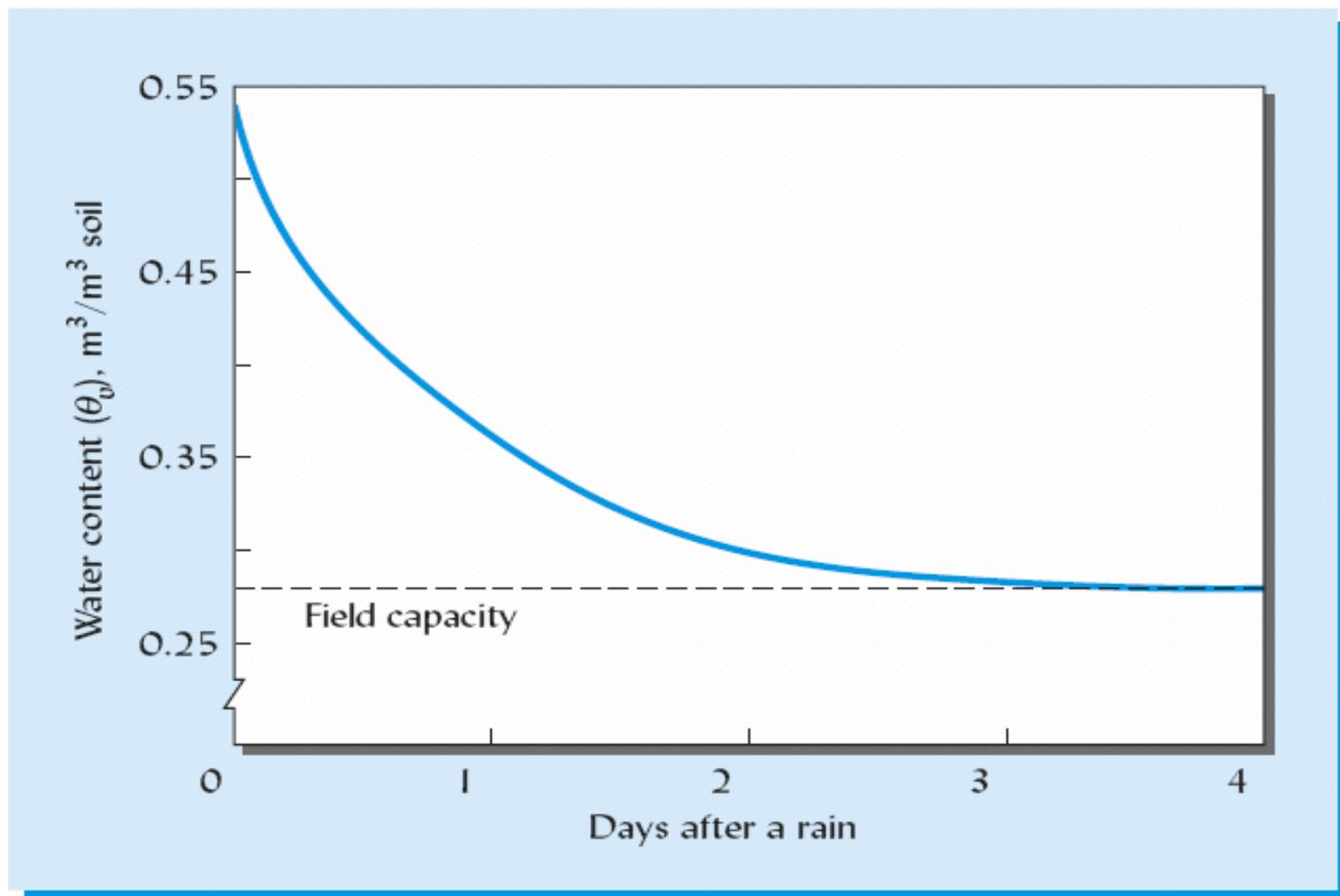
$$\Psi = -0,033 \text{ MPa}$$

(solos argilosos)

Ponto murcha permanente

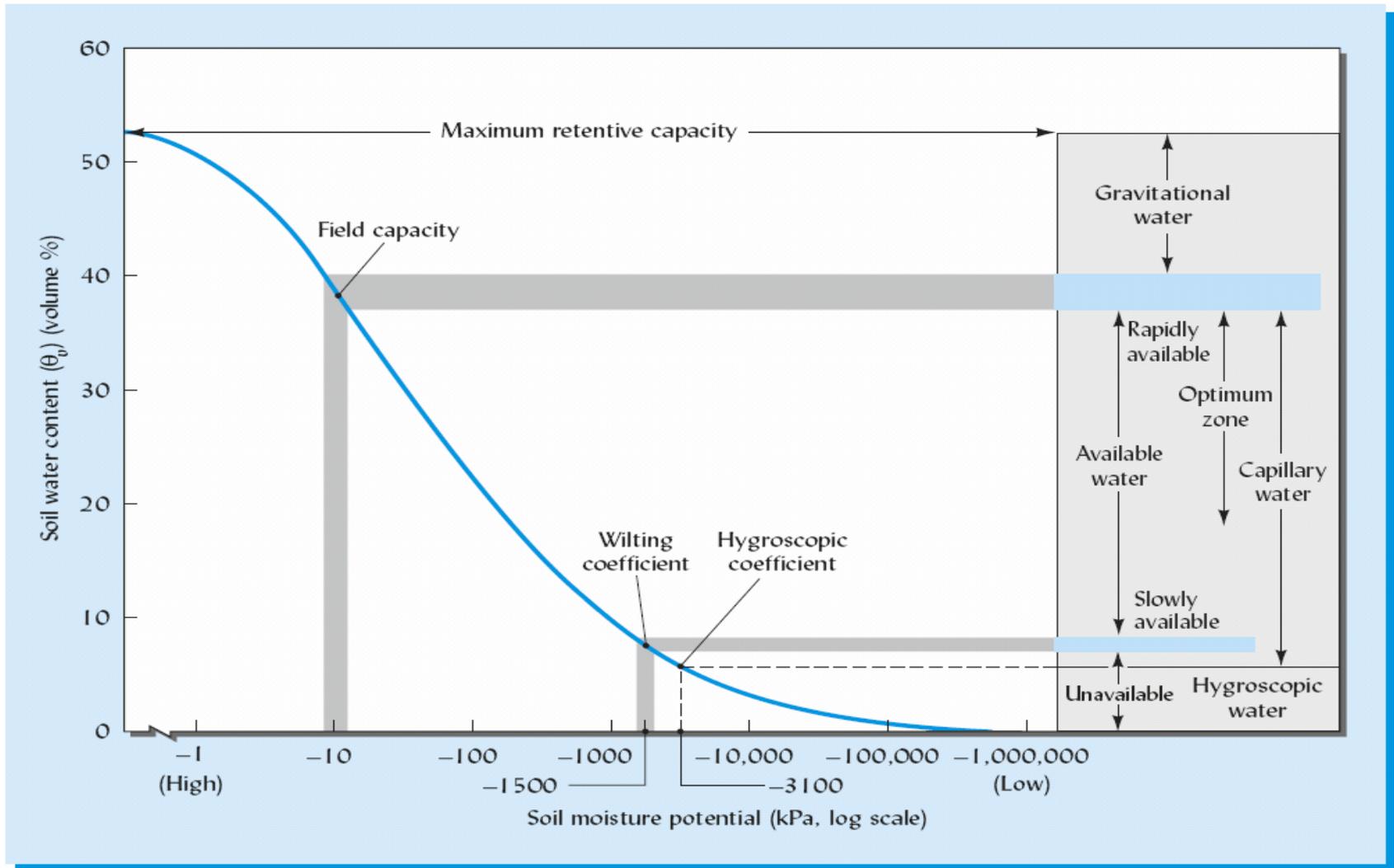
$$Y = -1,5 \text{ MPa}$$

DESCRIÇÃO QUALITATIVA DA UMIDADE DO SOLO



Fonte: Brady e Weil (2013)

DESCRIÇÃO QUALITATIVA DA UMIDADE DO SOLO



Fonte: Brady e Weil (2013)

Disponibilidade de água às plantas

$$AD = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \times P \times 1.000$$

AD = água disponível (mm)

θ_{CC} = Umidade volumétrica na capacidade de campo ($m^3 m^{-3}$)

θ_{PMP} = Umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ($m^3 m^{-3}$)

P = profundidade do solo explorada pelas raízes (m)

OU

$$AD = (U_{CC} - U_{PMP}) \times Ds \times P \times 1.000$$

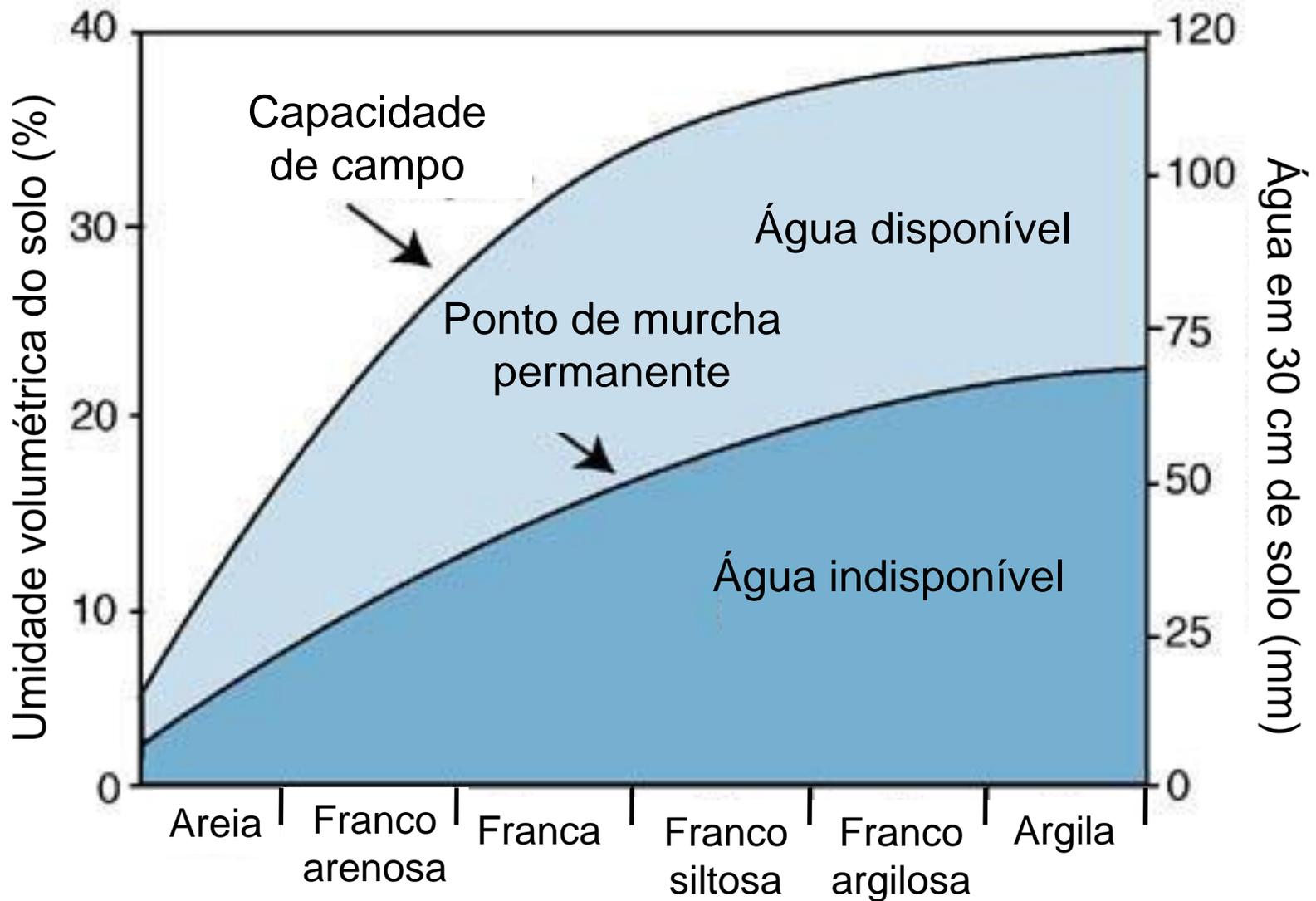
U_{CC} = Umidade gravimétrica na capacidade de campo ($g 100 g^{-1}$)

U_{PMP} = Umidade gravimétrica no ponto de murcha permanente ($g 100 g^{-1}$)

Ds = densidade do solo ($g cm^{-3}$)

P = profundidade do solo explorada pelas raízes (m)

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



CONCLUSÃO

- A molécula de água apresenta polaridade que resulta em atração eletrostática de cátions solúveis e sólidos do solo
- Água movimenta-se no solo por capilaridade, sempre do maior estado de energia para o menor estado de energia (i.e.: solo úmido para seco)
- O conteúdo de água no solo (θ) permite estimar a quantidade de água armazenada no solo
- Porém é a energia de ligação com a superfície sólida (ou potencial da água no solo, ψ) que governa a disponibilidade de água às plantas

OBRIGADO!