

## Regime de água no solo

Prof. Dr. Silvio F. Barros Ferraz  
Depto. Ciências Florestais  
ESALQ/USP

Horizon, 1940

### Questão

Hora	Precip. Acum. A	Precip. Acum. B	Precip. Acum. C
17:00	0	0,0	0,0
17:30	1	0,5	2,0
18:00	2	1,5	5,0
18:30	3	3,5	5,0
19:00	4	6,5	5,0
19:30	5	8,0	5,0
20:00	6	9,0	5,0
20:30	7	9,5	7,0
21:00	8	10,0	9,0
21:30	9	10,0	10,0
22:00	10	10,0	10,0

- Compare as chuvas ocorridas nas estações A, B e C.
  - Intensidade (mm/h)
- Calcule a precipitação total do período de 1 ponto D, localizado entre os pontos A, B e C (a 2Km, 5Km e 3Km, respectivamente) pelo método do inverso da distância.

### Revisão: Precipitação / Interceptação

- A chuva varia no espaço e no tempo. Isto deve ser considerado no planejamento.
- É possível determinar a chuva em 1 ponto com base nos vizinhos. Mas devemos ter usar a técnica adequada.
- Intensidade de chuva -> danos
- Interceptação
  - Entre 10 e 20 %
  - Varia em função do tipo de floresta e da chuva.

### Revisão

Fig. Vianei Soares

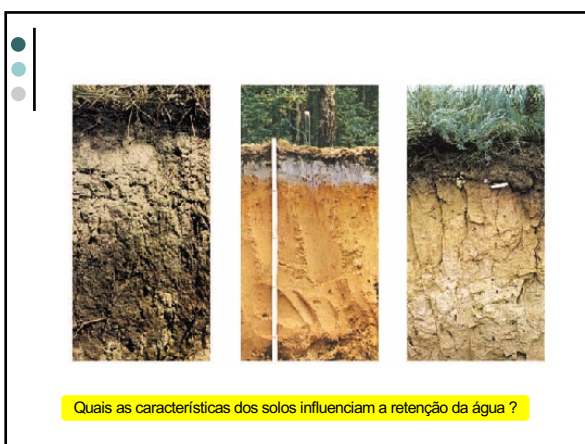
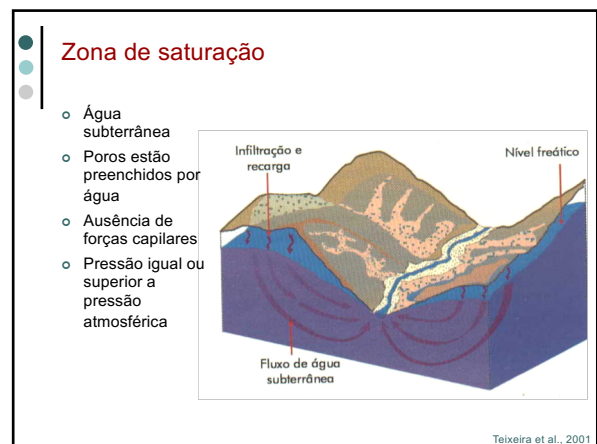
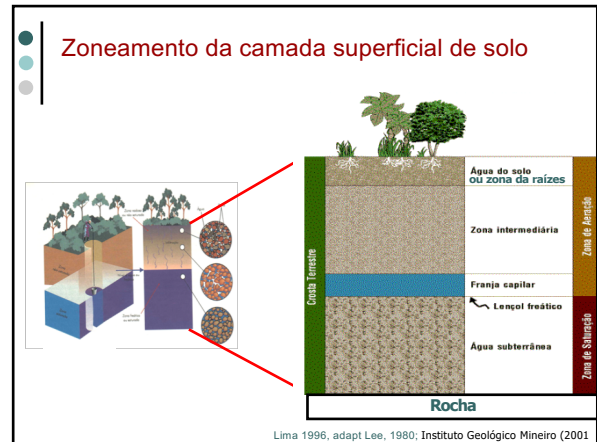
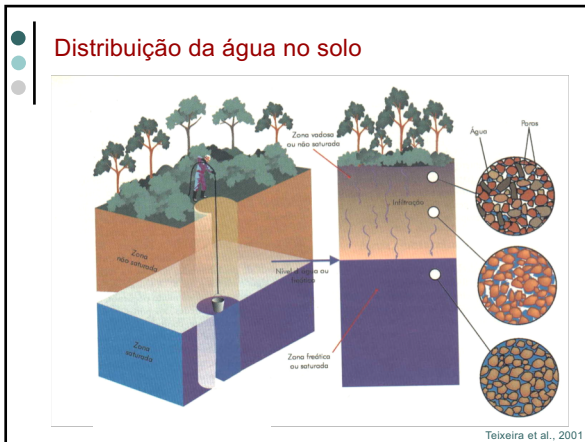
### Tópicos desta aula

- Água no solo
  - Como se distribui
  - Influências das características do solo
  - Como se mede?
- Influência da floresta
- Infiltração
  - Fatores que influenciam
- Escoamento direto
- Balanco hidrico do solo

### Composição do solo

- O solo é uma mistura de materiais sólidos, líquidos e gasosos.
- Sólidos
  - Minerais
    - Argila, silte, areia
  - Matéria orgânica
    - Bactérias, fungos, raízes, insetos
- Gasosa
  - Ar
  - Vapor d' água
- Líquidos
  - Água

Como a água se distribui no solo ?



### Propriedades do solo

- O tamanho e a configuração dos poros é variável e influencia a infiltração e percolação.
  - Poros maiores (gravitacionais)
  - Poros menores (capilares).

Prado, 2004

### Volume do solo

- Solo: contem partículas sólidas (p), água (a), ar+vapor (ar)
- Volume total (Vt) do solo:
 
$$V_t = V_p + V_a + V_{ar}$$
- Volume de poros:
  - Va+Var
- Porosidade do solo ( $\xi$ ): fração do volume de solo que é ocupado pelo poros.
  - Varia de 35% (solos desestruturados) a 65% (solos bem estruturados)

$$P\% = \frac{V_a + V_{ar}}{V_t} \times 100$$

Areia: 0,35 a 0,50  
Argila: 0,43 a 0,52

### Medidas de densidade

- Relação entre massa e volume de solo
- Densidade aparente ( $\rho_s$ ): densidade ou massa específica. É a massa de solo seco por unidade de volume total.
 
$$\rho_s = m_s / V_{total}$$

Onde:  $\rho_s$  = densidade aparente ( $g \cdot cm^{-3}$ )  
 $m_s$  = massa de solo seco  
 $V_{total}$  = volume total de solo

Varia de 1 – 1,8  $g \cdot cm^{-3}$
- Densidade real ou de partícula ( $\rho$ ): É a massa de solo seco existente em um dado volume de partículas (cerca de 2,65g/cm<sup>3</sup>).
 
$$\rho = m_s / V_p$$

Onde:  $\rho$  = densidade real ( $g \cdot cm^{-3}$ )  
 $m_s$  = massa de solo seco  
 $V_p$  = volume de partículas

### Variação das propriedades do solo em função do manejo

Leonardo, 2003

Período de avaliação	Esgotamento superficial (%)	Capacidade de retenção de água (%)	Volume de poros (%)
Inicial	84	4,2	9,3
5 anos depois	7	44,1	46

Primavesi, 1952

CM – cultivo mínimo  
PD – plantio direto  
F – Floresta

### Água do solo

- CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL (CAD)
  - representa o máximo de água disponível que determinado tipo de solo pode reter em função de suas características físico-hídricas.

Sentelhas, 2005

### Ponto de murcha permanente (PMP)

- Umidade do solo na qual as plantas não mais conseguem manter suas folhas túrgidas.
- PMP ocorre a uma pressão aproximada de 15 atm.

Sentelhas, 2005

### Capacidade de campo (CC)

- umidade próxima ao nível de saturação do solo;
- teoricamente significa a umidade que um dado solo sustenta sob a ação da gravidade
- ocorre após cessada a chuva e o excesso de água ter sido drenado por gravidade.

Os níveis de CC e PMP variam de acordo com o solo ?

Sentelhas, 2005

### Água do solo

- Água gravitacional**
  - água drenada antes que a CC seja atingida.
  - estoque de água em poros grandes, em processo de percolação.
- Água não disponível:**
  - Umidade higroscópica;
  - Constituída de filmes finos em torno de partículas de solo abaixo do PMP.
  - Não está disponível para as plantas.

Brady, 1989; Vianei, 2002

Brady, 1989

### Umidade do solo

- Conteúdo de água no solo, estimada pela secagem em estufa e pesagem.
- Pode ser calculada em relação ao volume, ou em relação ao peso.
- Em volume:  $\theta = \frac{V_a}{V_t}$ 
  - $V_a$  é o volume da água
  - $V_t$  é o volume do solo
- Em peso:  $U\% = \frac{m_a}{m_s} \times 100$ 
  - $m_a$  é a massa da água
  - $m_a = (m_u - m_s)$
  - $m_s$  é a massa do solo seco
- Relação entre  $\theta$  e  $U$ :  $\theta = U \times \rho_s$ 
  - Altura de água no perfil (mm):  $\text{mm (água solo)} = \theta \times \text{prof (solo em mm)}$

### Medição da umidade do perfil

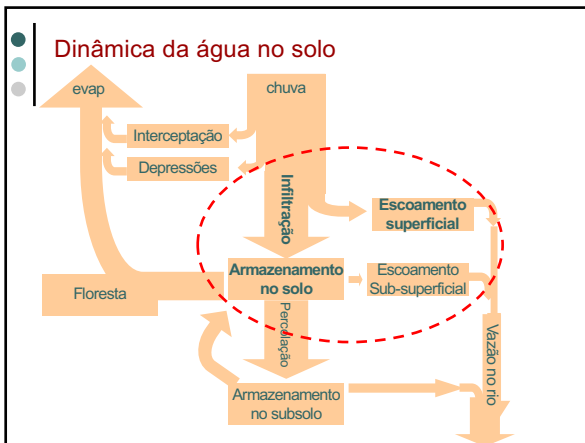
- Determinação da quantidade de água (Q) armazenada num volume unitário de solo
- Realizada ao longo do perfil do solo
- Exige repetição das medições
- Técnicas de medida de umidade do solo:**
  - Amostragens (gravimetria)
  - Infiltrômetro
  - Simuladores de chuva
  - Tensiômetros
  - Moderação de nêutrons
  - Atenuação gama
  - Blocos porosos
  - outras...

### Influência da floresta

- Cobertura florestal reduz o nível de água do solo
- Aumento da capacidade de infiltração
- Regulagem da taxa infiltração / escoamento
  - Melhor distribuição temporal do deflúvio
- Evapotranspiração
  - Rebaixamento em áreas com lençol superficial
- Manejo adequado da floresta**
  - Densidade da floresta
  - Regime de rotação
  - Distribuição espacial

Lima, 1998

# A floresta funciona como uma esponja ?



### Infiltração

- o Movimento de água da superfície para o interior do solo (entrada)
- o Percolação: movimento da água no perfil (interno)
- o Os dois processos estão interligados
- o Determina a porção da água da chuva que penetra no solo
- o **Processo:**
  - Preenchimento dos espaços vazios
  - Deslocamento para camadas mais profundas
  - Redução da infiltração com aumento da umidade
  - Redução da infiltração gravitacional pela forças capilares

### Capacidade de infiltração (fc)

- o Taxa máxima com que a água consegue penetrar no solo em dadas condições, por unidade de área horizontal
- o Expresso em mm/hora ou mm/dia

The graph shows actual infiltration (R(t)) as a series of bars and Horton's curve (Ic(t)) as a smooth curve. The curve starts at a maximum infiltration rate (f<sub>o</sub>) and asymptotically approaches a minimum infiltration rate (f<sub>c</sub>). The time when infiltration begins is t<sub>ex</sub>. The area under the curve is labeled 'Runoff'.

Ir = Infiltração real: a que ocorre de fato em um dado intervalo de tempo  
fc = capacidade de infiltração máxima

**Se P > fc, Ir = fc**  
**Se P < fc, Ir = f**

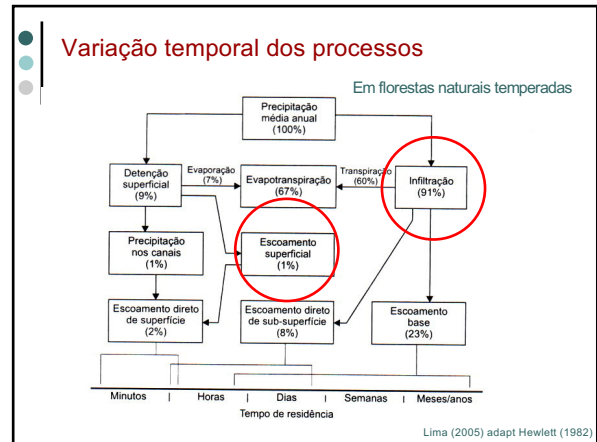
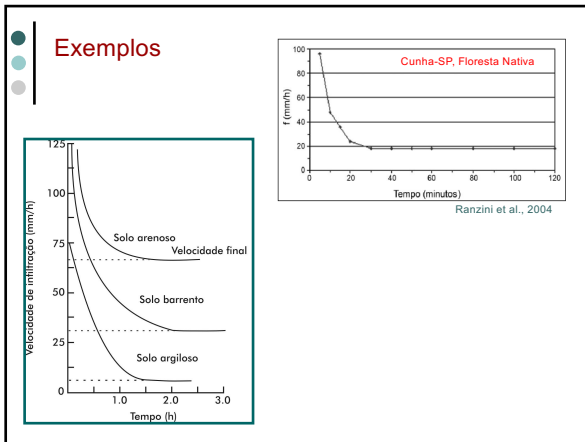
Lima, 1998

### Modelo empírico de Horton

$$f_p = f_c + (f_o - f_c) * e^{-kt}$$

The graph shows the infiltration rate (phi) decreasing over time (tau) towards a minimum value (phi\_chi). The curve is labeled 'Inclinação depende de k'.

- o Fórmula de Horton para taxa de infiltração
  - f<sub>p</sub> = da taxa de infiltração no tempo t
  - t = tempo contado a partir do início da chuva (mm/h)
  - f<sub>o</sub> = taxa de infiltração inicial (mm/h)
  - f<sub>c</sub> = taxa de infiltração mínima (mm/h)
  - k = coeficiente que depende do tipo de solo e de seu teor de umidade.
- o Cálculo dos parâmetros:
  - Estima-se f<sub>c</sub> e f<sub>o</sub> através de um gráfico da variação temporal das capacidades de infiltração medidas (infiltração x tempo).
  - Determina-se k ajustando-se a equação de Horton aos pontos da curva infiltração x tempo.



### Fatores que afetam a Infiltração

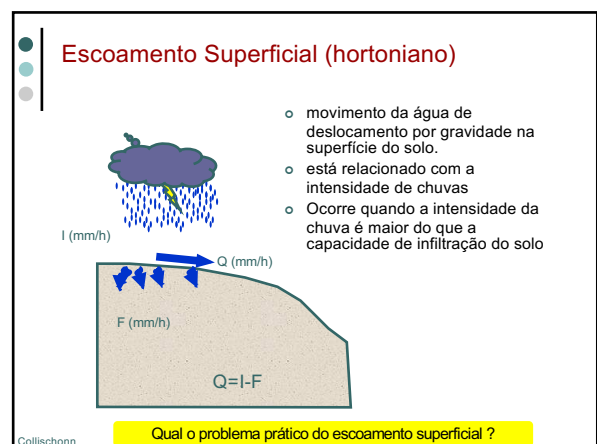
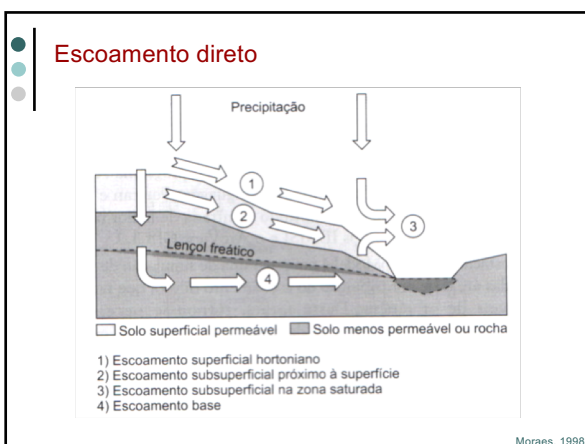
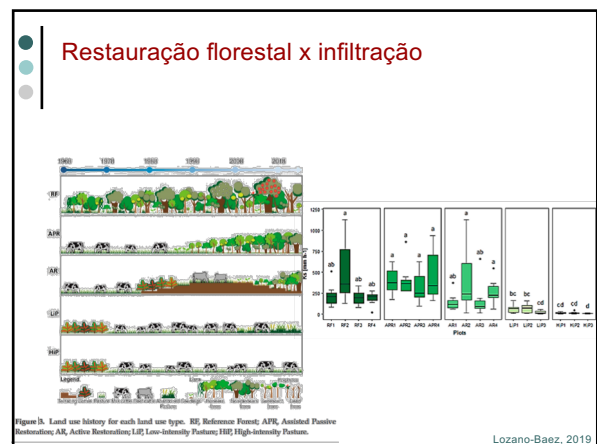
- Intensidade da chuva
  - Umidade do solo
- Geomorfologia
  - Propriedades do solo
- Características físicas da bacia
- Vegetação
- Ação antrópica
  - Uso do solo
- Manejo florestal
  - Tratos silviculturais
  - Compactação do solo
- Práticas de conservação de solo

Lima (2005)

Taxas de infiltração
Solo florestal com serapilheira -> 59,9 mm/h
Remoção da serapilheira -> 49,3 mm/h
Queima anual da serapilheira -> 40,1 mm/h
Pastagem degradada -> 24,1 mm/h

Arend, 1942

O que acontece com a água que não infiltra ?



### Controle do escoamento superficial

Controle de processos erosivos!

### Compartimentação da bacia

Processos:

- Infiltração
- Escoamento
- Deposição
- Saturação
- Exposição
- Erosão
- Afloramento
- Proteção ripária

### Pontos mais importantes

- Solo
  - Apresenta características que determinam a capacidade de retenção de água
- Infiltração
  - Relevo e declividade
  - Solo
  - Uso da terra
  - Manejo
- Escoamento superficial
  - Associado a danos ambientais
  - Deve ser evitado