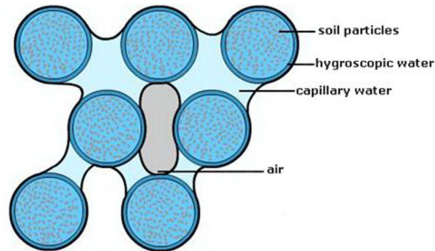
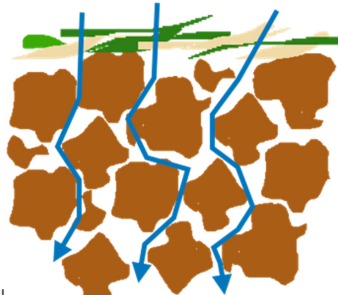


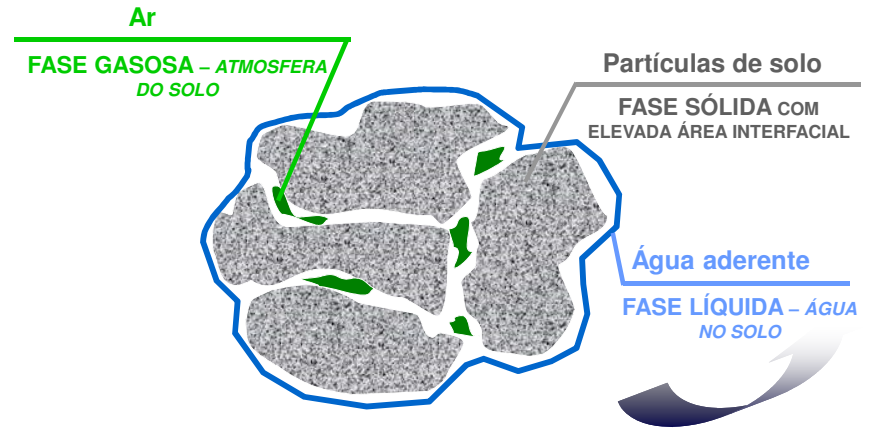
HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS

Água no solo

Infiltração



Os solos (sistema físico heterogéneo, polifásico, particuloso, disperso, poroso e anisotrópico) atuam na fase terrestre do ciclo hidrológico como reservatórios de regulação, “amortecendo” o caudal drenado superficialmente.



Teor volúmico de humidade

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} = n \cdot s \quad (\leq n)$$

Grau de saturação

$$s = \frac{V_w}{V_f} = \frac{V_w}{V_a + V_w} \quad (\leq 1)$$

(s unitário ... algum ar ficará sempre retido nos espaços inter-partículas do solo).

Porosidade do solo

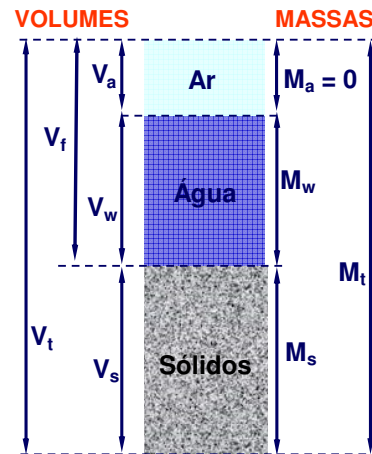
$$n = \frac{V_f}{V_t} = \frac{V_a + V_w}{V_t}$$

$$\theta = n \cdot s$$

Teor mássico de humidade

$$w = \frac{M_w}{M_s}$$

Representação esquemática das fases sólida, líquida e gasosa de um solo

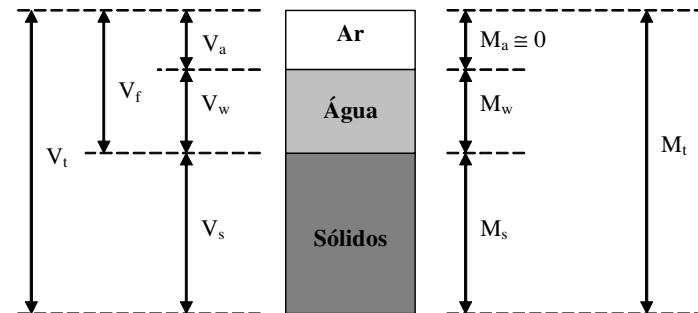


$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s} \quad \text{Massa volúmica dos sólidos}$$

$$\rho_t = \frac{M_t}{V_t} \quad \text{Massa volúmica aparente do solo}$$

$$\rho_d = \frac{M_s}{V_t} \quad \text{Massa volúmica aparente do solo seco}$$

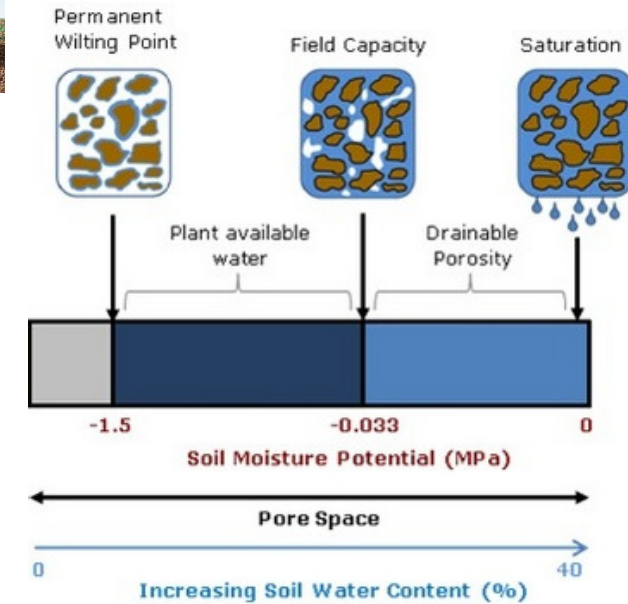
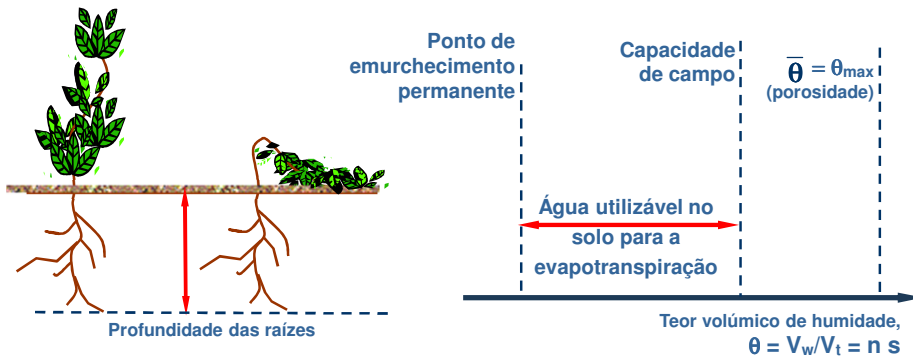
$$\rho_w = \frac{M_w}{V_w} \quad \text{Massa volúmica da água}$$





❖ **CAPACIDADE DE CAMPO, θ_{cc}** : Valor final do teor volúmico de humidade de um solo natural, de características uniformes, que tenha sido saturado e deixado drenar livremente durante dois a três dias (quantidade residual de água que um solo consegue reter contra a ação prolongada da gravidade).

❖ **PONTO DE EMURCHECIMENTO PERMANENTE, θ_{ce}** : Valor máximo do teor volúmico de humidade de um solo já não utilizável pelas plantas (quantidade de água existente na zona das raízes das plantas a partir da qual a planta não consegue recuperar a turgidez mesmo que posteriormente colocada numa atmosfera saturada durante 12 h).



TEORES VOLÚMICOS DE HUMIDADE, $\theta = V_w/V_t$, correspondentes à saturação, à capacidade de campo, ao coeficiente de emurchecimento permanente e à diferença entre os dois últimos teores (água utilizável para a evapotranspiração)

TEXTURA DO SOLO	Saturação ($V_w = V_t$) (mm/m)	Capacidade de campo (mm/m)	Ponto de emurchimen. permanente (mm/m)	Água utilizável (mm/m)
Arenosa	350	100	25	75
Siltosa	450	267	100	167
Argilosa	500	325	208	117

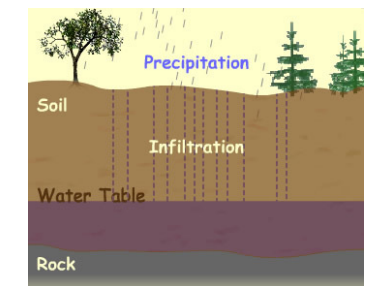


❖ A **infiltração**, enquanto **processo**, diz respeito à **passagem da água através da superfície do solo para o seu interior**.

❖ Tal termo é, por vezes, também utilizado para designar, embora incorretamente, a taxa de infiltração da água através da superfície do solo.

❖ A máxima taxa a que, sob dadas condições e em cada instante, a água penetra através da superfície do solo é designada por vezes por capacidade de infiltração .

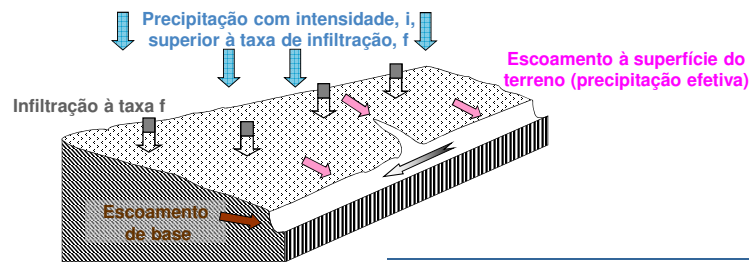
❖ A taxa efetiva de infiltração iguala a capacidade de infiltração sempre que à superfície do solo existe água disponível para o processo da infiltração.





Havendo disponibilidade de água à superfície do solo, a taxa de infiltração depende, entre outros fatores menos significativos, das **caraterísticas da superfície do solo** (existência ou não de uma crosta superficial), do **tipo, desenvolvimento e densidade** da cobertura vegetal, das **caraterísticas físicas do solo**, incluindo tamanho dos grãos e sua graduação, da temperatura da água e da qualidade da água, incluindo constituintes químicos e outras impurezas.

A **infiltração** é, de longe, o mais significativo processo das **perdas da precipitação para o escoamento**.



Interesse do estudo do processo e da sua quantificação

Transformação da precipitação total em precipitação efetiva responsável pelo escoamento superficial (por dedução das perdas de precipitação para o escoamento devidas à infiltração).

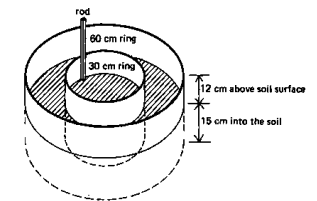
Estabelecimento de dotações de rega, no sentido de averiguar a quantidade de água susceptível de ser armazenada no solo (na profundidade das raízes).

Análise da recarga de aquíferos.

Medição experimental

Métodos diretos: método gravimétrico, por diferença de peso.

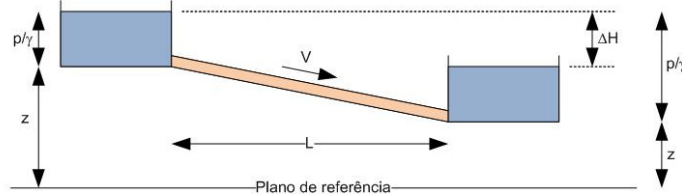
Métodos indiretos: por exemplo, relacionando o conteúdo de água do solo com a condutividade elétrica do mesmo.



Infiltrômetro de duplo anel

Lei de Darcy - solos saturados

A diferença de cota piezométrica entre dois pontos (ou duas secções) de um meio poroso saturado da lugar a um escoamento que se espera laminar, devido à sua baixa velocidade e as reduzidas dimensões dos canalículos através do qual ocorre. Nestas condições a velocidade do escoamento é proporcional à perda de carga. Por desenvolvimento desta premissa → Lei de Darcy



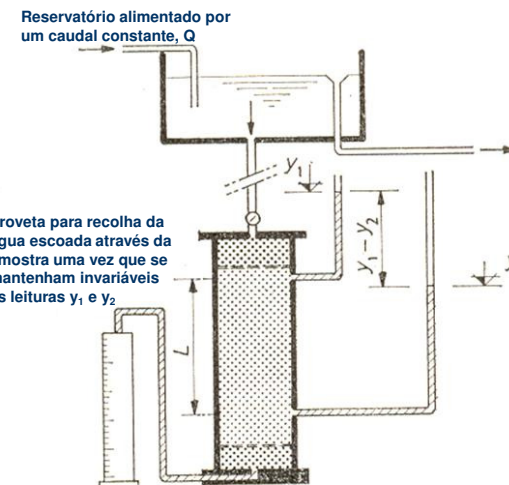
• Solos saturados

$$\bar{V} = -K_s \text{grad}(H) = -K_s \frac{\Delta H}{L}$$

- \bar{V} - velocidade aparente ou caudal específico
- H - potencial hidráulico
- K_s - condutividade hidráulica do solo saturado (depende do solo e do líquido)

Permeâmetro de carga constante

Determinação laboratorial da permeabilidade

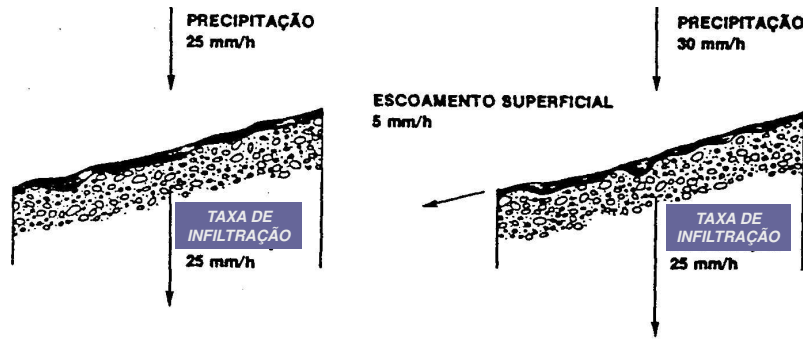


$$K_s = \frac{V}{J} = \frac{\frac{Q}{A}}{\frac{y_1 - y_2}{L}}$$

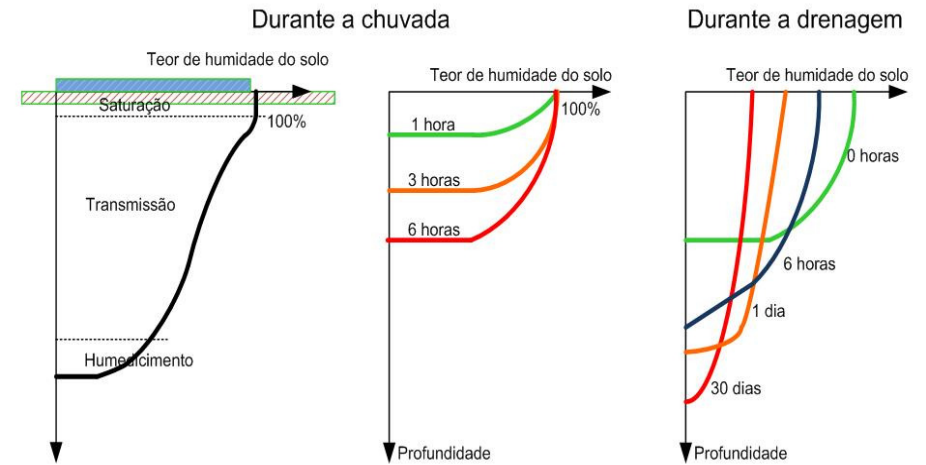
- K_s : condutividade hidráulica saturada
- V: velocidade média do escoamento
- A: área da secção transversal da amostra de solo
- y_1 e y_2 : cotas da superfície livre nos dois tubos auxiliares
- L: distância entre os eixos dos dois tubos auxiliares (percurso da água)



Infiltração não condicionada pela disponibilidade de água à superfície do solo.



Mantendo-se a intensidade da precipitação, manter-se-á também a taxa de infiltração ?



A taxa de infiltração ao longo de um acontecimento pluviométrico tende a **decrecer** a partir um valor inicial máximo. Se a duração da precipitação for suficientemente longa, tal taxa atingirá um valor mínimo, sensivelmente constante, correspondente a uma taxa de infiltração de equilíbrio.

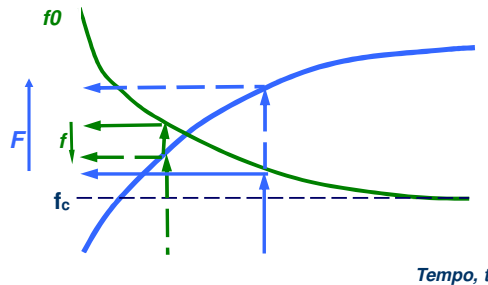
Taxa de infiltração, f , e Infiltração acumulada, F

(Não existindo qualquer restrição da água necessária ao fenómeno)

MODELO DE HORTON (1933)

$$f = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt}$$

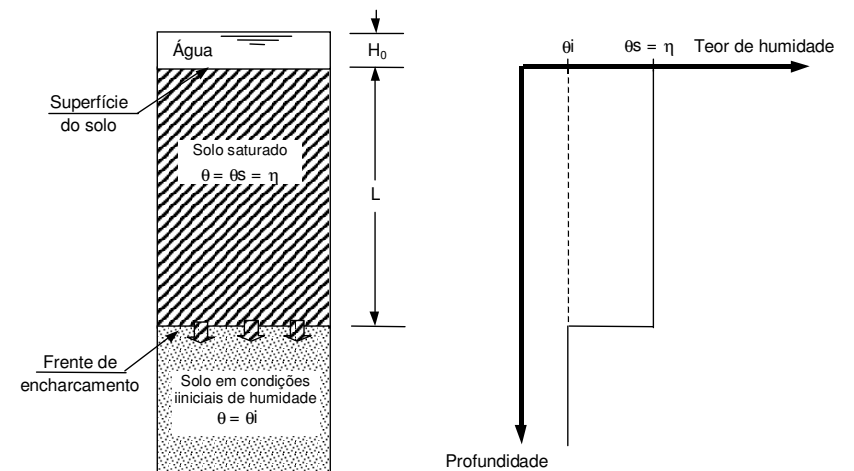
$$F = \int f dt = f_c t + \frac{f_0 - f_c}{k} (1 - e^{-kt})$$

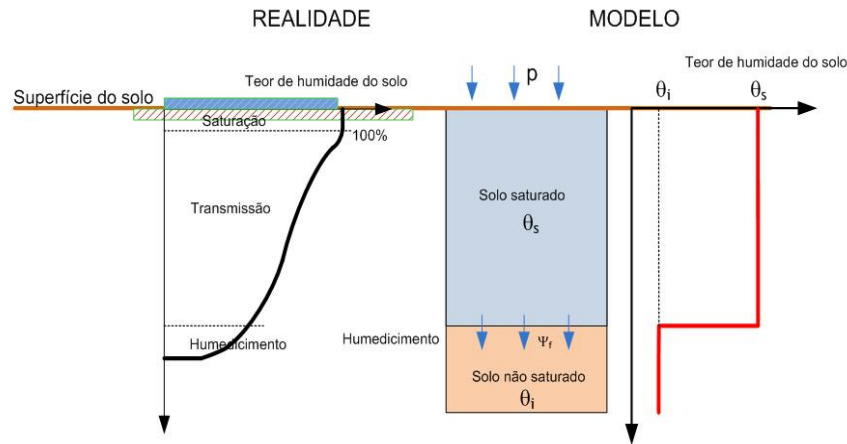


- ✓ f_0 valor máximo inicial da taxa de infiltração
- ✓ f_c valor final da taxa de infiltração correspondente à saturação do solo
- ✓ k constante empírica
- ✓ t tempo após o início da infiltração



Modelo de Green e Ampt





Modelo de Green e Ampt

$$f = K_s \left[1 + \frac{\Psi_s (\theta_s - \theta_i)}{F} \right]$$

$$b = -K_s \Psi_s (\theta_s - \theta_i)$$

$$F = K_s t + \frac{b}{K_s} \ln \left(1 + \frac{K_s F}{b} \right)$$

- ❖ T – tempo [T]
- ❖ F – infiltração no instante t [L]
- ❖ K_s – condutividade hidráulica saturada [$L T^{-1}$]
- ❖ Ψ_s – sucção na frente de enchimento [L]
- ❖ θ_i – teor volúmico inicial [-]
- ❖ θ_s – teor volúmico de saturação [-]

$$F^{(n+1)} = K_s t + \frac{b}{K_s} \ln \left(1 + \frac{K_s F^{(n)}}{b} \right)$$

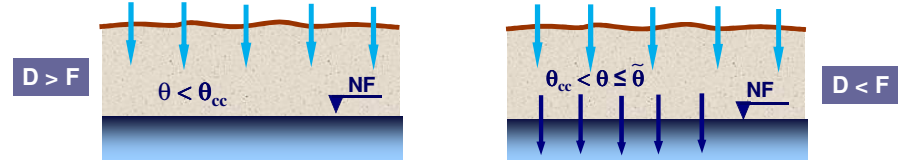
(... rapidamente convergente ...)

Valores médios dos parâmetros de Green e Ampt

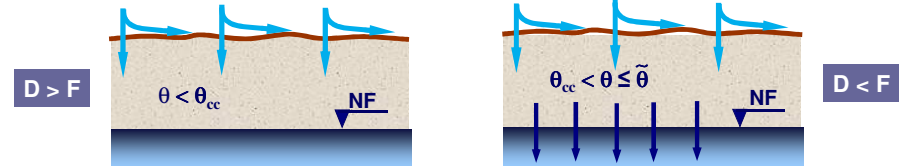
Solo	Sucção na frente de Humedecimento $-\Psi_s$ (cm)	Condutividade hidráulica do solo saturado K_s (cm h ⁻¹)
Argiloso	31.63	0.03
Argilo-arenoso	23.90	0.06
Argilo-sitoso	29.22	0.05
Franco-argiloso-arenoso	21.85	0.15
Franco-argiloso	20.88	0.10
Franco-argiloso-sitoso	27.30	0.10
Franco-arenoso	11.01	1.09
Franco	8.89	0.34
Franco-siltoso	16.68	0.65
Arenoso	4.95	11.78
Arenoso-franco	6.13	2.99
Siltoso		

- Num dado instante:
- f taxa de infiltração (mm/h)
 - i intensidade da precipitação (mm/h)
 - F quantidade de água infiltrada (infiltração acumulada) (mm)
 - D deficiência de humidade no solo relativamente à capacidade de campo

Intensidade da precipitação, $i <$ taxa de infiltração, f , $\leftrightarrow i < f$
(só infiltração, sem ou com alimentação das reservas subterrâneas)

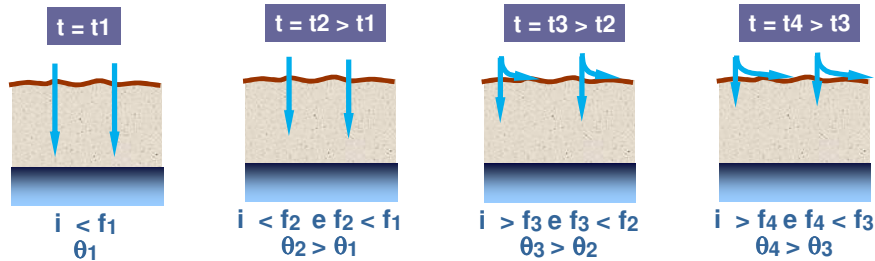
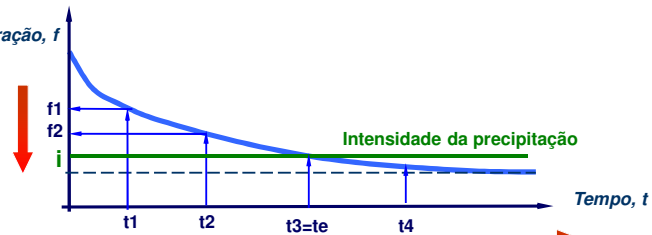


intensidade da precipitação, $i >$ taxa de infiltração, f , $\leftrightarrow i > f$
(Infiltração e escorrência superficial, sem ou com alimentação das reservas subterrâneas)





Taxa de infiltração, f

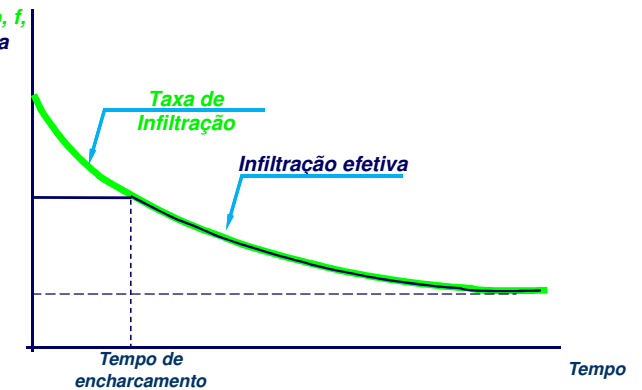


Tempo de encharcamento, t_e : instante correspondente à saturação da superfície do solo com aparecimento de uma fina película de água à superfície (instante de início do escoamento à superfície do terreno).



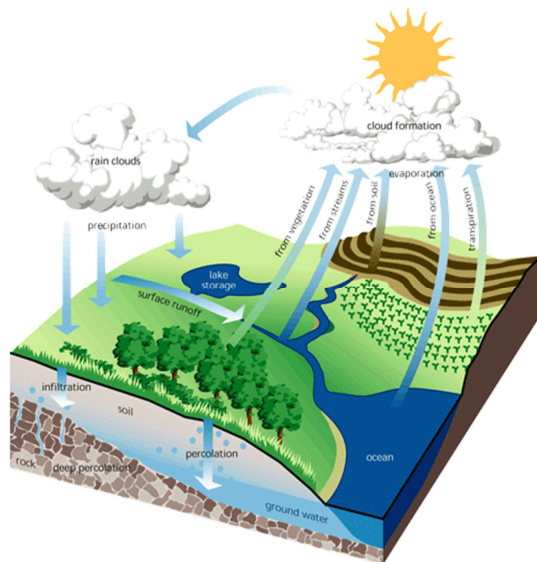
No caso de a infiltração ser condicionada pela disponibilidade de água à superfície, a infiltração até ao tempo de encharcamento é igual à intensidade da precipitação, diminuindo a partir daquele instante até ao valor mínimo característico do solo.

Taxa de infiltração, f ,
infiltração efetiva



Exercícios

EXERCÍCIOS
28, 29, 30 e 32



Água no solo. Infiltração

28. A massa volúmica aparente de um solo seco é 1750 kg/m^3 e a massa volúmica dos sólidos é 2500 kg/m^3 . Determine a porosidade do solo.
(R: 0.3).

29. Um vaso, munido de um orifício no fundo, contém 5 l de um solo com um teor volúmico de humidade de 0.15. Sabendo que a capacidade de campo do solo é 0.28, calcule a quantidade de água que sairá pelo orifício quando se deitar no vaso 1 l de água.
(R: 0.35 l).



30. Num terreno com 1 ha encontra-se instalada uma cultura agrícola com a profundidade radicular de 0.5 m. Sabendo que o solo tem uma capacidade de campo de 0.45 e que o mínimo teor volúmico de humidade admissível para produção é 0.24, estime o volume de água de rega para passar desse mínimo à capacidade de campo. Sabendo que a evapotranspiração média é de 3 mm/d estime também o intervalo de tempo entre duas regas sucessivas.
(R: 1050 m^3 ; 35 dias).



32. Determinado solo apresenta quando saturado um teor volúmico de humidade, θ_s , de 0.40 e uma condutividade hidráulica saturada, K_s , de 0.4 mm/min. Partindo de um teor volúmico de humidade, θ_i , de 0.20 e sabendo que a sucção na frente de humedecimento, Ψ_f , é -50 mm, determine: a) a infiltração acumulada ao fim de uma hora; b) o tempo necessário para infiltrar à capacidade do solo 60 mm de água.

$$b = -K_s \Psi_f (\theta_s - \theta_i) \quad F^{(n+1)} = K_s t + \frac{b}{K_s} \ln \left(1 + \frac{K_s F^{(n)}}{b} \right) \quad t = \frac{1}{K_s} \left[F - \frac{b}{K_s} \ln \left(1 + \frac{K_s F}{b} \right) \right]$$

(R: 40.1 mm; 101.4 min).