

Infiltração

1. DEFINIÇÕES

A infiltração é o processo pelo qual a água penetra nas camadas superficiais do solo, se move para baixo através dos vazios pela ação da gravidade, até atingir uma camada impermeável, formando um lençol d'água.

1. DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DA ÁGUA

A parte superior da crosta terrestre é normalmente porosa até uma maior ou menor profundidade. Os poros podem, nesta porção da litosfera, estar parcialmente ou completamente cheios de água. A camada superior onde os poros estão parcialmente cheios d'água é designada **zona de aeração**. Imediatamente abaixo onde os interstícios estão repletos d'água, esta é a **zona de saturação**.

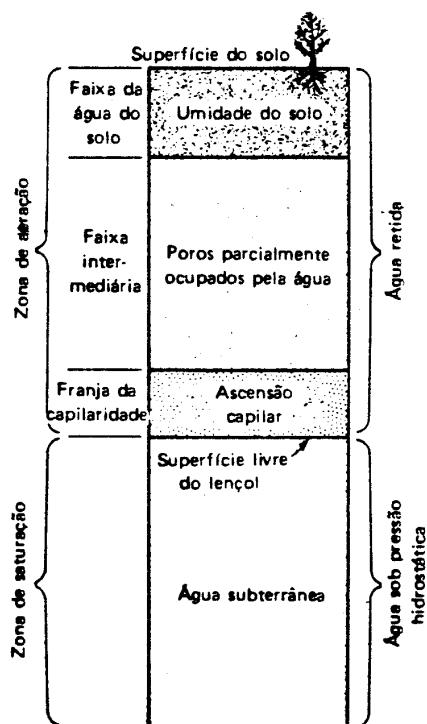


Figura 6.1 – Distribuição vertical da água. (Fonte: CETESB, 1978).

A **zona de aeração** é dividida em 3 faixas: a faixa de água no solo, a faixa intermediária e a franja de capilaridade. Seus limites não são bem definidos; há uma transição gradual de uma para outra.

- **Faixa de água do subsolo** – É de particular importância para a agricultura porque a agricultura porque fornece a água para crescimento das plantas. A água mantém-se nesta faixa pela atração molecular e pela ação da capilaridade, agindo contra a força da gravidade. A atração molecular tende a reter uma delgada película de água sobre a superfície de cada partícula sólida. A capilaridade retém água nos pequenos interstícios das partículas do solo (CETESB, 1978). Só quando a água penetra suficientemente nesta faixa, saturando a capacidade de retenção de água pelas forças capilares, é que a mesma começa a se deslocar verticalmente para baixo (percolação) (Wilson, 1969).

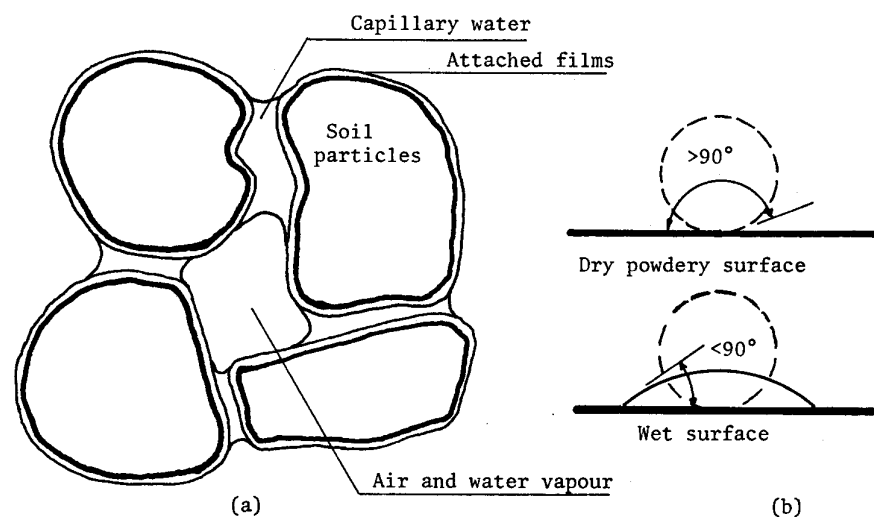


Figura 6.2 – Água no solo. (Fonte: RAUDIKIVI, 1979).

Obs.: Embora se faça distinção entre infiltração e percolação no movimento da água dentro do solo, os dois fenômenos estão fortemente associados, uma vez que a infiltração não pode continuar livremente sem que a percolação remova a água infiltrada anteriormente (LINSLEY, 1975).

- **Faixa intermediária** – da mesma forma que na faixa de água do solo, esta faixa retém a água por atração molecular e capilaridade. A água retida nesta faixa é um armazenamento morto, visto que não pode ser aproveitada para qualquer uso.
- **Faixa de capilaridade** – retém a água acima da zona de saturação por capilaridade, opondo-se a ação da gravidade.

A **zona de saturação** é a única dentre as águas da superfície que propriamente constitui a água subterrânea, cujo movimento se deve também à ação da gravidade, obedecendo as leis do escoamento subterrâneo.

2. GRANDEZAS CARACTERÍSTICAS

3.1. VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO

É a velocidade média com que a água atravessa o solo, ou seja, é a vazão dividida pela secção reta do escoamento. A área inclui a projeção dos poros por onde escoam a água e a projeção da área dos órgãos. É a velocidade de Darcy.

$$v = K \cdot \frac{dh}{dt}$$

A velocidade de filtração não é um bom parâmetro da infiltração pois depende somente da permeabilidade (**K**) e do gradiente hidráulico (**dh/dt**). A infiltração, por sua vez, depende também de condições de contorno, sendo melhor utilizar o conceito de Capacidade de infiltração como parâmetro de medida.

3.2. CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO (F_p)

É a taxa máxima que um solo é capaz de absorver água, sob uma dada condição. Geralmente é expressa em mm/h.

A intensidade da chuva (**i**) afeta a quantidade de água que se infiltra no solo e a que escoam superficialmente. Se a taxa real de infiltração é **f_a**, então a capacidade de infiltração **f_p** representa o máximo valor de **f_a**:

$$f_a \leq f_p$$

$$\text{e, como } i > f_p \rightarrow f_a = i$$

$$i \geq f_p \rightarrow f_a = f_p$$

3. FATORES QUE INTERVEM NA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO

São os seguintes os fatores que intervinientes no fenômeno da infiltração.

- 4.1. Tipo de solo** – A capacidade de infiltração varia diretamente com a **porosidade** e com o **tamanho das partículas** do solo. As características presentes em pequena camada superficial, com espessura da ordem de 1 cm, tem grande influência sob a capacidade de infiltração (PINTO et al., 1976).
- 4.2. Umidade do solo** – Quando a água é aplicada em um solo seco, não há movimento descendente dessa água até que as partículas do solo estejam envolvidas por uma fina película d'água. As forças de atração molecular e capilar fazem com que a capacidade de infiltração (f_p) inicial de um solo seco seja muito alta. A medida que a água percola, a camada superficial vai ficando semi-saturada, fazendo com que as forças de capilaridade diminuam, diminuindo também f_p , que tende a um valor constante após algumas horas.

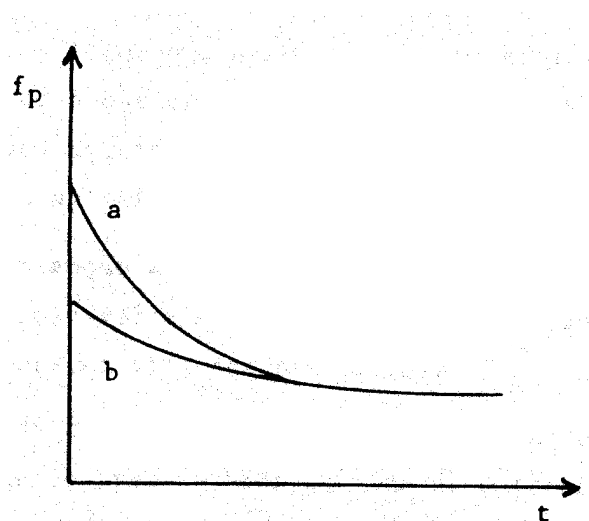


Figura 6.3 – Variação da capacidade de infiltração de um solo para condições iniciais a) seca e b) úmida. (Fonte: RAUDIKIVI, 1979).

- 4.3. Vegetação** – Uma cobertura vegetal densa como grama ou floresta tende a promover maiores valores de f_p , devido ao **sistema radicular** que proporciona a formação de pequenos túneis e que retira umidade do solo através da transpiração, e à **cobertura vegetal** que previne a compactação do solo.

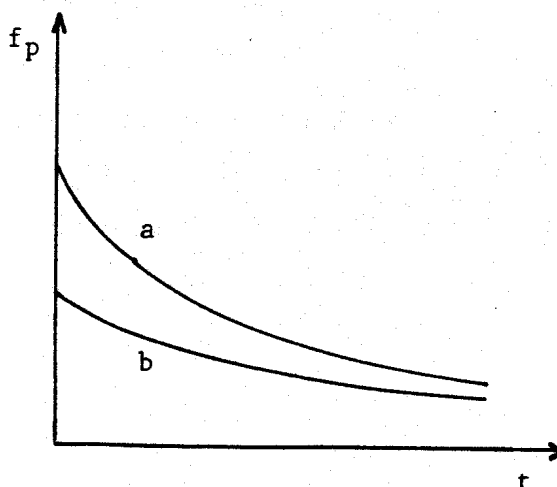


Figura 6.4 – Capacidade de infiltração para um mesmo solo com a) cobertura vegetal e b) solo nu. (Fonte: RAUDIKIVI, 1979).

4.4. Compactação – solos nus podem se tornar parcialmente impermeáveis pela ação compactadora das grandes gotas de chuva (que também preenchem os vazios do solo com material fino), e pela ação do tráfego constante de homens, veículos ou animais.

4.5. Altura da retenção superficial e espessura da camada saturada – a água penetra no solo sob a ação da gravidade, escoando nos canalículos formados pelos interstícios das partículas.

A água da chuva dispõe-se sobre o terreno em camada de pequena espessura que exerce pressão hidrostática na extremidade superior dos canalículos.

No início da precipitação o solo não está saturado; a água que nele penetra vai constituir uma camada de solo saturado cuja espessura cresce com o tempo.

O escoamento da água é função da soma das espessuras da altura de retenção superficial “h” e da espessura da camada saturada H, e a relação resistência é representada por uma força proporcional à espessura da camada saturada H. No início da precipitação, a relação $\left(\frac{H+h}{H} \right)$ é relativamente grande, decrescendo com o tempo e influenciando na diminuição da capacidade de infiltração.

5. CURVA DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO

A capacidade de infiltração (f_p) varia com o tempo, ou seja o valor de f_p é máximo no início da chuva, o qual denominamos de f_o . com o passar do tempo a capacidade de infiltração decresce, tendendo a se manter constante quando o solo começa a ficar saturado (f_c).

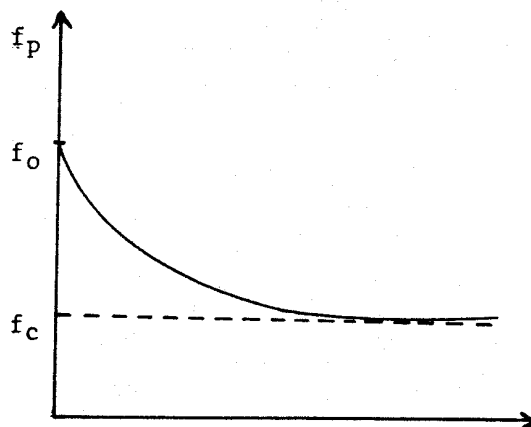


Figura 6.5 – Curva de infiltração.

Segundo Horton, f_p tende a f_c após um período compreendido entre 1 e 3 horas. Horton propôs a seguinte equação para descrever a curva de infiltração de um solo.

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

onde: f_p é a capacidade de infiltração no tempo t .
 f_c é a capacidade de infiltração final.
 f_o é a capacidade de infiltração inicial.
 k é uma constante.

6. MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO

6.1. INFILTRÔMETROS

Os infiltrômetros são aparelhos para determinação direta da capacidade de infiltração do solo. Consistem de tubos ou qualquer outro limite projetado para isolar uma seção do solo.

Geralmente são formados por dois cilindros concêntricos. A razão da existência do cilindro externo é prover a quantidade de água necessária ao umedecimento lateral, atenuando o efeito da dispersão da água no tubo interno.

A água é adicionada nos dois compartimentos, sendo mantida, continuamente, uma lâmina d'água de 5 mm em ambos. A taxa com que a água infiltra é medida no cilindro interno.

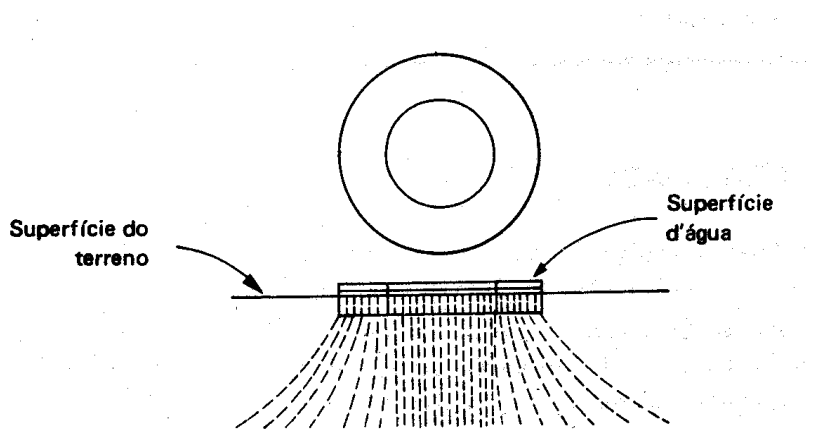


Figura 6.6 – Infiltrômetro. (Fonte: VILLELA, 1975).

6.2. MÉTODO DO ÍNDICE ϕ

Conhecendo-se a precipitação e o escoamento superficial, em uma bacia pode-se calcular por diferença, a capacidade de infiltração da mesma, embora o valor encontrado englobe, além da infiltração, toda interceptação e armazenagem nas depressões. Este por menor, entretanto, não afeta a solução dos problemas de um projeto, vez que normalmente a meta é o conhecimento do escoamento superficial resultante de uma certa precipitação, conhecida a capacidade de infiltração (VILLELA, 1975).

O método é apresentado, a seguir, em forma de algoritmo:

1. Computar, para cada intervalo de tempo, a precipitação ocorrida.
2. Deduzir da precipitação total (**P**), a quantidade de água escoada.
3. Dividir o valor obtido pelo tempo de duração total da chuva. Obten-se desta forma o ϕ hipotético.
4. Comparar o ϕ_h com as precipitações observadas em cada intervalo de tempo. Caso, algum intervalo, a precipitação tenha sido inferior ao ϕ_h , exclui-lo do cálculo e repetir o processo.

Exemplo numérico:

Durante a cheia, em uma bacia produzida por uma chuva cuja altura é de $P = 76\text{mm}$, o escoamento superficial foi equivalente a $Q = 33\text{mm}$. A distribuição do tempo da chuva é dada abaixo:

Tabela 6.1

Horas	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	Total
Chuvvas(mm)	8	18	25	12	10	3	76

Temos que:

- Recarga da bacia ($L + G$) = $P - Q = 76 - 33 = 43\text{ mm}$
- Supondo o excesso de chuva de 6 horas, obtemos:

$$\text{Índice } \phi = \frac{43}{6} = 7,2\text{ mm/h}$$

- Entretanto, este valor é superior á chuva precipitada na 6^a hora; assim, essa chuva não foi efetivada e deve portanto ser retirada dos cálculos.

$$L + G = (76 - 3) - 33 = 40\text{ mm}$$

- Supondo agora o excesso de chuva de 5 horas:

$$\text{Índice } \phi = 40/5 = 8,0\text{ mm/h.}$$

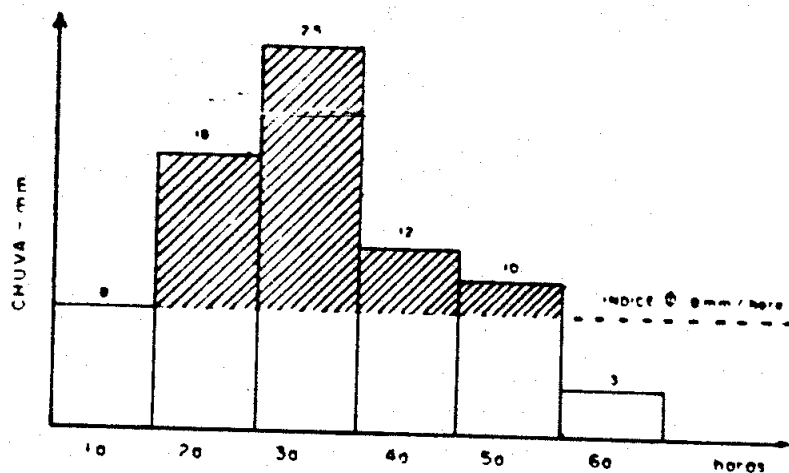


Figura 6.7 – Cálculo do Índice ϕ