

Quantificação de Fluxo

Prof. Ingo Wahnfried

Qual foi a publicação mais importante da década de 1850?

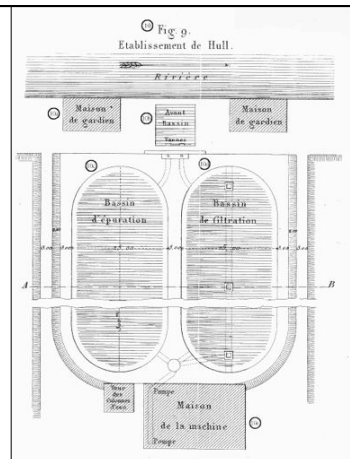
As Fontes Públicas da Cidade de Dijon
Henry Darcy, 1856

Lei de Darcy: Quantificação do movimento da água

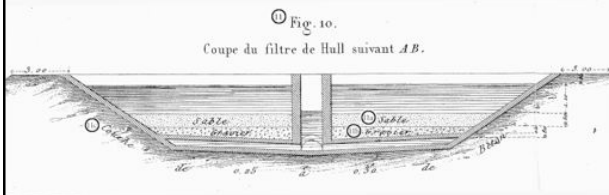
A que velocidade e em que quantidade a água subterrânea se movimenta



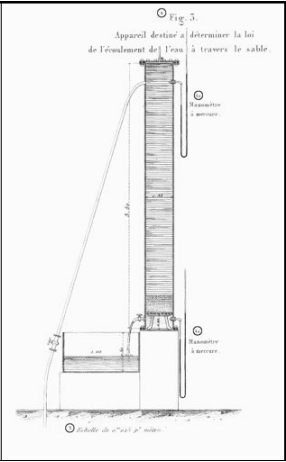
As Fontes Públicas da Cidade de Dijon
Henry Darcy (1856)



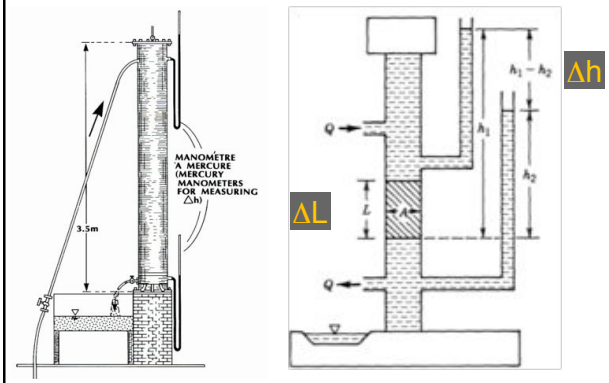
As Fontes Públicas da Cidade de Dijon
Henry Darcy (1856)



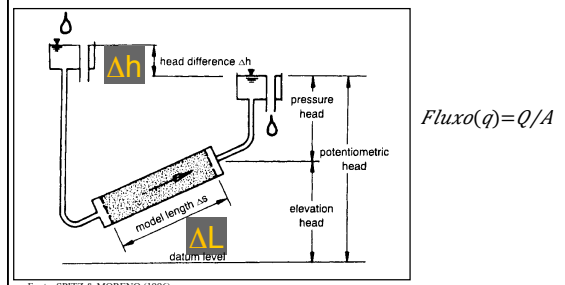
As Fontes Públicas da Cidade de Dijon
Henry Darcy (1856)



O Experimento de Darcy



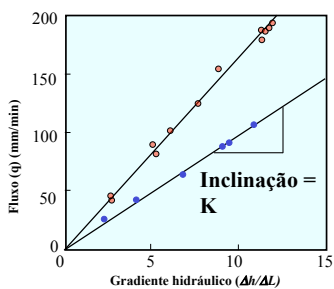
Experimento de Darcy



Fonte: SPITZ & MORENO (1996)

Experimento de Darcy
Condutividade Hidráulica

Dados experimentais obtidos para duas areias diferentes



$$q = K \Delta h / \Delta L$$

Fonte: KARMANN (2000)

Condutividade hidráulica - K

- Representa a facilidade que a água tem em se mover em um meio permeável sob a influência de um gradiente hidráulico.
- É função das características do fluido (água) e do meio poroso.

$$K = \frac{k \cdot \rho \cdot g}{\mu}$$

K = condutividade hidráulica (L/T)

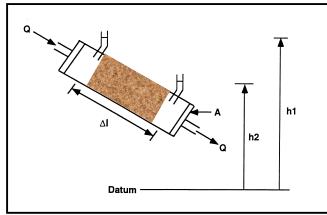
k = permeabilidade intrínseca (função do tamanho dos grãos) (L²)

ρ = densidade (M/L³)

g = aceleração da gravidade (L/T²)

μ = viscosidade dinâmica do fluido (M/T.L)

Lei de Darcy: fluxo e velocidade da água subterrânea



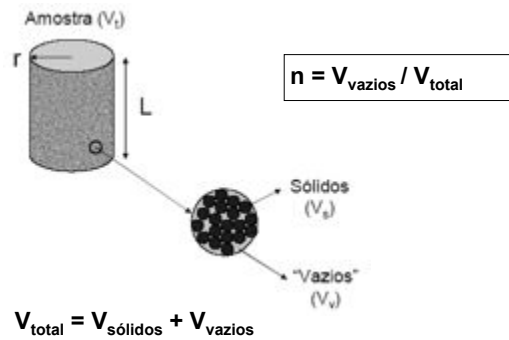
$$Q = K \cdot \frac{\Delta h}{\Delta L} \cdot A$$

$$q = \frac{Q}{A} = K \cdot \frac{\Delta h}{\Delta L}$$

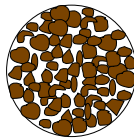
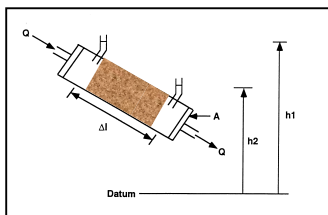
$$v_r = \frac{q}{n_{ef}} = K \frac{\Delta h / \Delta L}{n_{ef}}$$

Onde:
 q = descarga específica [L/T]
 Q = vazão [L³/T]
 v_r = velocidade real
 K = condutividade hidráulica [L/T]
 Δh = diferença de carga ($h_1 - h_2$) [L]
 ΔL = comprimento ou distância de manômetros [L]
 A = área da amostra [L²]
 n_{ef} = porosidade efetiva [L³/L³]

Porosidade total



Velocidade real em meio poroso



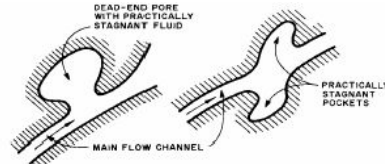
Porosidade efetiva = 0.3
 = área efetiva para fluxo

$v_r = q/n_{ef}$, logo $v_r > q$

Porosidade efetiva

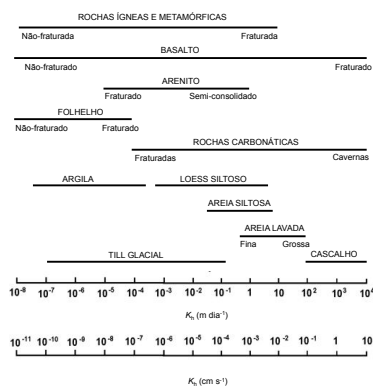
- Relação entre o volume total de espaços vazios interconectados (onde o fluido transita) e o volume total da rocha
- É uma parcela da porosidade total

$$n_{ef} = V_{intercon.} / V_{total}$$

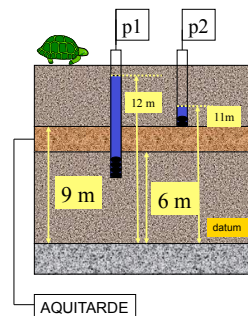


Condutividades hidráulicas saturadas para vários materiais geológicos.

(Health 1982)



Questão 1: EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA LEI DE DARCY

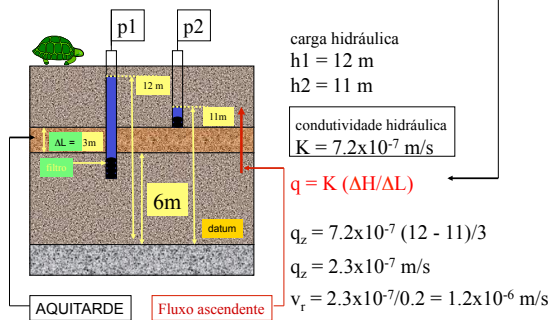


carga hidráulica
 $h_1 = 12 \text{ m}$
 $h_2 = 11 \text{ m}$

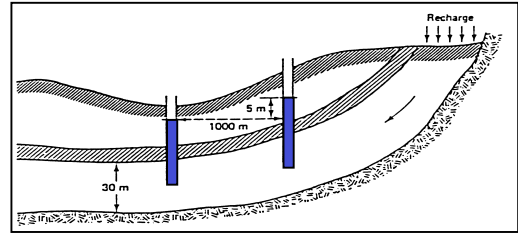
condutividade hidráulica
 $K = 7.2 \times 10^{-7} \text{ m/s}$

$q = K (\Delta H / \Delta L)$

Questão 1: EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA **LEI DE DARCY**

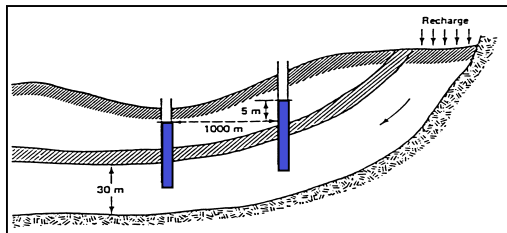


Questão 2: Aplicações da Lei de Darcy



- O aquífero possui 5 km de largura e 10 km de comprimento, para um K de $5,79 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ e porosidade = 0,2
- Qual é a velocidade real da água subterrânea?
- Quanto tempo levará para a água percorrer todo o trecho entre as áreas de recarga e descarga ?
- Qual é a vazão que atravessa a seção transversal do aquífero?

Questão 2: Aplicações da Lei de Darcy



- $v_r = K \cdot (\Delta h / \Delta L) / n_{ef} = 5,79 \times 10^{-4} \text{ m/s} (5\text{m}/1000\text{m}) / 0,2 = 1,45 \times 10^{-5} \text{ m/s} = 1,25 \text{ m/dia} = 457 \text{ m/ano}$
- $v_r = \Delta S / \Delta t \therefore \Delta t = 10.000 \text{ m} / 457 \text{ m/ano} = 21,9 \text{ anos}$
- $Q/A = K \cdot \Delta h / \Delta L \therefore Q = 5,79 \times 10^{-4} \text{ m/s} \cdot (5\text{m}/1000\text{m}) \cdot (30\text{m} \cdot 5000\text{m}) = 0,4342 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ ou } 1563 \text{ m}^3/\text{h}$