

Ensaio de Lugeon

SCET

IST

2007

Bombeagem de água com obturador

O Ensaio de Lugeon é realizado em

MACIÇOS ROCHOSOS

É um ensaio *in situ* conduzido a partir de uma sondagem mecânica

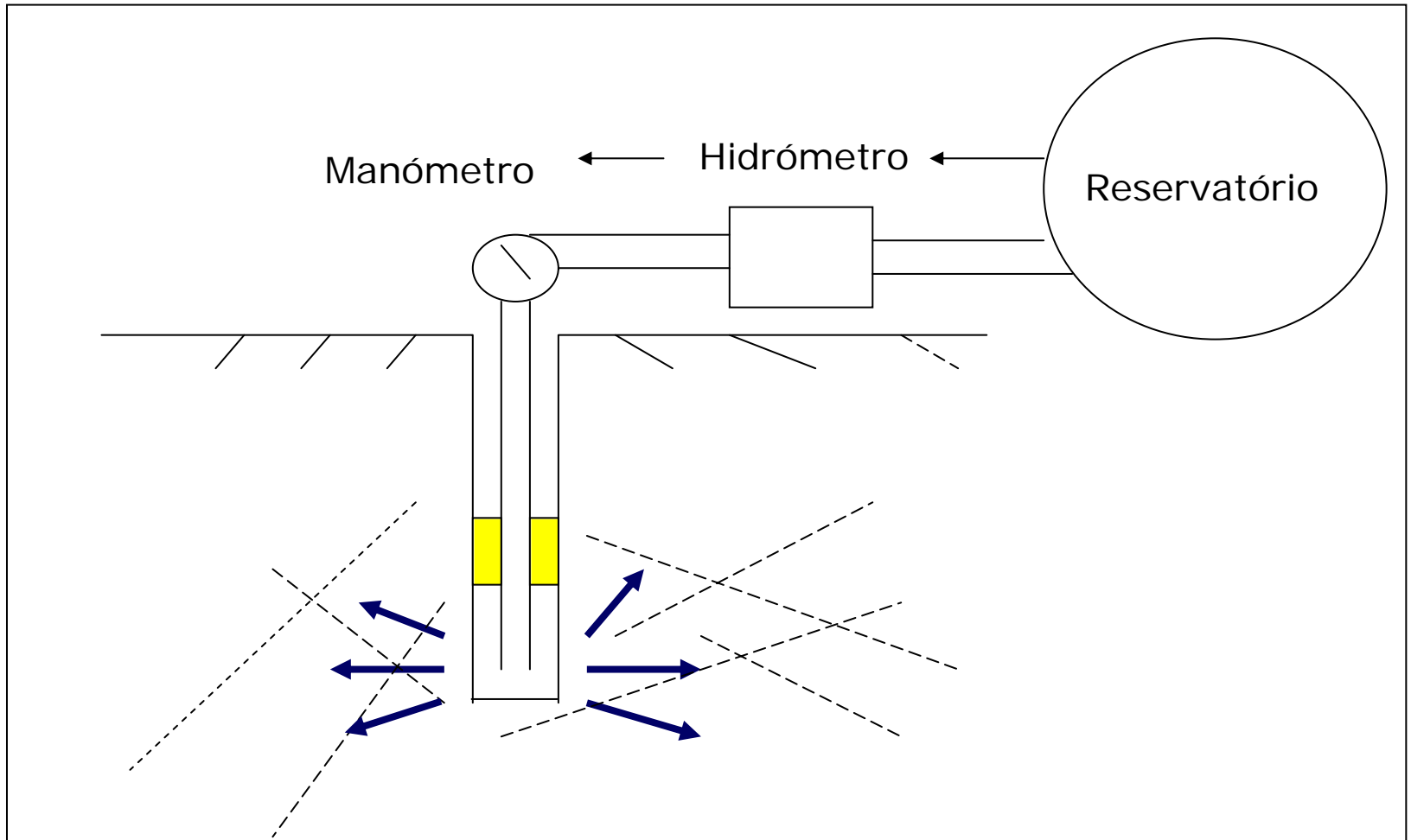
Permite avaliar a possibilidade de circulação da água

Permite determinar a injectabilidade dos maciços

Utiliza-se em **BARRAGENS** e **OBRAS SUBTERRÂNEAS** onde a fracturação e a permeabilidade dos maciços podem constituir factor de risco

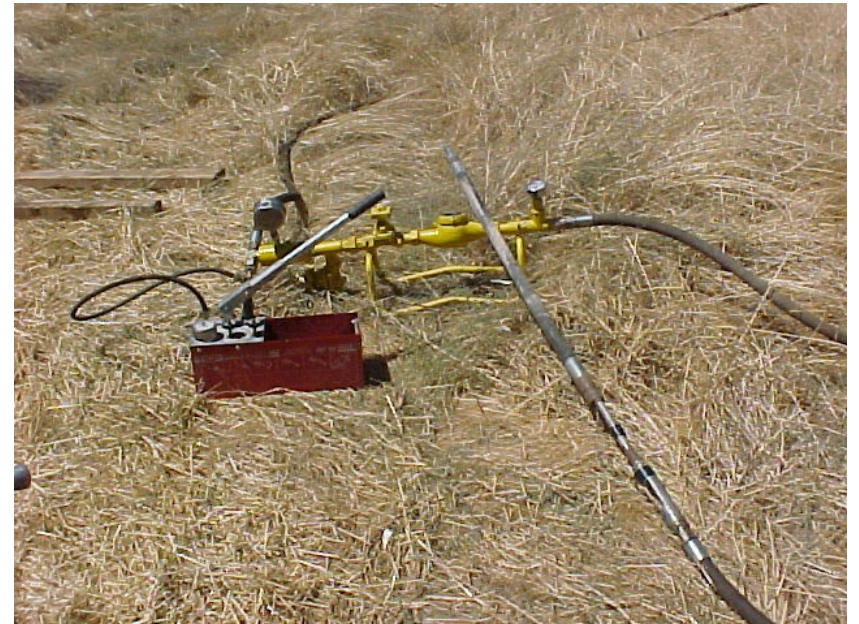
PROCEDIMENTO

- Injecção de água sob pressão num troço do furo e medição da absorção de água, que se infiltra nas suas fracturas da rocha. O fluxo é mantido sob pressão entre um obturador e o fundo do furo ou entre dois obturadores.
- A condução do ensaio consiste em realizar vários patamares, de 10 minutos cada, a partir dos quais se vai aumentando a pressão de injecção de água até um máximo de 10Kgf/cm².
- A redução da pressão faz-se também pelos mesmos patamares. Em cada patamar registam-se os volumes injectados



Representação esquemática da montagem do ensaio de Lugeon

Instalação do equipamento



Objectivos do Ensaio de Lugeon

- ❑ Averiguar a necessidade, ou não, de impermeabilização dos maciços e, caso necessário, determinar a quantidade de calda de cimento a utilizar para o efeito
- ❑ Medir o grau de fracturação das rochas (baseia-se também em sondagens com recuperação de testemunho)
- ❑ Determinar o valor aproximado da permeabilidade de maciços rochosos.

Interpretação de resultados

- ❑ **Tipo de escoamento** do fluido injectado
- ❑ **Fracturação** responsável pela absorção
- ❑ Tendência para a **colmatagem** ou **desobstrução** das fracturas abrangidas pela circulação forçada da água
- ❑ Determinação da profundidade recomendável para o futuro tratamento de **impermeabilização** e/ou de consolidação
- ❑ **Deformação elástica** (sem excluir a eventual **rotura**) do maciço rochoso no bolbo envolvente de cada sondagem.

PRESSÃO
(Kgf/cm²)

ABSORÇÃO
(Litros)

P0	→	A0
P1	→	A1
P2	→	A2
P1	→	A'1
P0	→	A'0

Resultados do ensaio Lugeon

Tipo de escoamento

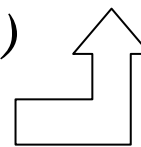


$$0.9 \sqrt{(P2/P1)}$$

$$1.1 \sqrt{(P2/P1)}$$

$$0.9 (P2/P1)$$

$$1.1 (P2/P1)$$



ENQUADRAR O PARÂMETRO A_2/A_1 NUM DOMÍNIO E CONFIRMAR O TIPO DE ESCOAMENTO

Tipos de escoamento

Limite do Erro

Laminar ou de Darcy

$$P2/P1 = A2/A1$$

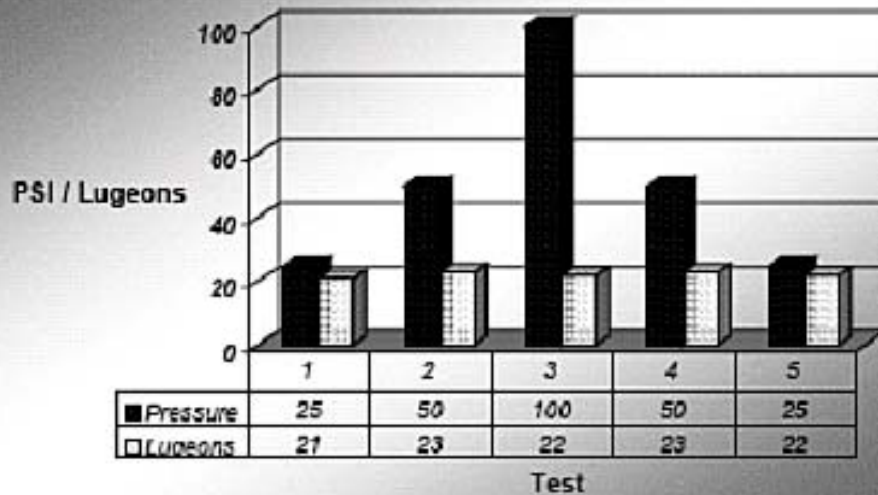
$$0.9 (P2/P1) \leq A2/A1 \leq 1.1 (P2/P1)$$

Turbulento ou de Chézy

$$\sqrt{(P2/P1)} = A2/A1$$

$$0.9 \sqrt{(P2/P1)} \leq A2/A1 \leq 1.1 \sqrt{(P2/P1)}$$

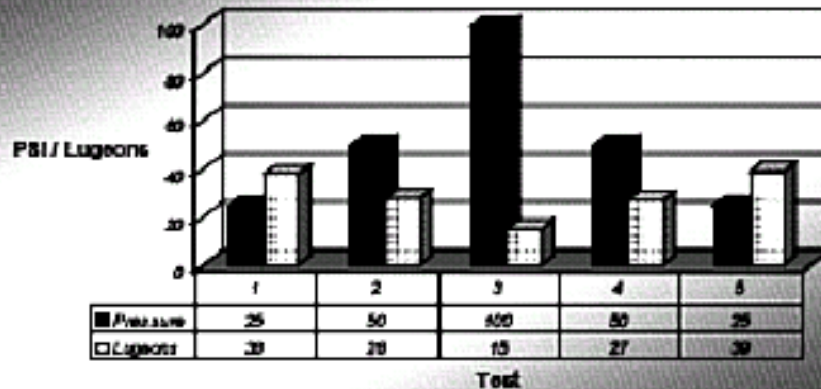
Laminar Flow



Bar chart showing relationship of test pressure and Lugeons in laminar flow.

Escoamento laminar

Turbulent Flow

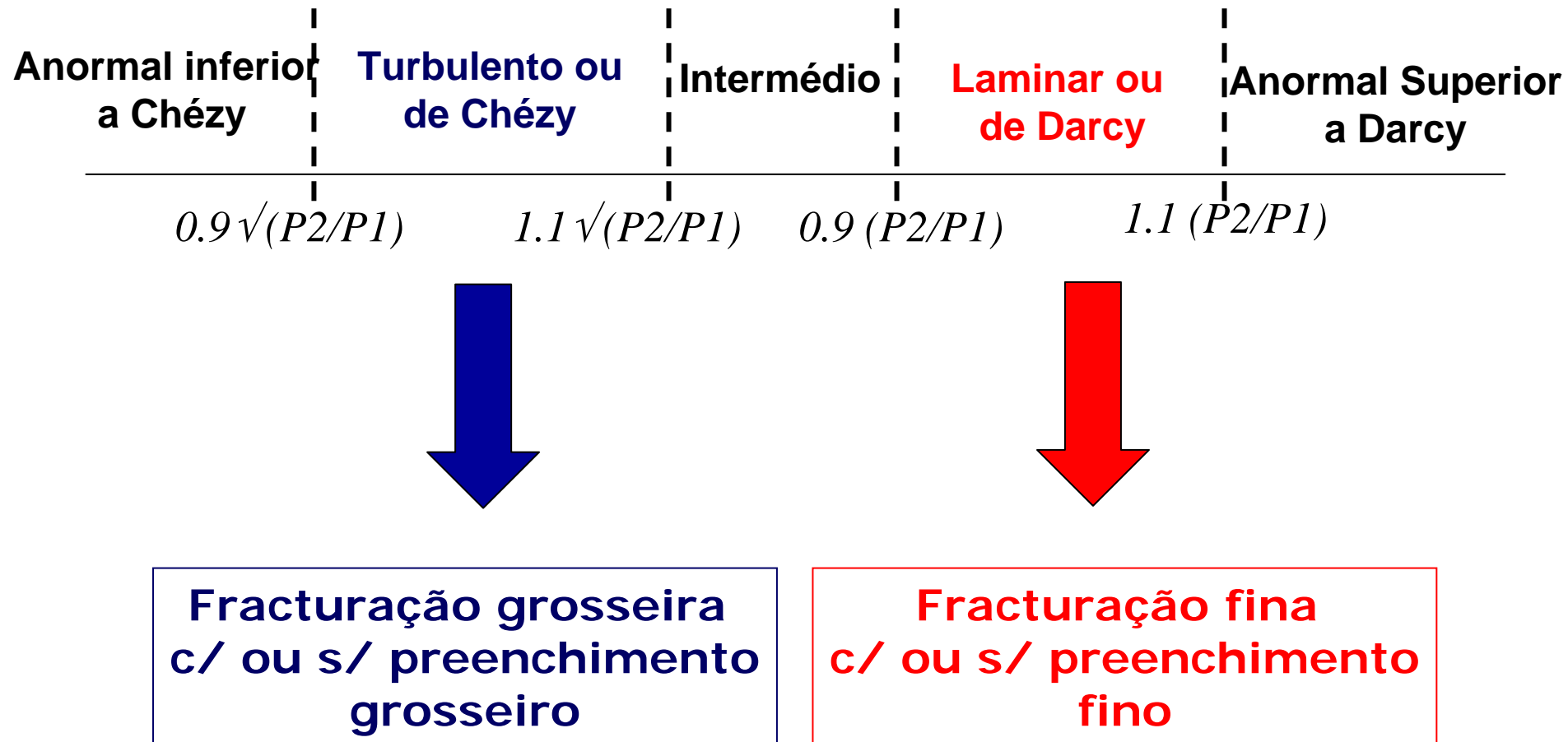


Bar chart showing relationship of test pressure and Lugeons in turbulent flow.

Escoamento turbulento

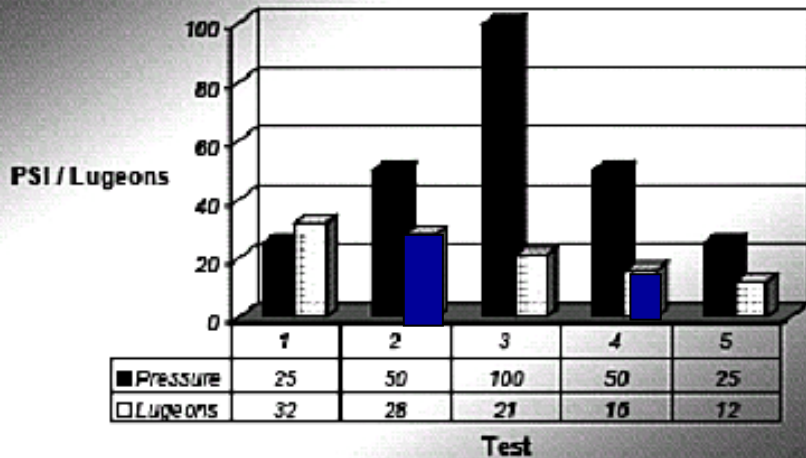
Tipo de fracturas ou recheio de fracturas

O regime de escoamento está dependente do tipo de fracturação ou do tipo de preenchimento das fracturas



Comportamento do recheio de fracturas

Filling or Swelling



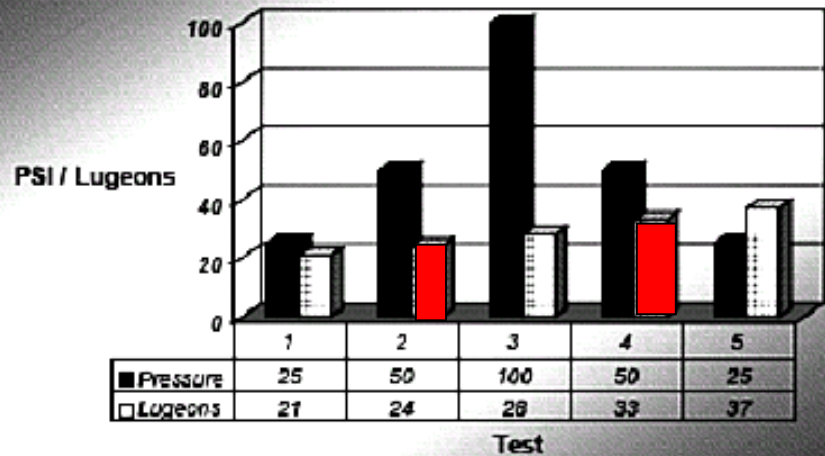
Bar chart showing relationship of test pressure and Lugeons when fractures are filling or swelling.

Colmatagem das fracturas

$$A^{-1} < A1$$

Para a mesma pressão a absorção após a pressão máxima é menor ou maior

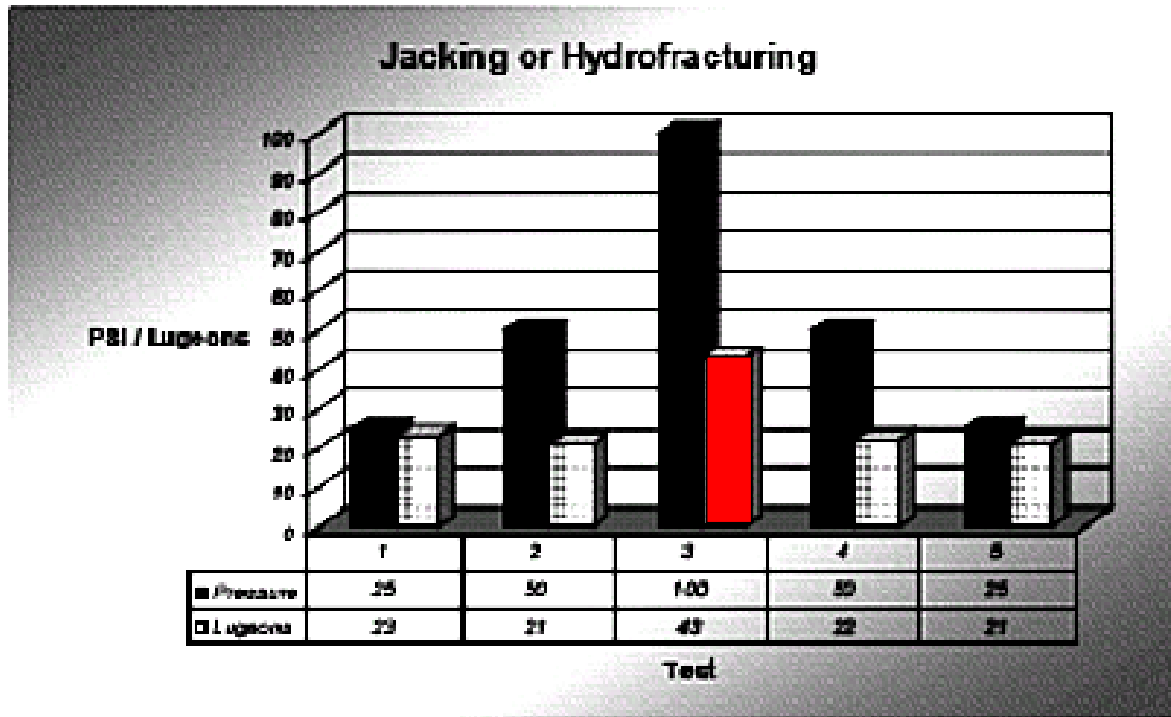
Washing



Bar chart showing relationship of test pressure and Lugeons when fractures are washing out.

Lavagem ou desobstrução das fracturas

$$A^{-1} > A1$$



Bar chart showing relationship of test pressure and Lugeons when rock is hydrofractured or joints are jacked open.

Fracturação hidráulica

Estanquicidade do maciço ou
necessidade de impermeabilização ?

$$U. \text{ Lugeon} = \frac{A \text{ (litros/10 minutos)}}{t \text{ (minutos)} \times l \text{ (metros)}}$$

l – comprimento do troço (m); *t* - tempo (minutos); *A* – absorção (litros/10 minutos)

UL é determinado apenas para 10 kgf/cm² (*)

**O maciço é considerado estanque se,
em dois troços consecutivos (10 metros)
o valor de UL < 1**

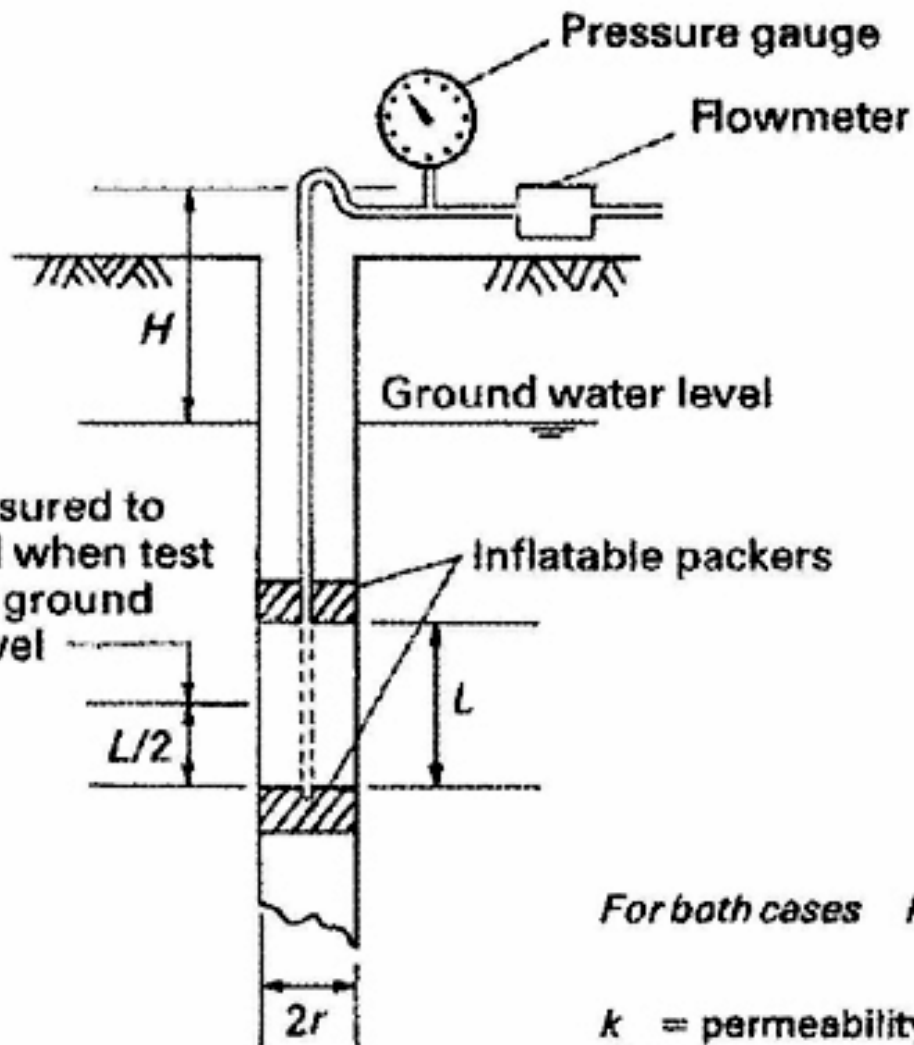
(*) Se o ensaio não atingiu esta pressão e o regime for laminar, faz-se uma regressão linear para determinar a absorção correspondente a 10 kgf/cm²

Em alternativa podemos calcular sempre as Unidades de Absorção

$$U. A = \frac{A \text{ (litros/10 minutos)}}{t \text{ (minutos)} \times l \text{ (metros)} \times p \text{ (Kgf/cm}^2\text{)}}$$

Os valores devem ser inferiores a 0.1 para garantir a estanquicidade do maciço. Os resultados devem Abranger também um troço de 10 metros

Determinação da permeabilidade (k) do maciço



Double Packer Test

H is measured to this level when test is above ground water level

$$\text{For both cases } k = \frac{Q}{2\pi H_T L} \log_e \frac{L}{r}$$

k = permeability

Q = flow rate

L = length of test section

r = radius of test section

H_T = pressure head in test section causing flow into rock

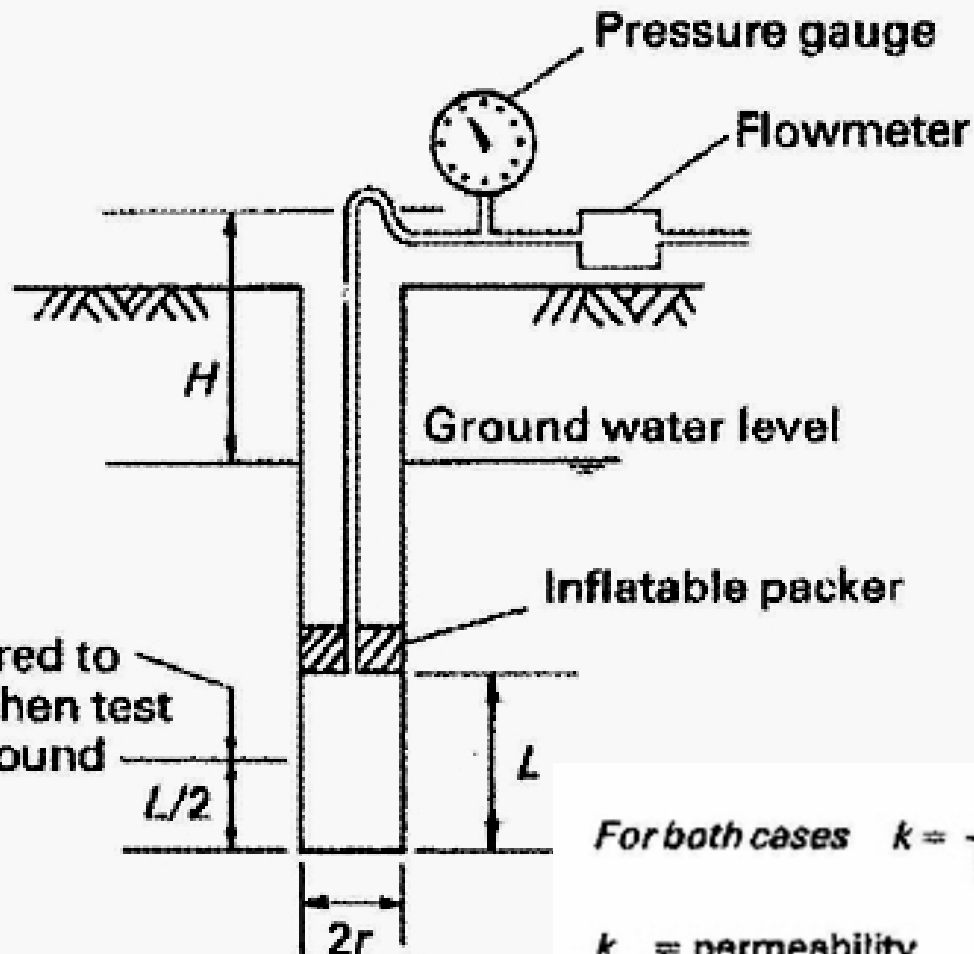
$H_T = P + H - H_f$

P = pressure gauge reading

H = head difference as shown

H_f = friction head loss in pipes

H depende da posição do nível freático



$$\text{For both cases } k = \frac{Q}{2\pi H_T L} \log_e \frac{L}{r}$$

k = permeability

Q = flow rate

L = length of test section

r = radius of test section

H_T = pressure head in test section causing flow into rock

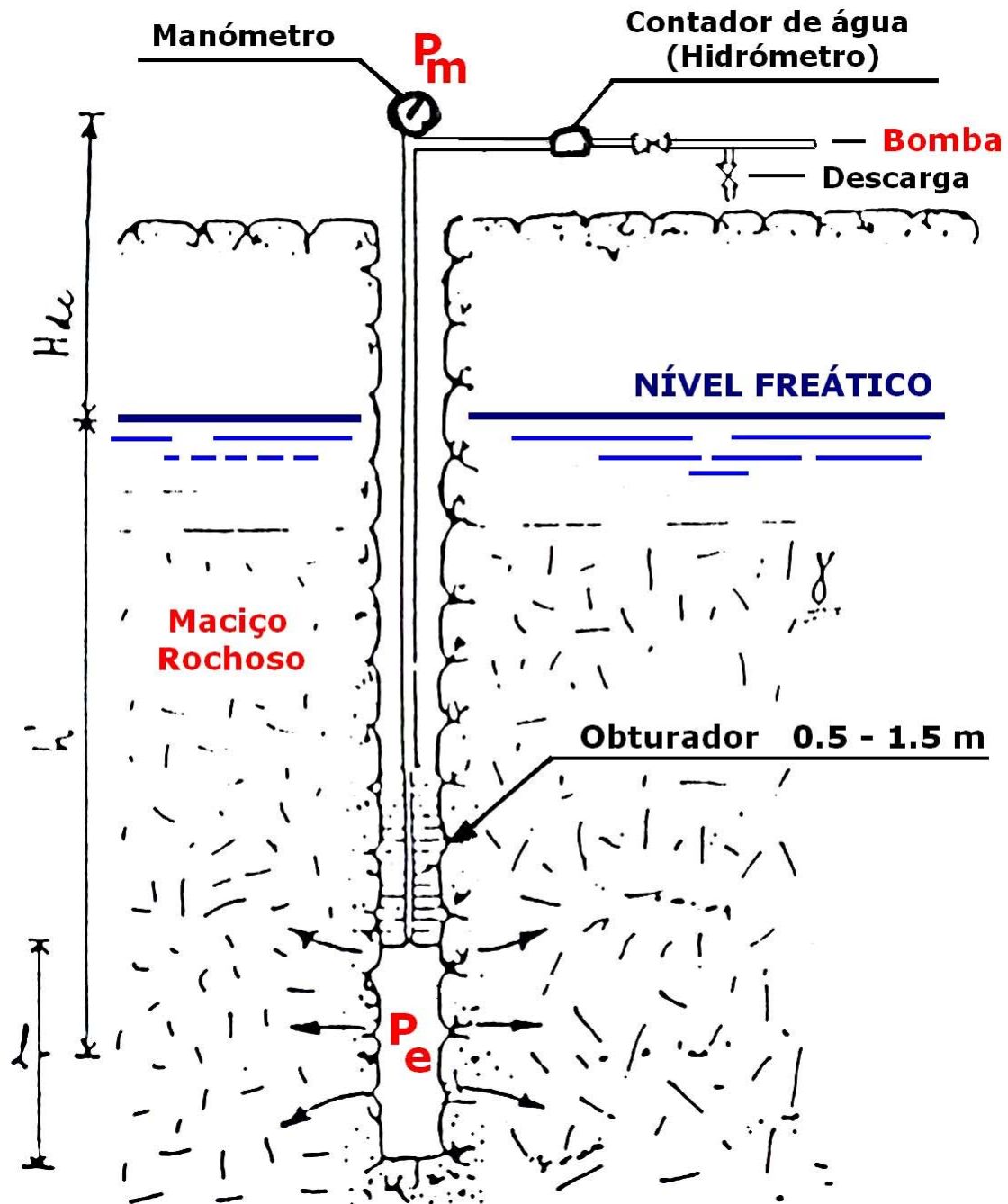
$H_T = P + H - H_f$

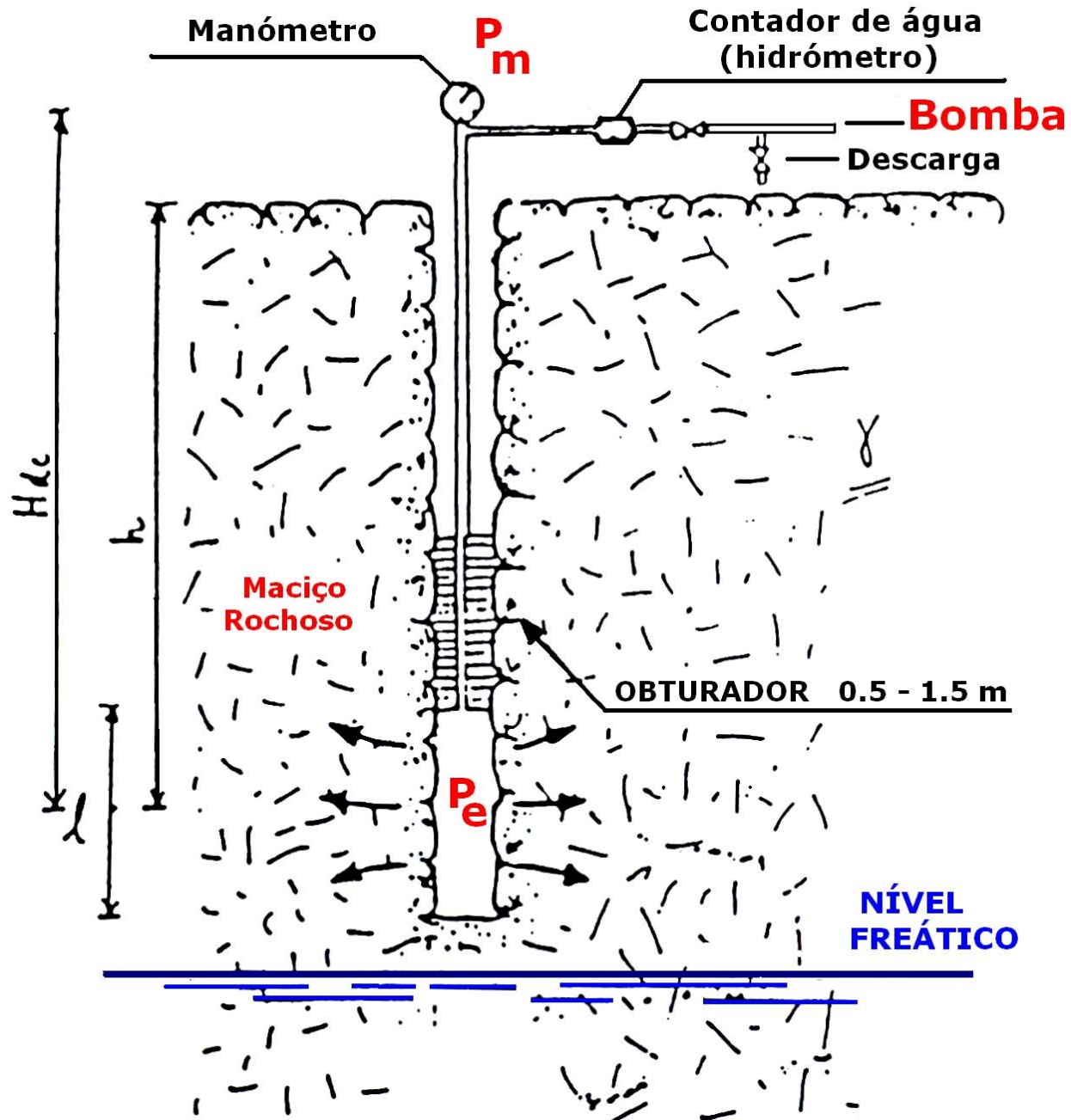
P = pressure gauge reading

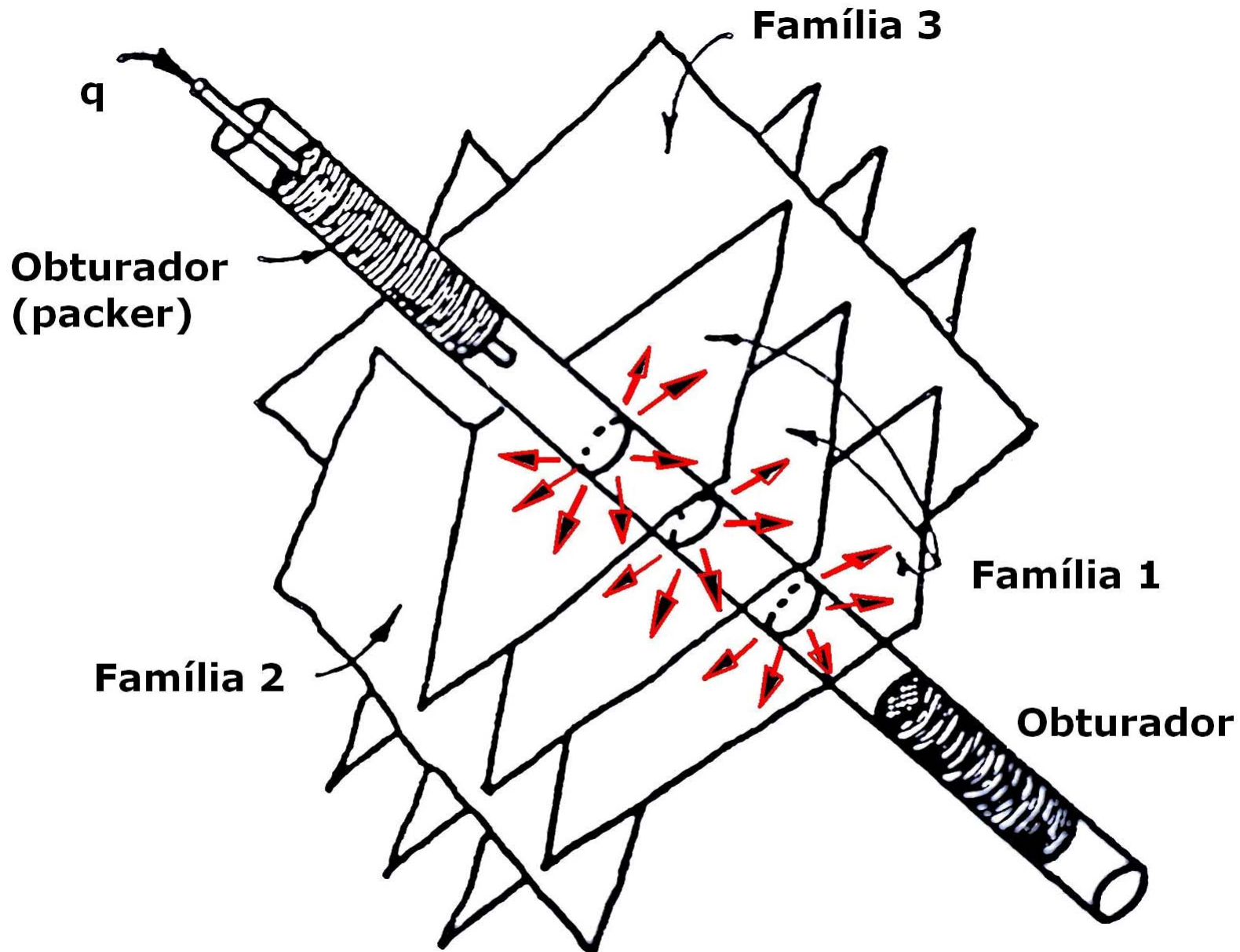
H = head difference as shown

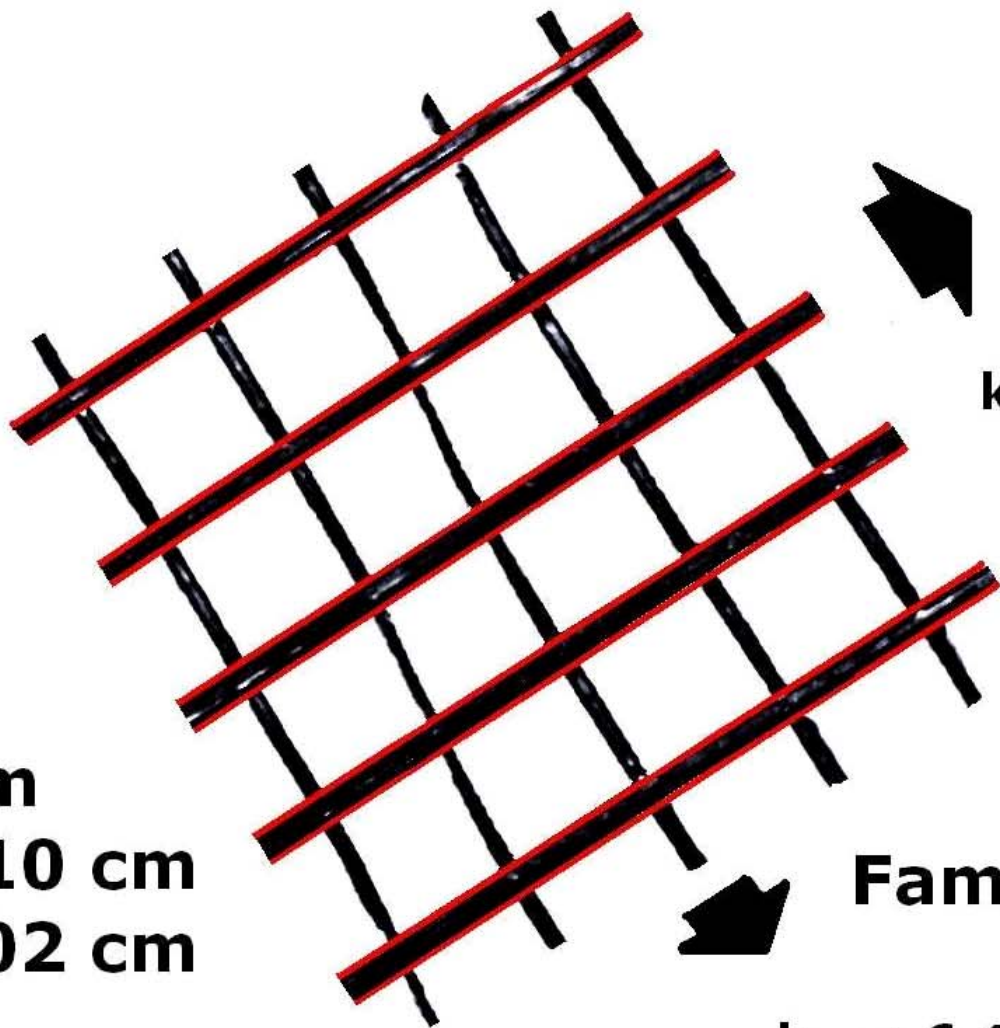
H_f = friction head loss in pipes

H depende da posição do nível freático









Família 1

$$k_1 = 8.1 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$$

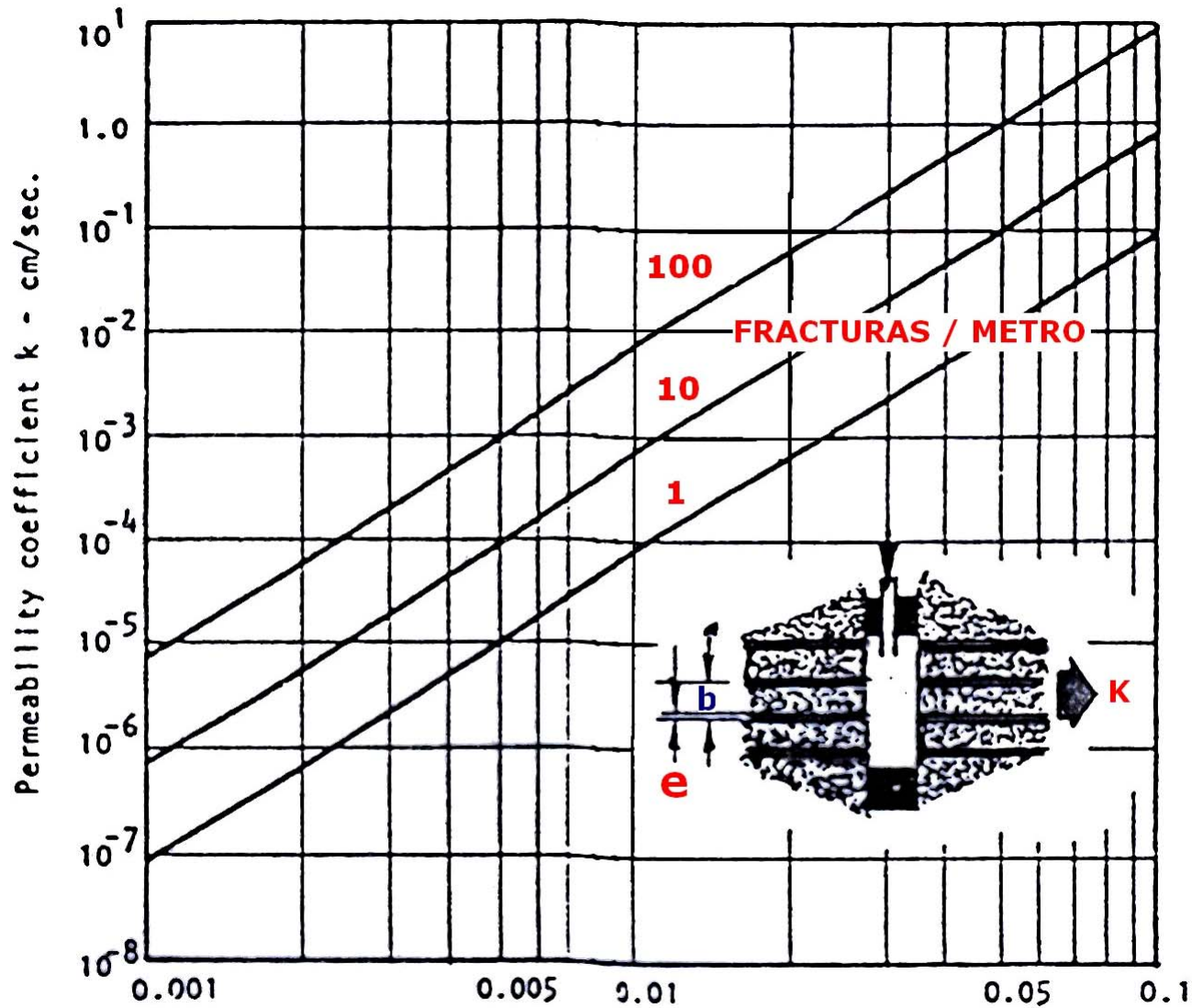
Família 2

$$k_2 = 6.4 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$e_1 = 0.10 \text{ cm}$$

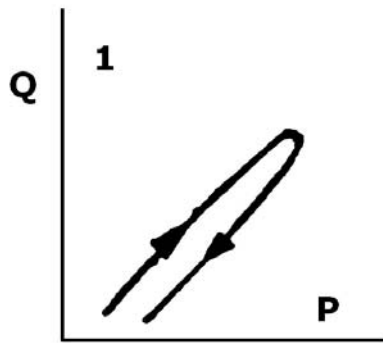
$$e_2 = 0.02 \text{ cm}$$



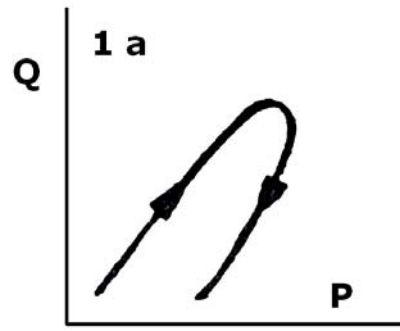
Abertura - e - (cm)

b - espamento

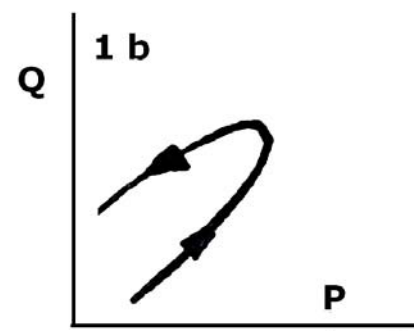
Exercício de Revisão



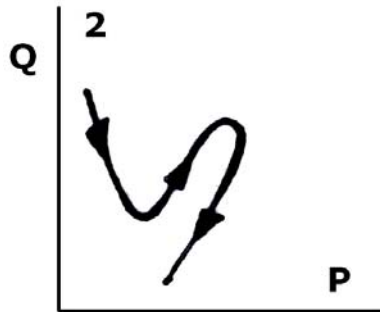
Escoamento laminar com colmatagem



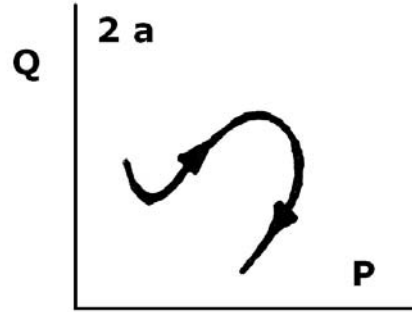
Escoamento laminar com colmatagem a pressão elevada



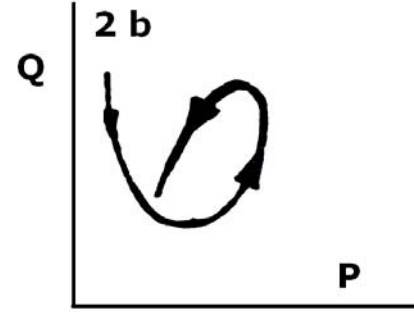
Escoamento laminar com desobstrução a pressão elevada



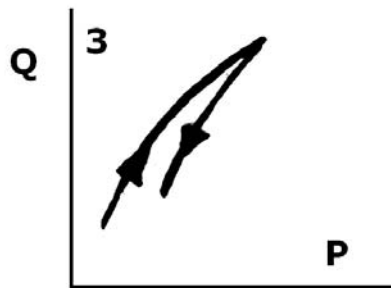
Colmatagem a pressão baixa



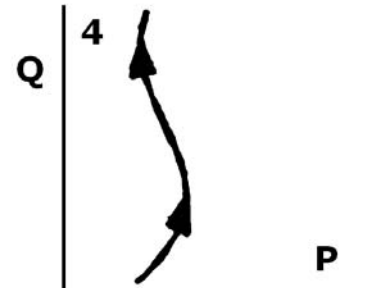
Colmatagem a baixa e depois a alta pressão



Colmatagem a baixa pressão e desobstrução a elevada pressão



Escoamento turbulento com colmatagem



Desobstrução progressiva

Exercício de Aplicação

