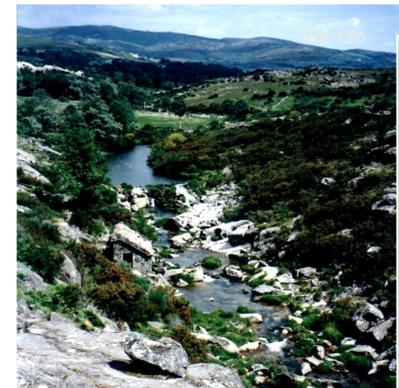


HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS

Escoamento

Noções fundamentais



Rio Ovil



“Sabei, Senhora, que esta vida é um rio”

A Cidade e as Estradas

Rio Bestança

$$P = H + E + \Delta S_P + \Delta S + \Delta S_U + E_x - R$$

- P** precipitação sobre a bacia;
- H** escoamento na secção de jusante da bacia;
- E** evapotranspiração na bacia;
- ΔS_P variação da quantidade de água de interceção, de detenção superficial e de armazenamento nos leitos;
- ΔS variação da quantidade de humidade do solo (água na zona não saturada);
- ΔS_U variação da quantidade de água das reservas subterrâneas;
- E_x** quantidade de água extraída da bacia pela Acção humana;
- R** idem quantidade de água lançada.

(ΔS : variação > 0 se corresponder ao aumento de água).

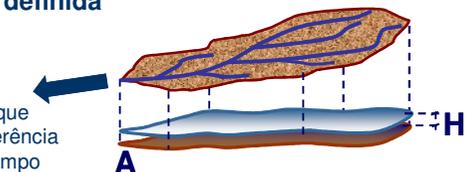


Equação do balanço hidrológico: $P = H + E + \Delta S_P + \Delta S + \Delta S_U + E_x - R$

O **ESCOAMENTO** numa secção de um rio respeita ao volume de água que a atravessa durante um intervalo de tempo.

O **ESCOAMENTO** obtém-se por integração, para o intervalo de tempo considerado, do **caudal** que passa através da referida secção, sendo que o caudal é uma grandeza instantânea (m^3/s).

O **ESCOAMENTO** exprime-se normalmente em termos da altura de água que lhe corresponde sobre a projeção horizontal da bacia hidrográfica definida Por aquela secção.

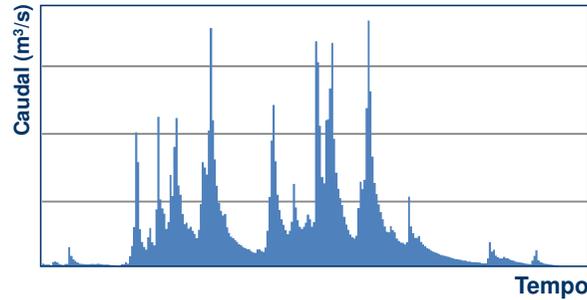


Escoamento = volume que atravessa a secção de referência num dado intervalo de tempo

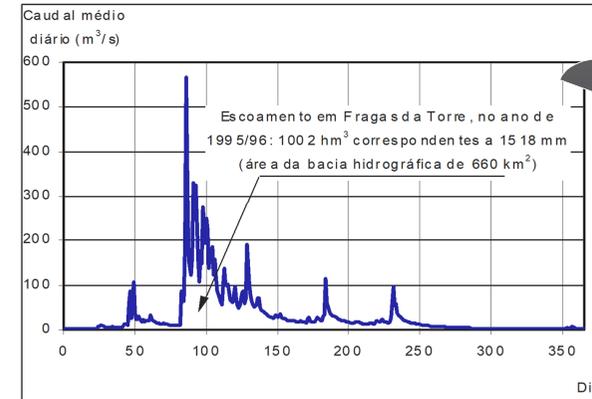


Equação do balanço hidrológico: $P = H + E + \Delta S_P + \Delta S + \Delta S_U + E_x - R$

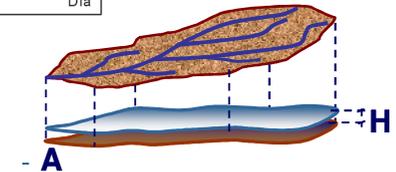
A integração dos caudais registados num dado intervalo de tempo tendo em vista obter o respetivo escoamento pode ser visualizada graficamente, com base um diagrama cronológico daqueles caudais, mediante a avaliação, em unidades adequadas, da área delimitada pelo diagrama cronológico daqueles caudais.



Integração dos caudais registados num dado intervalo de tempo \rightarrow escoamento.

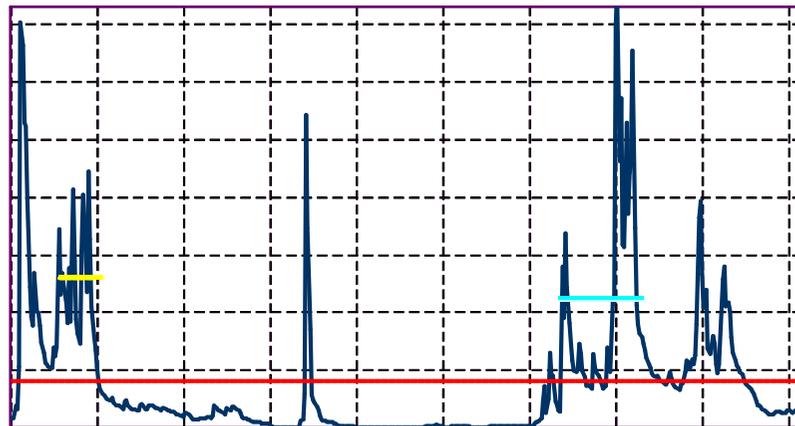


$$V = \int Q dt$$



Noção de *caudal médio* num dado intervalo de tempo – *caudal fictício*, uniforme, que, no mesmo intervalo de tempo, transporta um volume de escoamento igual ao realmente resultante da sucessão de caudais reais (caudal médio anual; caudal médio no dia 3 de Novembro, caudal médio diário, caudal médio no mês de Janeiro; etc.).

Q (m³/s)



Tempo (dia)



Avaliação do ESCOAMENTO a partir dos registos de caudais (integração) \rightarrow avaliação do caudal por medição da ALTURA DE ESCOAMENTO ou do correspondente NÍVEL \rightarrow transformação desta altura em CAUDAL por utilização de CURVAS DE VAZÃO.

Medições de níveis históricas no Egipto

A história política, religiosa e social do Antigo Egipto está intimamente ligada ao rio Nilo, havendo desde tempos remotos registos dos níveis no rio, obtidos com base nos designados nilómetros \leftrightarrow as mais longas séries de uma grandeza hidrológico ao dispor do Homem.



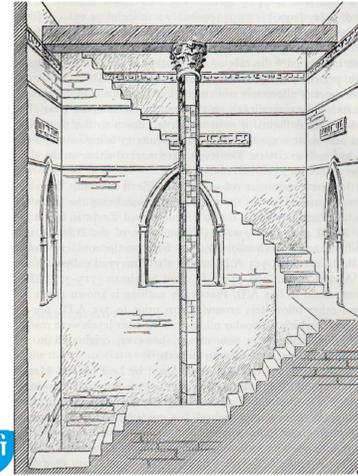
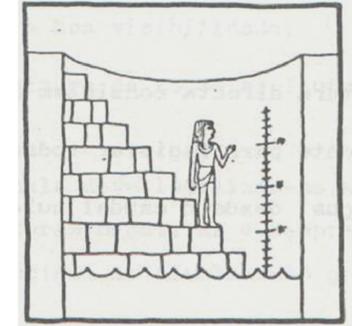
Escoamento

Os registos mais antigos datam de 3000 a 3500 a.C., sendo visíveis nos fragmentos de um antigo monumento.



Medições de níveis históricas no Egito

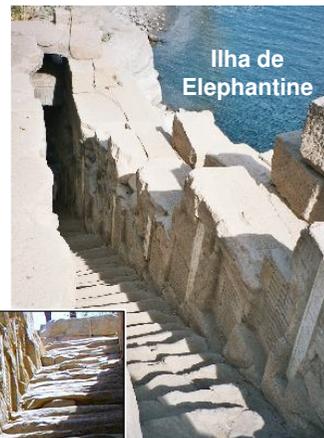
Os **nilómetros** mais simples consistiam em simples marcas executadas nas margens do rio ou em paredes de monumentos; os mais aperfeiçoados utilizavam poços ou ou cisternas alimentadas pelas águas do rio Nilo por meio de condutas. Os níveis eram registados nas paredes da estrutura ou, por vezes, em colunas centrais.



O **nilómetro** mais famoso localiza-se na Ilha de Roda e fornece registos contínuos de níveis máximos e mínimos desde 641 d.C. até 1889 d.C., data de início da construção da primeira barragem de Assuão. A construção ou reconstrução do nilómetro de Roda é atribuída aos árabes, após a sua conquista do Egito - figura ao lado: reconstrução de 1798.



Ilha de Roda



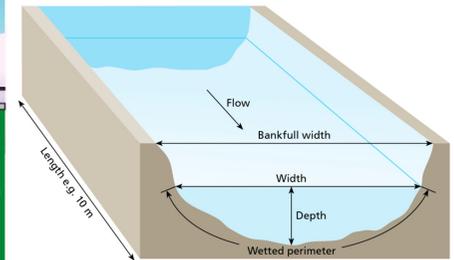
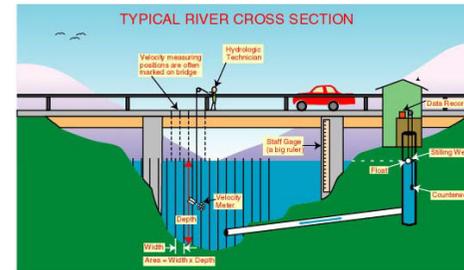
Ilha de Elephantine

Escoamento



Escoamento

A **MEDIÇÃO DE NÍVEIS** ou das **ALTURAS HIDROMÉTRICAS**, bem como das **VELOCIDADES** do escoamento, a cargo do INAG (atualmente integrado na APA) ou da EDP, nos cursos de água do Continente, é realizada algumas centenas de pontos de medição, designados por **ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS**.



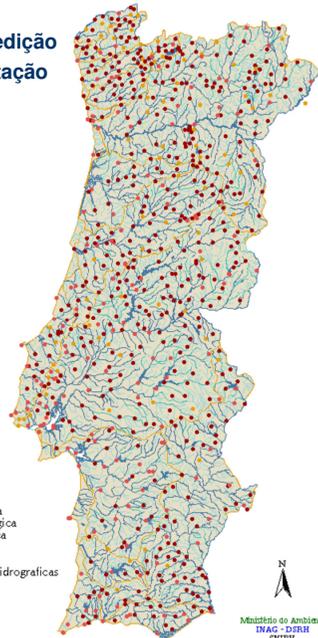
O caudal é aí calculado com base na **equação da continuidade** aplicada aos valores da velocidade do escoamento através da secção transversal, **V**, e da área desta secção, **A**:

$$Q = V A$$

... mas como obter V e A?



Rede de medição da precipitação



- Estação Udográfica
- Estação Climatológica
- Estação Udométrica
- △ Rios Principais
- △ Rios secundários
- Principais bacias hidrográficas



Escoamento

Rede de medição do escoamento

Rede muito mais esparsa!!



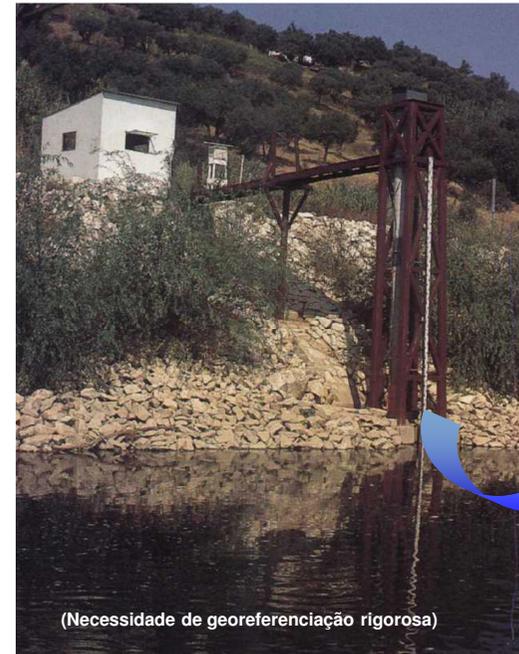
- Estação
- △ Rios Principais
- △ Rios secundários
- Principais bacias hidrográficas



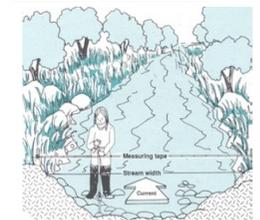
Escoamento

Medição de alturas hidrométricas

ESTAÇÃO HIDROMÉTRICA equipada com ESCALA LIMNIMÉTRICA e . . .

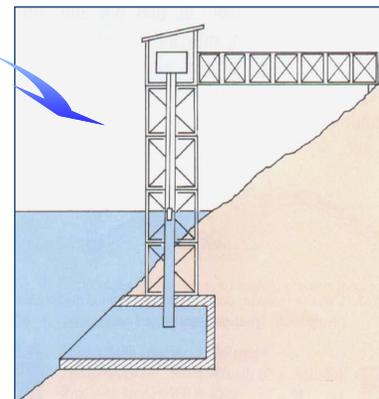
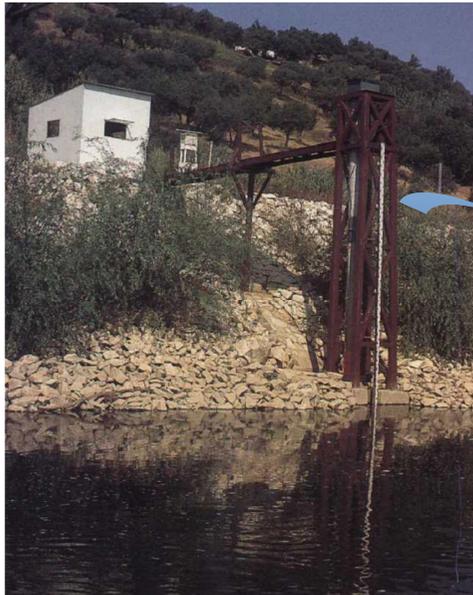


(Necessidade de georeferenciação rigorosa)



Escoamento

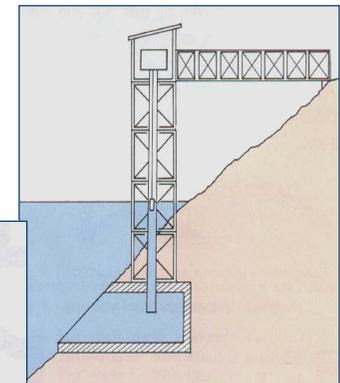
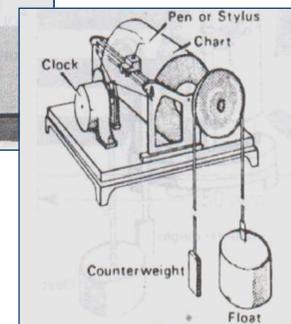
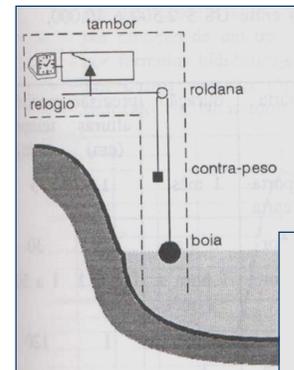
**Medição de alturas hidrométricas
ESTAÇÃO HIDROMÉTRICA equipada com ESCALA LIMNIMÉTRICA e com LIMNÍGRAFO DE FLUTUADOR**



(sempre associado a uma escala limnimétrica rigorosamente georeferenciada)

Medição de alturas hidrométricas

LIMNÍGRAFO DE FLUTUADOR

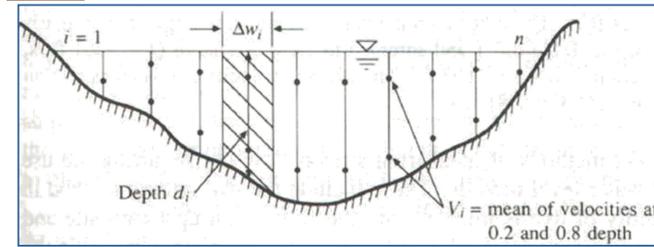
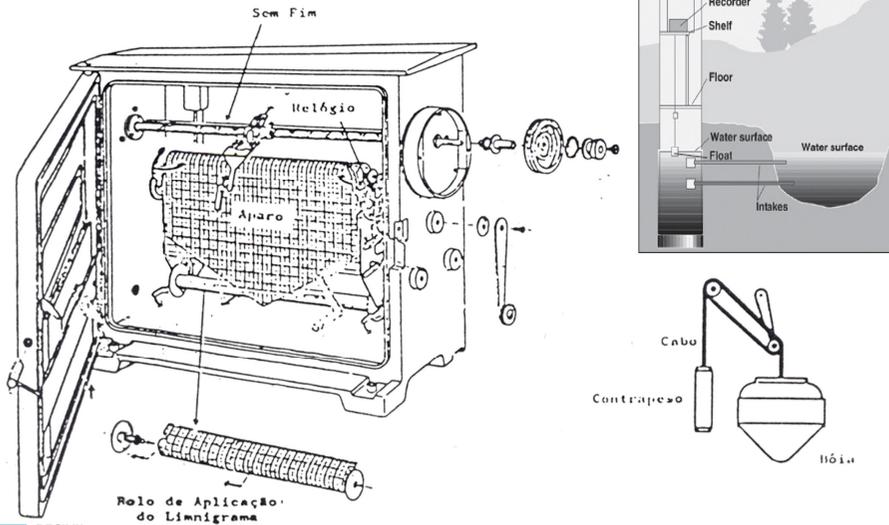


Escoamento



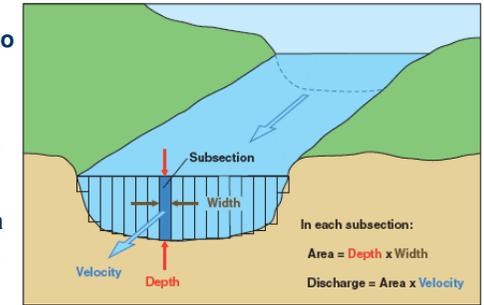
Medição de alturas hidrométricas

LIMNÍGRAFO DE FLUTADOR



Medição da velocidade

A medição do caudal, Q , que, num dado instante, atravessa uma secção transversal de um curso de água processa-se de modo indireto, mediante a medição da velocidade média, v , do escoamento através daquela secção e do produto desta velocidade pela área, A , da secção transversal do escoamento.

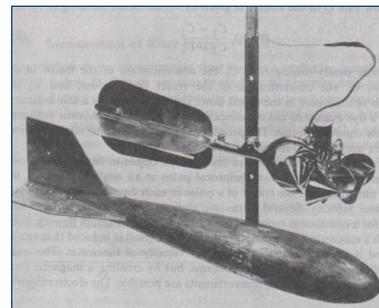


$$(Q = v A)$$



Medição da velocidade $Q = v A$

A compreensão de que o caudal não dependia exclusivamente da área da secção transversal, mas também da velocidade do escoamento através dessa área é atribuída a Hero de Alexandria (data indeterminada entre 65 e 150 a.C.), tendo sido retomada por Leonardo da Vinci (1452-1519) embora, tanto num, como noutro caso, a forma explícita dessa relação tenha passado despercebida. Só muito posteriormente, Benedetto Castelli (1577-1644) a conseguiu exprimir claramente. A construção do primeiro medidor de velocidade do escoamento é atribuída a Santorio Santorio (1561-1630), por volta de 1610.

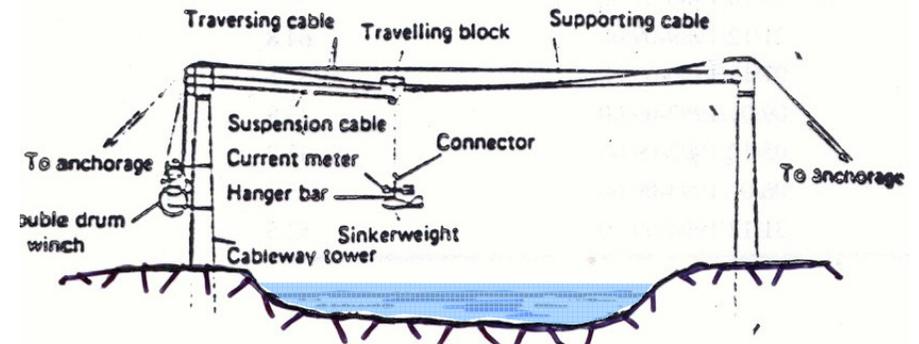
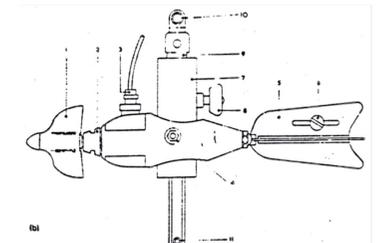


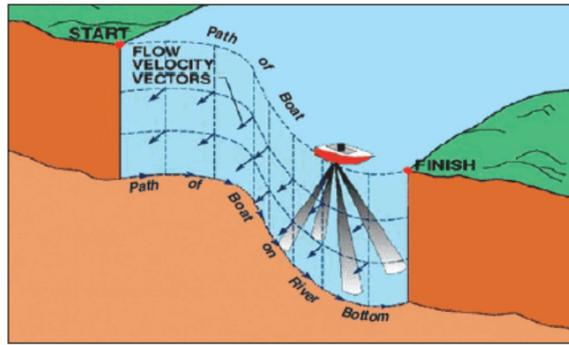
Representação da medição da velocidade por Leonardo da Vinci e velocímetro atual.



Medição da velocidade

velocímetro ou molinete e instalação.



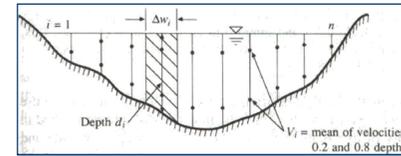


Perfilador acústico de correntes por efeito Doppler (Acoustic Doppler Current Profiler), ADCP.

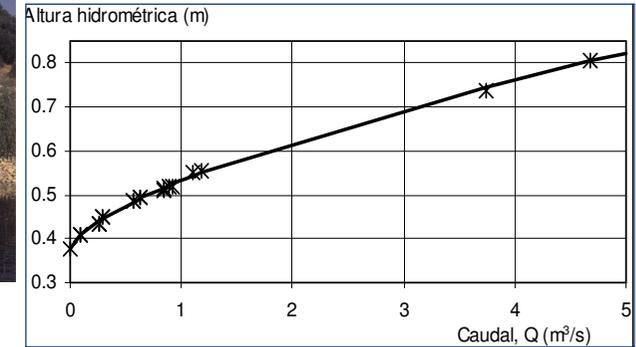
An ADCP uses the principles of the Doppler Effect to measure the velocity of water. The Doppler Effect is the phenomenon we experience when passed by a car or train that is sounding its horn. As the car or train passes, the sound of the horn seems to drop in frequency.

The ADCP sends a sound pulse into the water and measures the change in frequency of that sound pulse reflected back to the ADCP by sediment or other particulates being transported in the water. The change in frequency, or Doppler Shift, that is measured by the ADCP is translated into water velocity. The sound is transmitted into the water from a transducer to the bottom of the and receives return signals throughout the entire depth. The ADCP also uses acoustics to measure water depth by measuring the travel time of a pulse of sound to reach the river bottom at back to the ADCP.

Curva de vazão

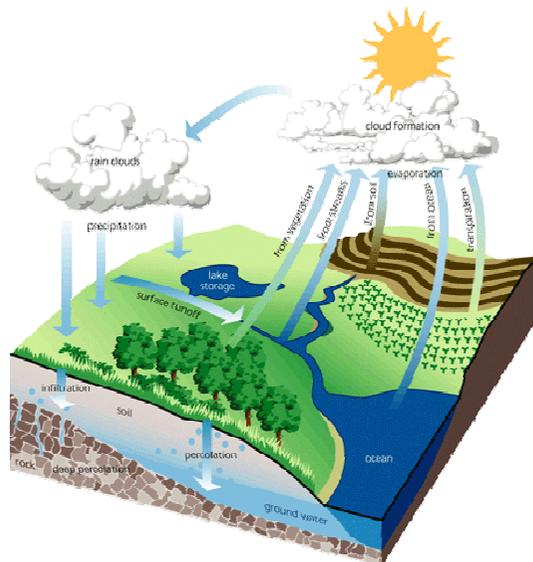


Com base nos pares de valores medidos na secção de uma dada estação hidrométrica da altura hidrométrica e do correspondente caudal, estabelecimento da **CURVA DE VAZÃO** válida para essa estação.



Exercícios

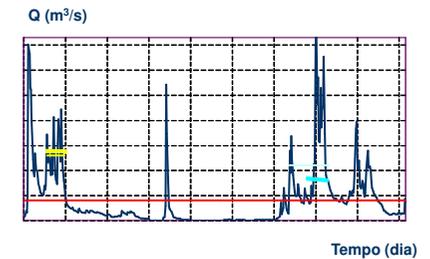
EXERCÍCIOS



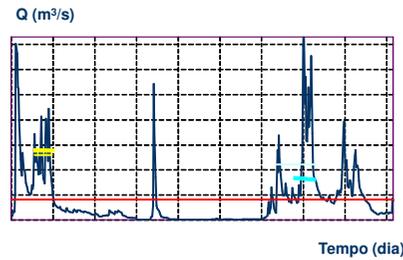
Escoamento



Noção de caudal médio



O volume que, em média, se escoam dada secção de um curso de água durante o mês de Janeiro é de 55 hm³. Determine o correspondente caudal médio.

**Noção de caudal médio**

O volume que, em média, se escoam em dada secção de um curso de água durante o mês de Janeiro é de 55 hm³. Determine o correspondente caudal médio.

$$Q = 55\,000\,000 / (31 \times 24 \times 3600) = 20.5 \text{ m}^3/\text{s}$$



Os valores anuais médios da precipitação e do défice do escoamento numa bacia hidrográfica com a área de 40 km² foram estimados em 1500 e 850 mm, respetivamente.

Determine o **caudal anual médio** na secção de referência da referida bacia em m³/s.



Os valores anuais médios da precipitação e do défice do escoamento numa bacia hidrográfica com a área de 40 km² foram estimados em 1500 e 850 mm, respetivamente.

Determine o **caudal anual médio** na secção de referência da referida bacia em m³/s.

$$D = P - H$$

$$H = P - H = 1500 - 850 = 650 \text{ mm}$$

$$V = 650/1000 \times 40 \times 10^6 = 26 \times 10^6 \text{ m}^3 = \text{hm}^3$$

$$Q = V / Dt = (26 \times 10^6) / (365 \times 24 \times 3600) = 0.824 \text{ m}^3/\text{s}$$