

Teorema de Bernoulli Bombas e Turbinas

- ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA
“LUIZ DE QUEIROZ”



- LEB 0472 – HIDRÁULICA

- Prof Patricia A A Marques

- Ver Vídeo disponível no Moodle

- Prof. Dr. Fernando C. Mendonça

- LEB – ESALQ/USP



Tópicos



- Bombas
 - Conceitos
 - Forma do Teorema de Bernoulli
 - Exemplos
- Turbinas
 - Conceitos
 - Forma do Teorema de Bernoulli
 - Exemplos



Teorema de Bernoulli

- Fluido Perfeito
 - escoamento **sem** perda de energia

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2$$

- Fluido Real
 - escoamento **com** perda de energia (Perda de carga)

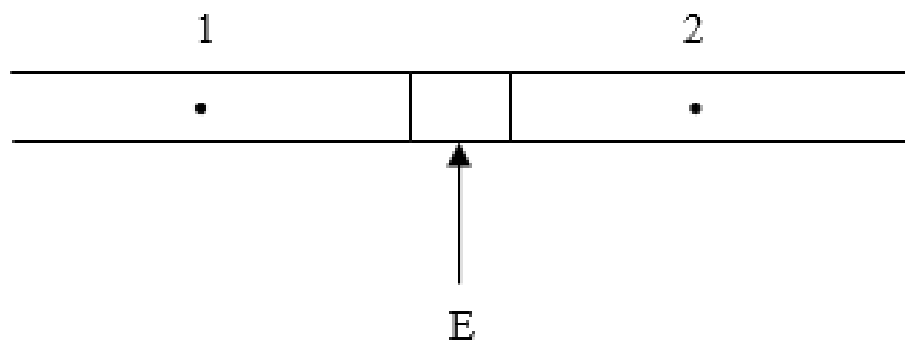
$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + hf_{1-2}$$

BOMBEAMENTO





Bombas - Conceitos



$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 + EB = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + hf_{1 \rightarrow 2}$$

- **BOMBAS** adicionam **ENERGIA** ao escoamento
- Quantidade de energia depende do objetivo
- Exemplos:
 - Elevar água a um reservatório → Energia = Desnível (Δz) + Perda de carga (hf)
 - Irrigação → Energia = $\Delta z + hf +$ Pressão de serviço do emissor (PS)
 - Combate a incêndios → Energia = $\Delta z + hf + PS$ do bocal (mangueira)



Bombas - Conceitos

- **Energia suficiente no início**

Escoamento no sentido desejado

- **Energia insuficiente**

Sem escoamento ou Escoamento em
sentido inverso ao desejado

SOLUÇÃO: adicionar energia → garantir o
sentido do escoamento

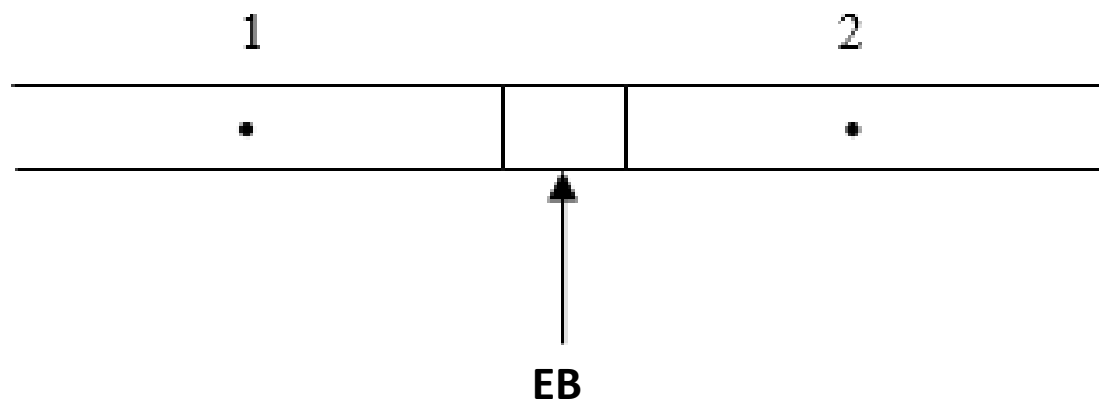
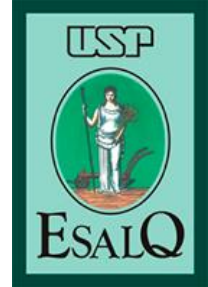


Bombas



BOMBA CENTRÍFUGA





$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 + \mathbf{EB} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + hf_{1 \rightarrow 2}$$

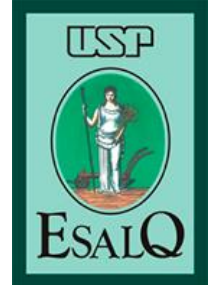
$EB = H_B =$ Altura manométrica, ou Hm

$$E_1 + Hm = E_2 + hf_{1-2}$$

$$1 \text{ cv} = 735,5 \text{ W}$$



Potências



Potência útil (Pot_u)

→

Energia transmitida pela bomba ao líquido

$$Pot_u = \gamma \cdot Q \cdot Hm = cv$$

γ – peso específico do líquido (kgf/m^3) Q – vazão (m^3/s)

Hm – Altura manométrica total ($Hm = H_b$) (m)

Potência absorvida (Pot_{abs})

→

Energia necessária à bomba:

$$Pot_{abs\ B} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot Hm}{\eta_B} = cv$$

η_B – rendimento da bomba (decimal)

Potência do motor (Pot_{MB})

→

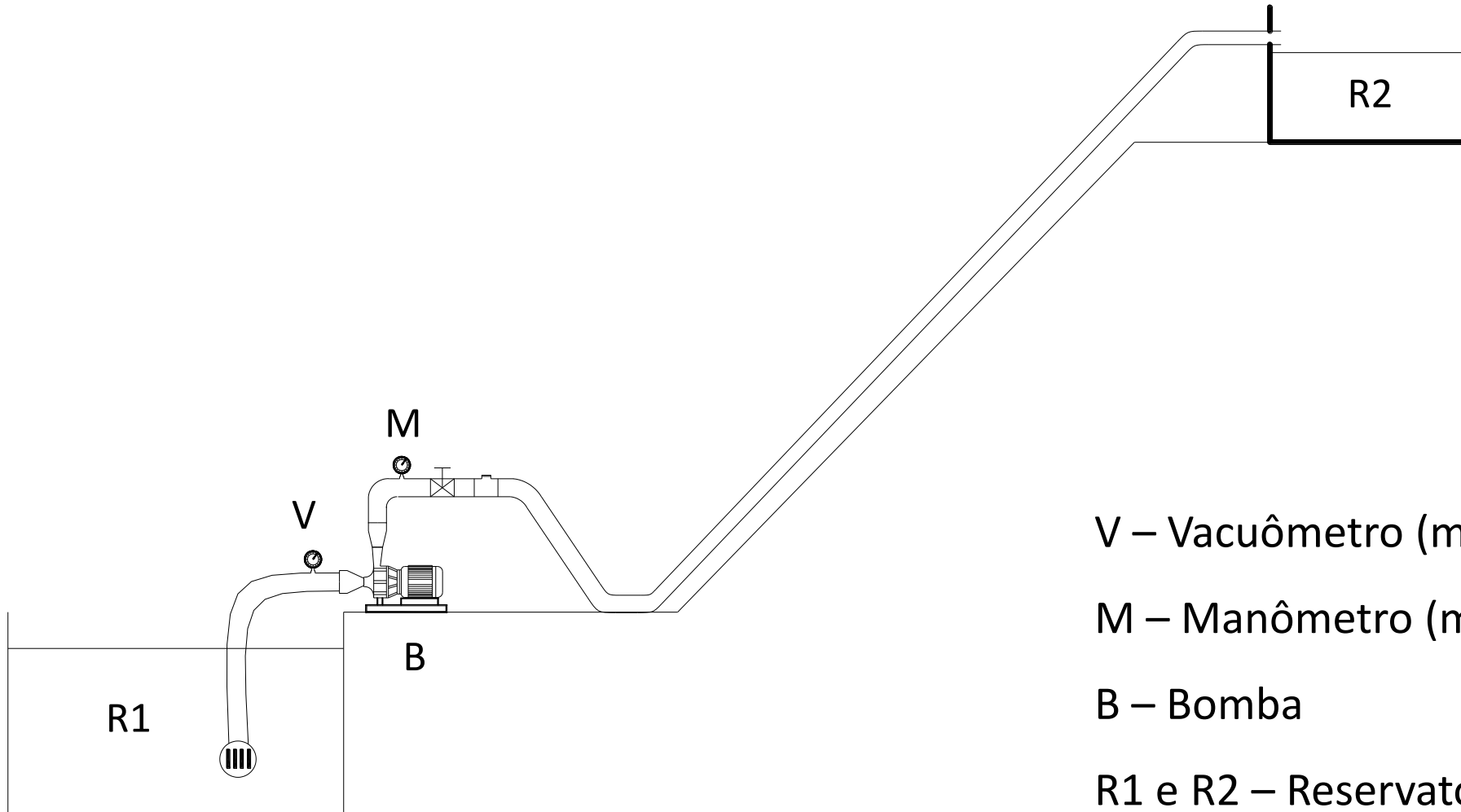
Energia captada pelo motor:

$$Pot_{MB} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot Hm}{\eta_{MB}} = cv$$

η_{MB} – rend. do conjunto motobomba (decimal)



Exemplo 1 - Bombas



V – Vacuômetro (mede $P < P_{atm}$)

M – Manômetro (mede $P > P_{atm}$)

B – Bomba

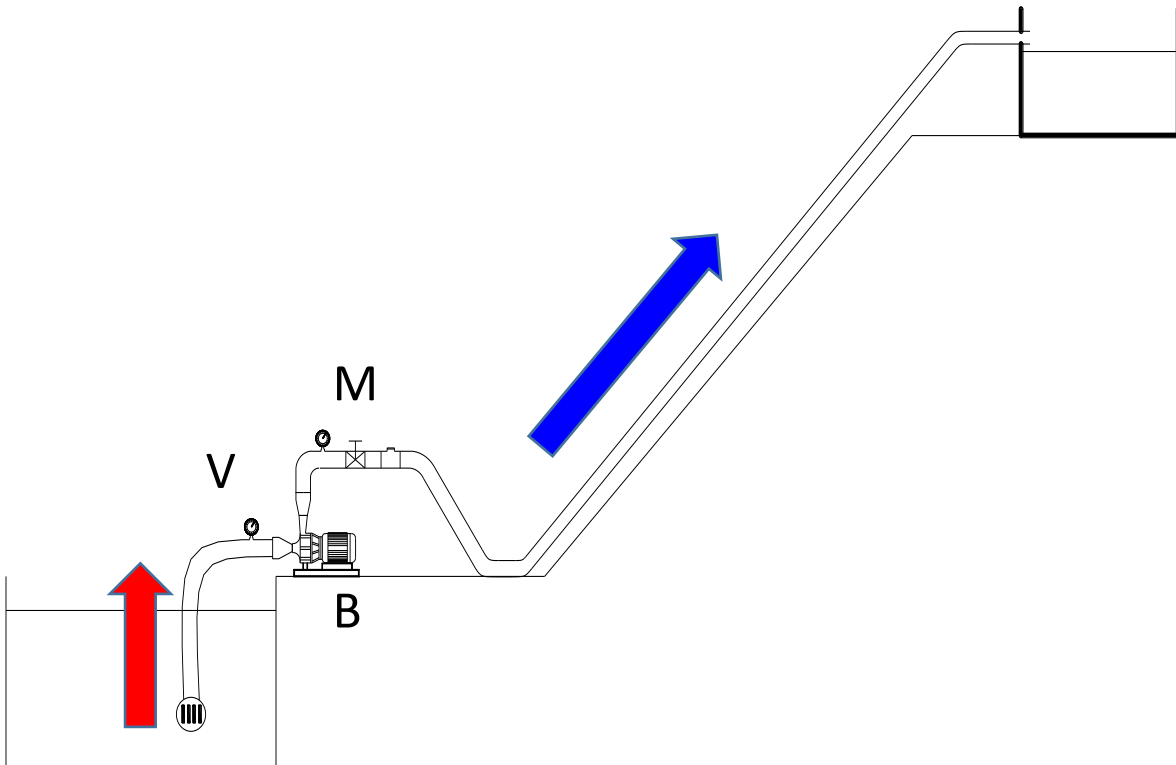
R1 e R2 – Reservatórios



Exemplo 1 - Bombas

- Bomba: **succiona** e **recalca** água

Calcular a potência absorvida pela bomba (B)



Dados:

$$D_{\text{sucção}} = 150 \text{ mm}$$

$$D_{\text{recalque}} = 100 \text{ mm}$$

$$Q = 100 \text{ L/min}$$

$$P_1 = -300 \text{ mm Hg}$$

$$P_2 = 2,8 \text{ kgf.cm}^{-2}$$



Exemplo 1 - Bombas



Solução:

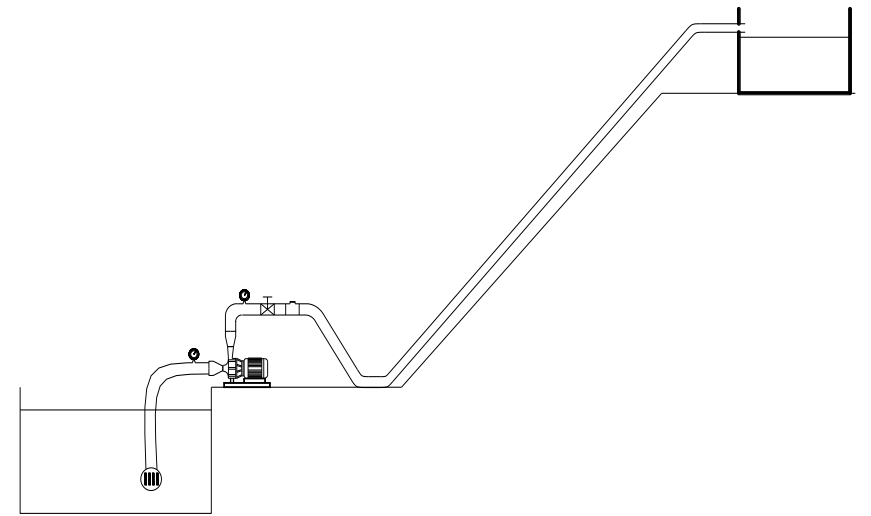
- Bernoulli: desconsiderar h_f e rendimento motobomba = 60%

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 + H_m = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + h_{f_{1-2}}$$

$$-4,08 + \frac{0,095^2}{19,62} + 0 + H_m = 28 + \frac{0,212^2}{19,62} + 0,5 + 0$$

$$H_m = 32,8 \text{ mca}$$

$$Pot_{abs} = \frac{\gamma Q H_m}{75 \eta_B} = \frac{1000 \times 0,00167 \times 32,8}{75 \times 0,6} = 1,217 \text{ cv}$$





TURBINAS



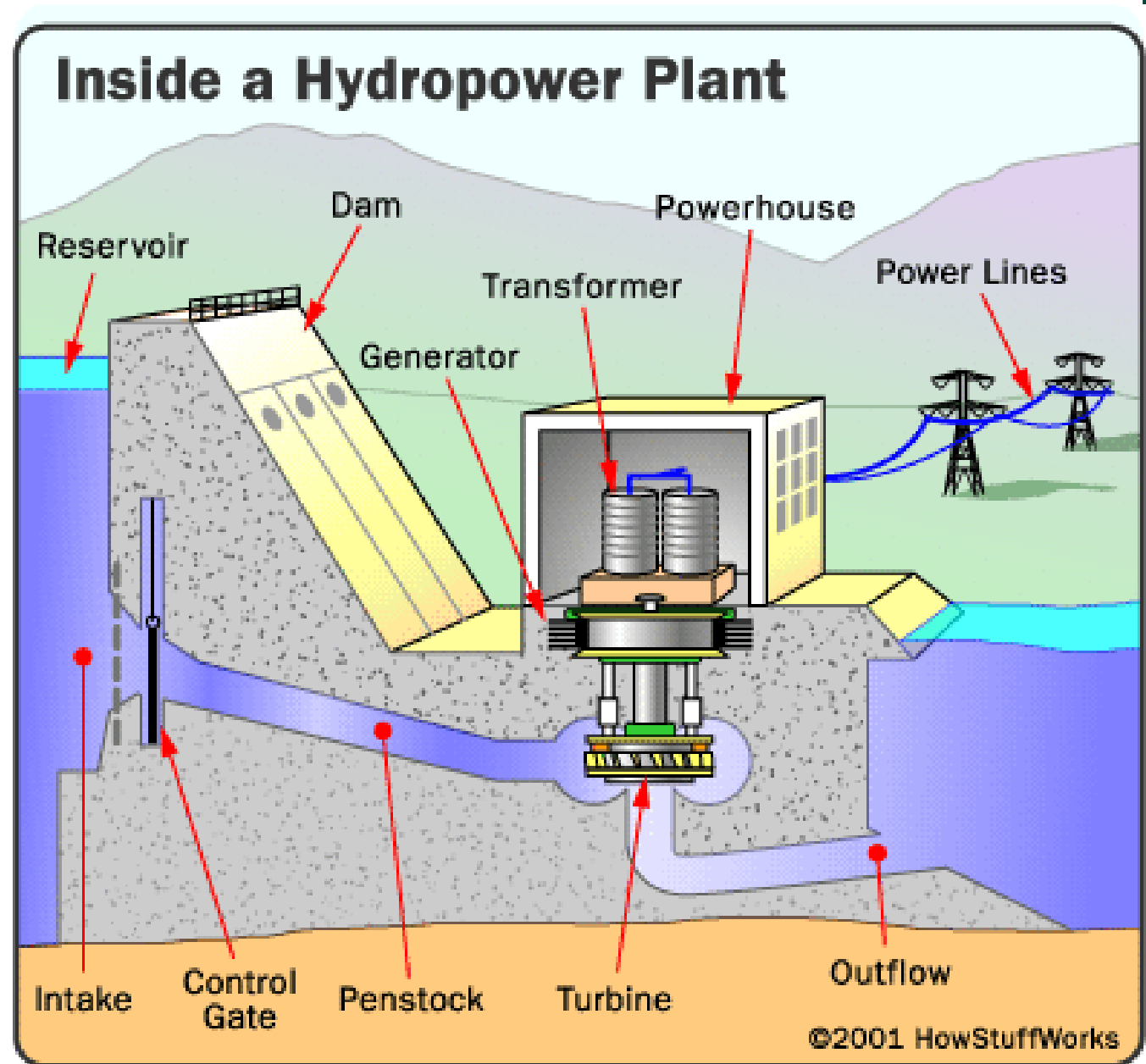
Turbinas – Conceitos e Teorema

Aproveitamento da energia disponível para realização de trabalho

- **Turbinas**
 - Captam parte da energia do escoamento
 - Transmitem parte da energia captada
 - Energia elétrica (Gerador)
 - Energia mecânica (Triturador, moinho, bomba etc.)
 - Energia de pressão (Turbo-bomba)



Turbinas - Hidroeletricidade





Turbina Pelton



- Um ou mais bocais de acionamento
- Câmara fechada ou semifechada para aumentar a eficiência
- Rotor na posição vertical
- Quedas d'água maiores: 350 a 1100 m
- Ex.: Usina Henry Borden



Usina Henry Borden – Cubatão, SP



- Represa Billings
- Rio das Pedras + Rio Pinheiros

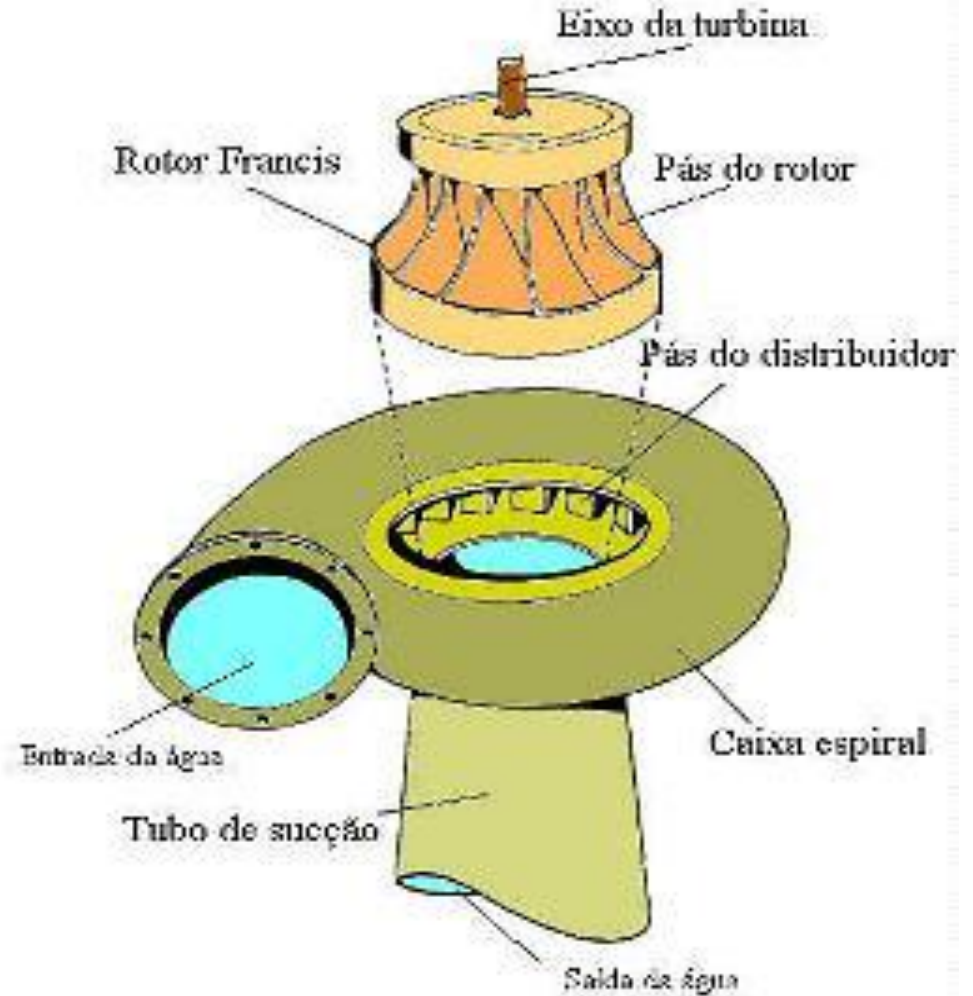
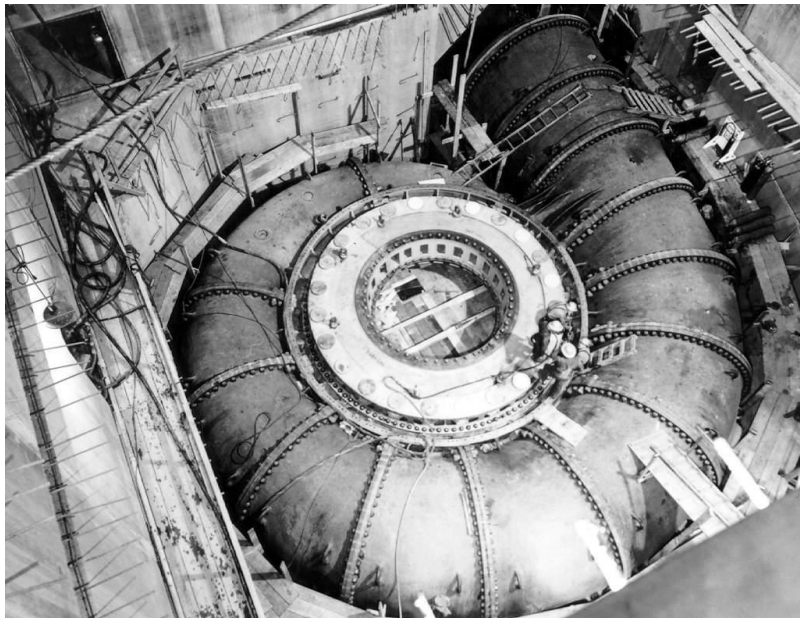




Turbina Francis

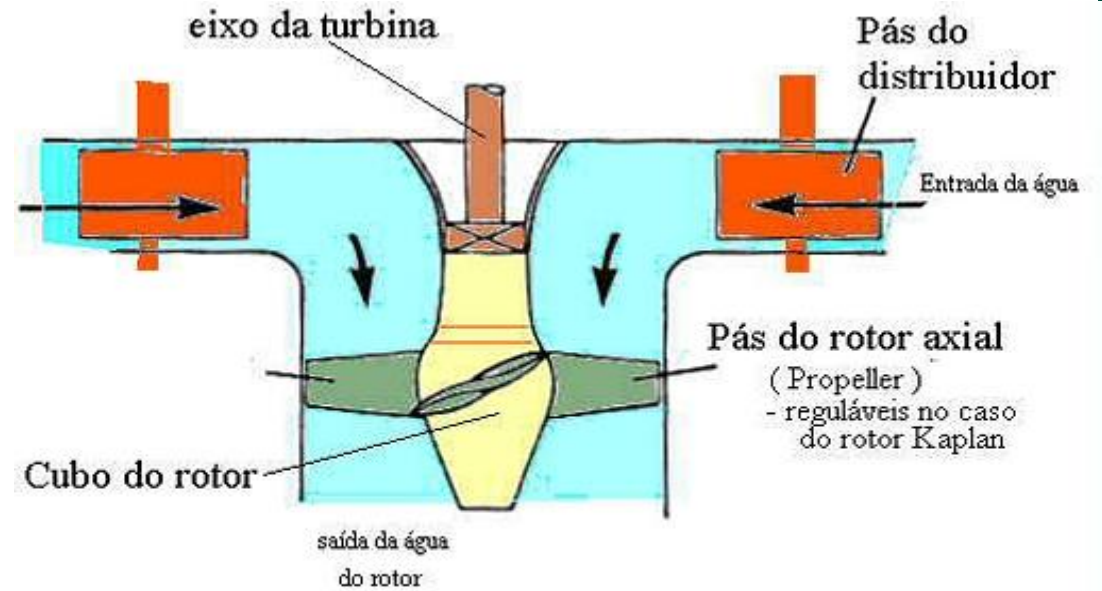


- Câmara fechada aumenta a eficiência
- Rotor na posição horizontal
- Quedas d'água de 40 a 400 m
- Ex.: Itaipu, Tucuruí e Furnas





Turbina Kaplan



- Rotor na posição horizontal com Fluxo axial de água (sentido do eixo)
- Quedas d'água ≤ 60 m
- Ex.: Barra Bonita-SP Três Marias-MG

Yaciretá (Paraguai)

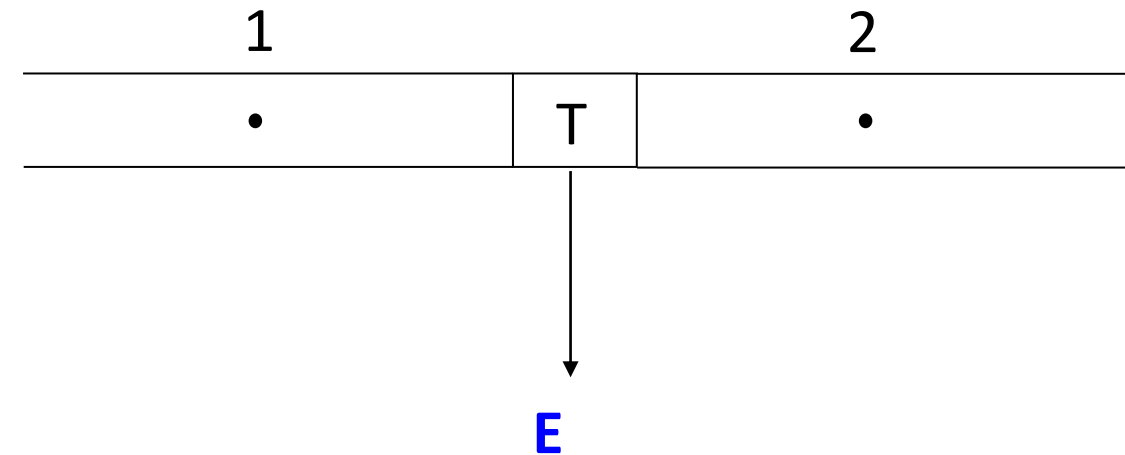
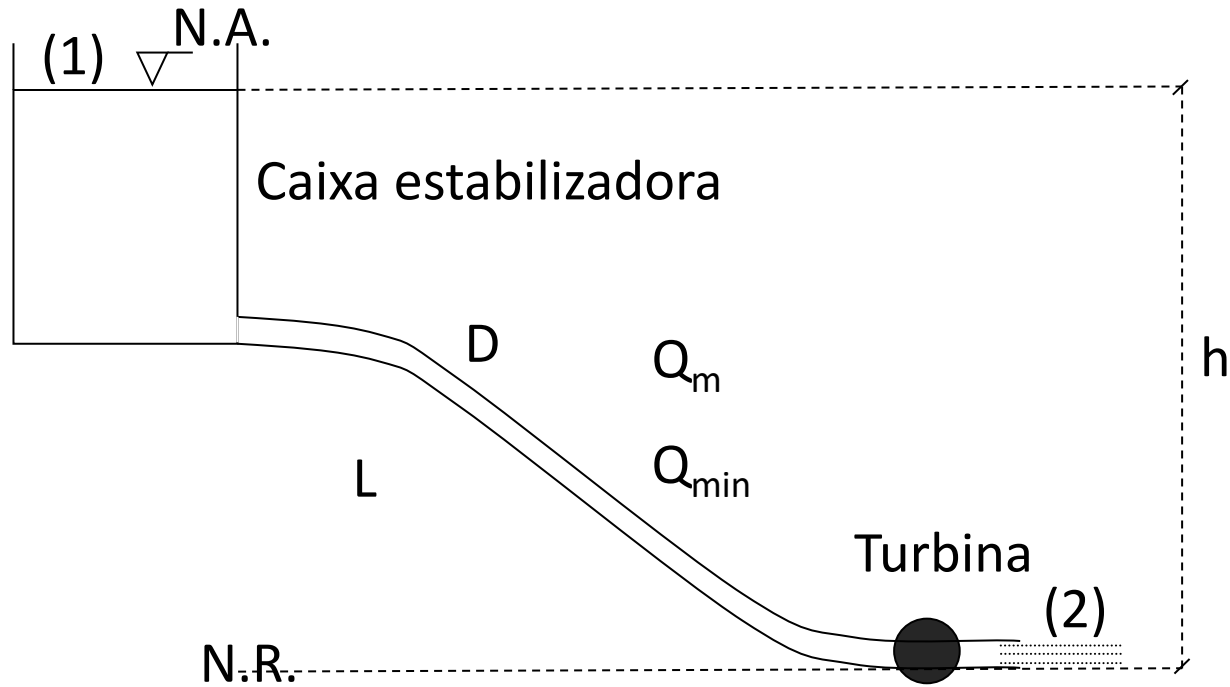


Turbina Kaplan – Usina Yaciretá



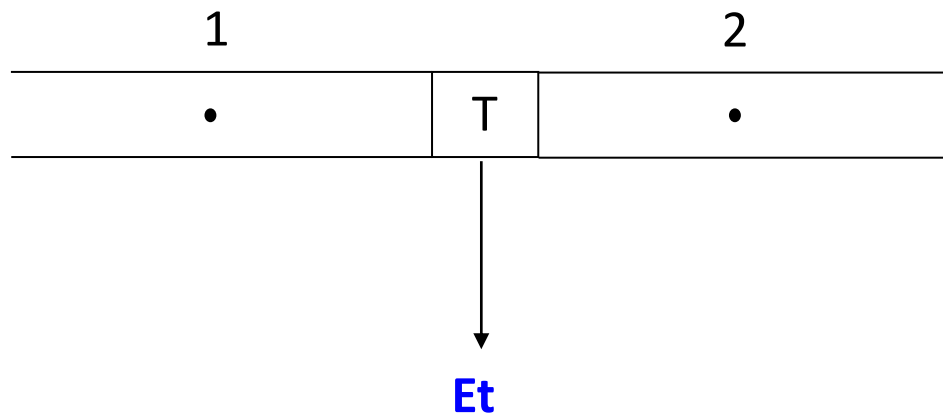


Turbinas – Teorema de Bernoulli





Turbinas – Teorema de Bernoulli



- Turbinas captam energia do escoamento

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + \mathbf{E_T} + hf_{1-2}$$

Em que:

E_T – energia absorvida pela turbina



Turbinas - Potências

- $Pot_{abs\ T-água} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75}$

- Rend. turbina $\eta_T = \frac{Pot_{abs\ G}}{Pot_{abs\ T}}$

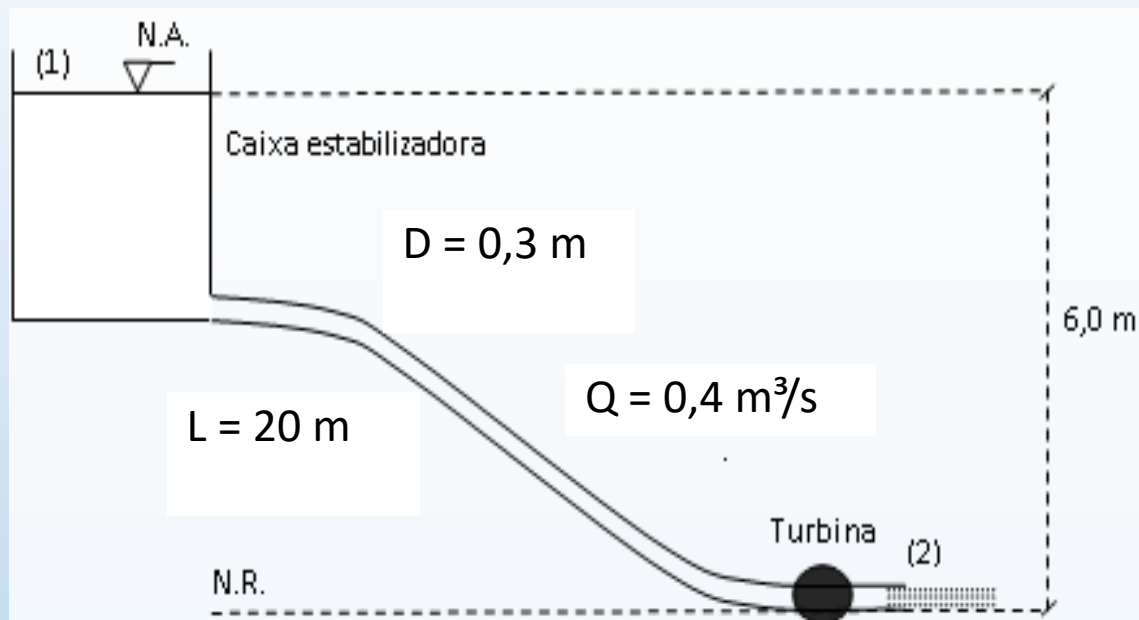
- Rend. gerador $\eta_G = \frac{Pot_{abs\ Rede}}{Pot_{abs\ G}}$

- Rend. Turbina + Gerador $\eta_{(T+G)} = \eta_T \times \eta_G$

- Pot. absorvida rede $Pot_{abs\ Rede} = \eta_G \times Pot_{abs\ G}$

- Pot. abs. Turbina + Gerador $Pot_{abs\ T} = \eta_{(T+G)} \frac{\gamma \cdot Q \cdot E_T}{75}$

Exemplo 1 - Turbina



$$hf_{1-2} = 1,41 \text{ mca } (Q_m)$$
$$\eta_{(T+G)} = 70\%$$

- Pede-se:

- a) A potência fornecida pela turbina à rede elétrica da fazenda.
- b) A receita bruta anual obtida com a turbina (R\$ 0,39 /kWh).
- c) O número de casas que podem ser abastecidas pela energia da turbina (Consumo médio de uma casa rural: 220 kWh/mês).
- d) O número de chuveiros (Pot = 5,5 kW) que podem ser ligados ao mesmo tempo, considerando a potência gerada pela turbina.



• Solução:

Ponto 1

Ponto 2

$$P_1 = 0$$

$$P_2 = 0$$

$$V_1 = 0$$

$$V_2 = \frac{Qm}{S_2} = \frac{4 Qm}{\pi D_2^2} = \frac{4 \times 0,400}{\pi \times 0,3^2} = 5,66 \text{ m/s}$$

$$h_1 = 6,0 \text{ m}$$

$$h_2 = 0$$

• Teorema de Bernoulli – Cálculo da carga d'água disponível à turbina (Energia/peso):

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + E_T + hf_{1-2}$$

$$0 + 0 + 6,0 = 0 + \frac{5,66^2}{2 \times 9,81} + 0 + E_T + 1,41 \Rightarrow E_T = 2,96 \text{ mca}$$

$$\bullet \text{ Pot}_{mT} = \eta_{(T+G)} \frac{\gamma \cdot Q \cdot E_T}{75} = 0,7 \times \frac{1000 \cdot 0,400 \cdot 2,96}{75} = 11,04 \text{ cv (8,119 kW)}$$

- Receita bruta anual obtida com a turbina
- $RB_m = 8,119 \text{ kW} \times 24 \text{ h/dia} \times 365 \text{ dias/ano} \times 0,39 \text{ R\$/kWh} = RB_m = \text{R\$ } 27.737,52/\text{ano}$

- Nº de casas abastecidas pela turbina =

- $$N = \frac{8,119 \text{ kW} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{dia}} \times 30 \frac{\text{dias}}{\text{mês}}}{220 \frac{\text{kWh}}{\text{casa} \cdot \text{mês}}} \approx 26 \text{ casas}$$

- Nº de chuveiros ligados simultaneamente

$$\text{Nº chuveiro} = \frac{Pot_{mT}}{Pot_{chuv}} = \frac{8,119 \text{ kW}}{5,5 \text{ kw}} \cong 1$$

Observações:

- A potência da turbina é pequena, portanto, não oferece muito conforto doméstico aos usuários;
- A turbina pode ser útil para o uso com equipamentos de menor potência e uso programado;
 - Pode ser feito um contrato com a concessionária de energia elétrica, de modo a fornecer energia à rede em momentos de baixo consumo e captar energia da mesma rede em momentos de pico de consumo.

Boa Semana a todos!



Não esqueçam os exercícios