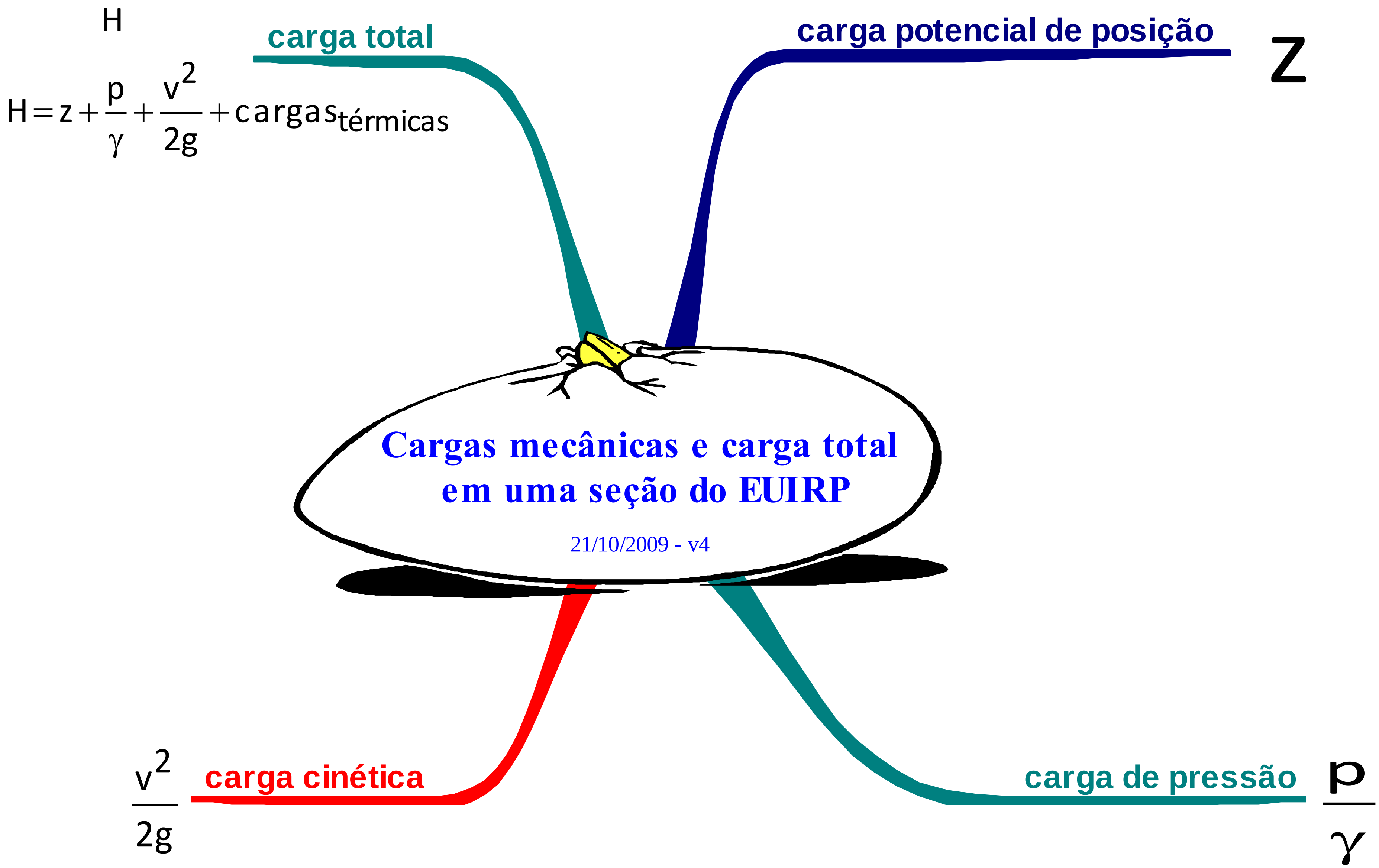
Capítulo 4 – Equação da energia para escoamento permanente

ME4310 e MN5310

21/10/2009


Cargas mecânicas e carga total em uma seção do EUIRP
21/10/2009 - v4
carga total
H
$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + cargas_{térmicas}$
carga potencial de posição
z
carga cinética
$\frac{v^2}{2g}$
carga de pressão
$\frac{p}{\gamma}$

$$H_1 = H_2$$

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

resulta

fluido ideal $\mu = 0$

propriedades uniformes na seção

$\rho = cte$

sem troca de calor

escoamento incompressível

$H_m \rightarrow$ carga manométrica

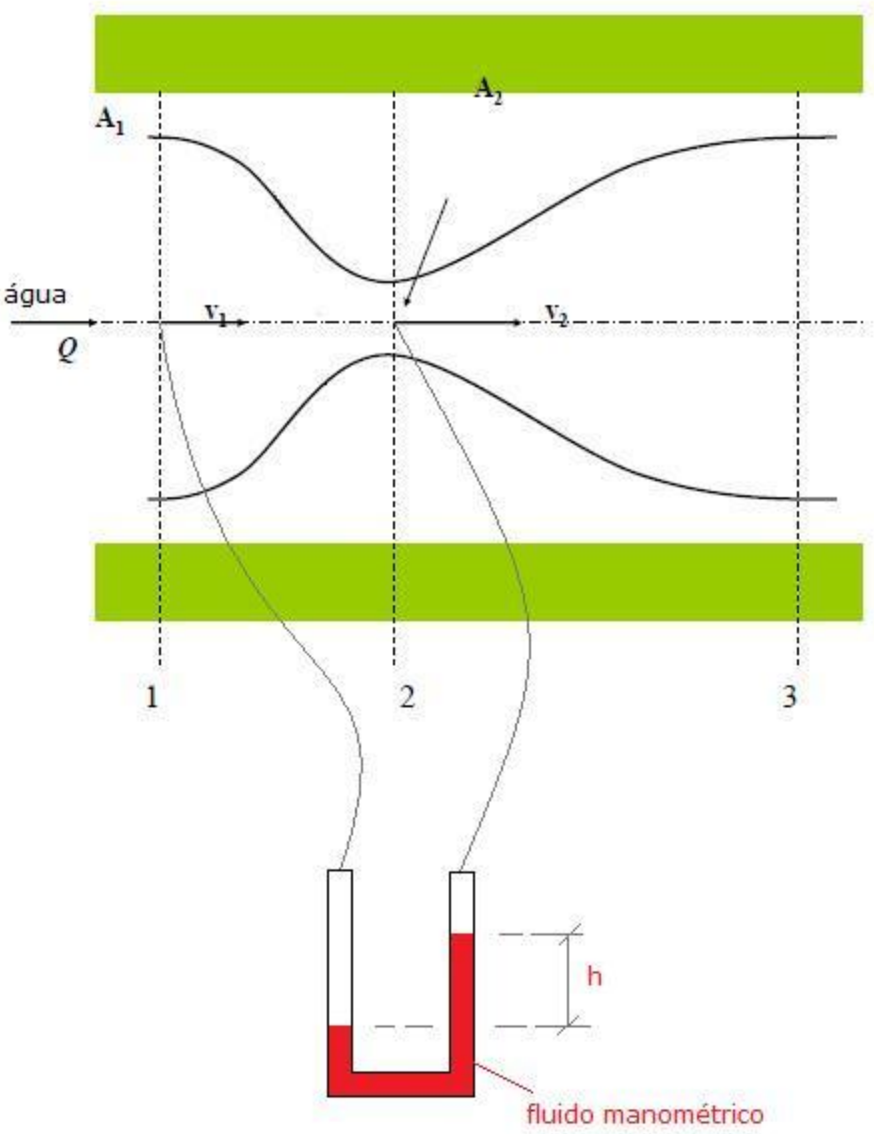
sem máquina hidráulca

$H_m = 0$

escoamento isotérmico

Aplicação

No laboratório, na experiência do medidor de vazão Venturi, no tanque obteve, para a medida da vazão, t = 20 s para um Δh = 100 mm (A = 0,5 m²). Sabe-se que o coeficiente de descarga do Venturi é 0,8. Sendo A_1 = 45 cm² e A_2 = 20 cm², qual o desnível que deverá ser observado no fluido manométrico que tem γ_m = 8000 kgf/m³ e $\gamma_{água}$= 1000 kgf/m³



Solução

$$Q_{real} = \frac{\Delta h \times A_{tanque}}{\Delta t} = \frac{0{,}1 \times 0{,}5}{20} = 2{,}5 \times 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$$

$$C_D = \frac{Q_{real}}{Q_{teórica}} \therefore Q_{teórica} = \frac{2{,}5 \times 10^{-3}}{0{,}8} = 3{,}125 \times 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$$

$$3{,}125 \times 10^{-3}\ \frac{m^3}{s} = v_{2_{teórica}} \times A_2 = v_{1_{teórica}} \times A_1$$

$$v_{2_{teórica}} = \frac{3{,}125 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-4}} \cong 1{,}5625 \frac{m}{s}$$

$$v_{1_{teórica}} = \frac{3{,}125 \times 10^{-3}}{45 \times 10^{-4}} \cong 0{,}6945 \frac{m}{s}$$

$$H_1 = H_2 \Rightarrow z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \therefore \frac{p_1 - p_2}{1000} = \frac{1{,}5625^2 - 0{,}6945^2}{19{,}6}$$

$$p_1 - p_2 \cong 100 \frac{kgf}{m^2} \Rightarrow h \times (8000 - 1000) = 100 \therefore h = 0{,}0143 m = 14{,}3 mm$$

Vamos pensar em outra aplicação

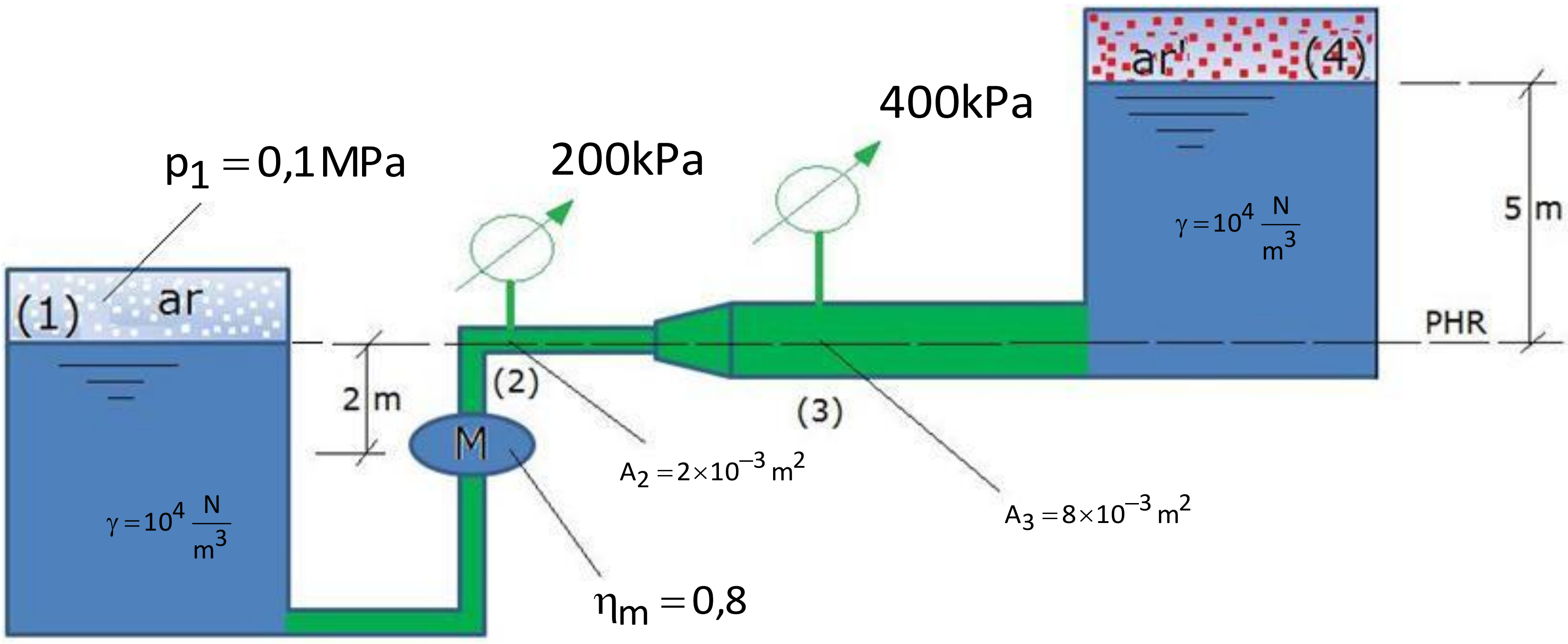
Na instalação hidráulica da figura a vazão d’água na máquina é 16 L/s. Tem-se $Hp_{1\text{-}2} = Hp_{3\text{-}4} = 1$ m, o manômetro na seção (2) indica 200 kPa e o da seção (3) 400 kPa. Determinar:

a) O sentido do escoamento;

b) A perda de carga no trecho de (2) – (3);

c) A potência trocada entre o fluido e a máquina e o tipo de máquina;

d) A pressão do ar em (4) em kPa.



Começando a resolver o problema

Vamos neste ponto eliminar a hipótese do fluido ideal, ou seja, o fluido passa a ter viscosidade a qual é responsável pela perda de carga e isto implica que em um trecho sem máquina pode-se afirmar que o escoamento ocorre da seção de maior carga para a seção de menor carga.

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{16 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-3}} = 8\,\frac{m}{s}$$

$$v_3 = \frac{Q}{A_3} = \frac{16 \times 10^{-3}}{8 \times 10^{-3}} = 2\,\frac{m}{s}$$

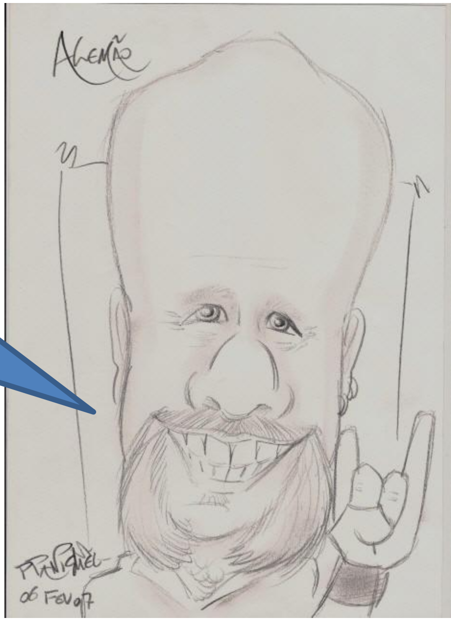
$$H_2 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} = 0 + \frac{200 \times 10^3}{10^4} + \frac{8^2}{20} = 23{,}2\,m$$

$$H_3 = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} = 0 + \frac{400 \times 10^3}{10^4} + \frac{2^2}{20} = 40{,}2\,m$$

Portanto: $H_3 > H_2$

e como não existe máquina entre elas, pode-se afirmar que o escoamento é de (3) para (2), ou seja, de (4) para (1).

PARA EFEITO DE CÁLCULO SERIA IMPORTANTE ESTABELECER A IGUALDADE APÓS SE CONHECER O SENTIDO DE ESCOAMENTO E CONSIDERANDO O MESMO TRECGO DE (3) PARA (2), TERÍAMOS:



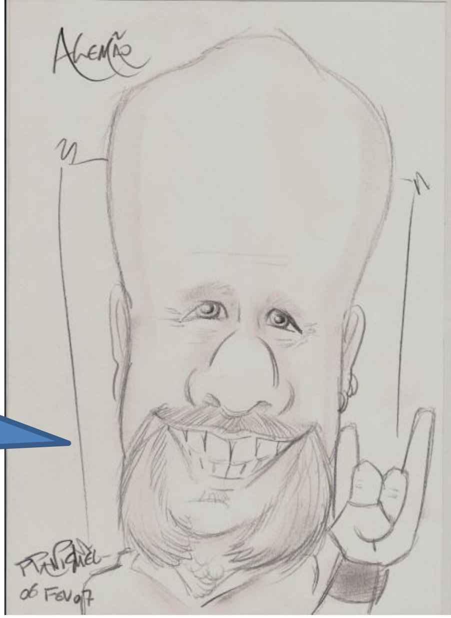
$$H_3 = H_2 + H_{p_{3\to 2}}$$

$$H_{p_{3\to 2}} = \text{dissipação de energia por unidade de peso que é}$$

denominada de perda de carga, genericamente para um trecho sem máquina, tem-se:

$$H_{inicial} = H_{final} + H_{p_{inicial \to final}}$$

Neste capítulo a perda de carga ou será dada, ou será pedida, como no exercício proposto: a perda de carga no trecho de (2) – (3)



$$H_3 = H_2 + H_{p_{3\to 2}}$$

$$40{,}2 = 23{,}2 + H_{p_{3\to 2}} \therefore H_{p_{3\to 2}} = 17\,m$$

VAMOS ELIMINAR MAIS UMA DAS HIPÓTESES DA EQUAÇÃO DE BERNOULLI; TRECHO SEM MÁQUINA HIDRAULICA.

CONCEITO DE MÁQUINA HIDRAULICA

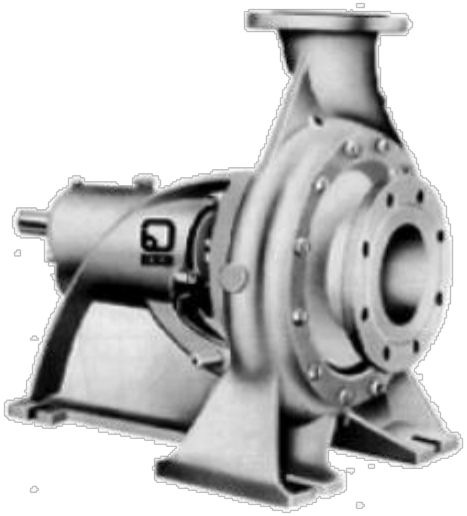
É O DISPOSITIVO QUE FORNECE CARGA (ENERGIA POR UNIDADE DE PESO EM FORMA DE TRABALHO) OU RETIRA CARGA DO FLUIDO.

PARA O NOSSO CURSO, QUANDO FORNECE CARGA É DENOMINADA DE BOMBA E A CARGA FORNECIDA (H_B) DE CARGA MANOMÉTRICA DA BOMBA.

QUANDO RETIRA CARGA É DENOMINADA DE TURBINA E A CARGA RETIRADA (H_T) DE CARGA MANOMÉTRICA DA TURBINA.

GENERICAMENTE:

$$H_m > 0 \rightarrow \text{bomba} \rightarrow H_m = +H_B$$
$$Hm < 0 \rightarrow \text{turbina} \rightarrow H_m = -H_T$$



Bomba ETA da KSB

Turbina Francis da Voith (azul) acoplada a gerador Westinghouse de 117,6 kW (vermelho)

Equação da energia para um escoamento incompressível e em regime permanente

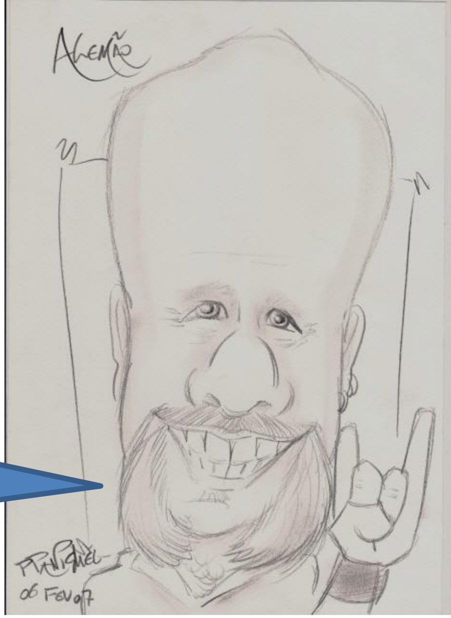
$$H_{inicial} + H_m = H_{final} + H_{p_{i \to f}}$$

$$z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} + H_m = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{v_f^2}{2g} + H_{p_{i \to f}}$$

$$\text{BOMBA} \rightarrow H_m = +H_B$$

$$\text{TURBINA} \rightarrow H_m = -H_T$$

O ÚNICO TRECHO QUE NÃO SE CONSIDERA A PERDA DE CARGA NA EQUAÇÃO DA ENERGIA É QUANDO SE CONSIDERA A SEÇÃO DE ENTRADA E SAÍDA DE UMA MÁQUINA, ISTO PORQUE A PERDA JÁ É CONSIDERADA NO RENDIMENTO DA MÁQUINA QUE SERÁ SEMPRE INFERIOR A 100%



$$H_{entrada} + H_m = H_{saída}$$

$$z_e + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{v_e^2}{2g} + H_m = z_s + \frac{p_s}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g}$$

$$\text{BOMBA} \rightarrow H_m = +H_B$$

$$\text{TURBINA} \rightarrow H_m = -H_T$$

PROPOSTA: CONCLUIR O EXERCÍCIO, OU SEJA, RESOLVER OS ITENS C E D