

# Campeonato de Física 2022

José Orlando

10 de setembro de 2022

## Problema 2 - Grupo A

### Um toboágua inusitado

Em períodos de chuvas intensas, a água armazenada em usinas hidrelétricas pode transbordar se houver uma elevação excessiva do nível do reservatório. Para garantir a segurança da barragem e da região, existe uma importante estrutura chamada **vertedouro** que é usada para escoar o excesso de água.



Figura 1: Um vertedouro com comportas abertas escoando água de volta para o rio represado.

Nesse problema, vamos estudar o escoamento de água através dessa estrutura. Para isso, considere que a água é um líquido incompressível de densidade  $\rho$  e a gravidade local vale  $g$ .

### Parte A - Sem dissipação

Sendo o escoamento no vertedouro não viscoso, irrotacional e em regime permanente:

- A.1) Demonstre** que a relação a seguir é válida para qualquer ponto ao longo do fluxo de água

$$p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = \text{constante}$$

onde  $p$ ,  $h$  e  $v$  representam a pressão, altura e velocidade do fluido em um ponto considerado, respectivamente.

**A.2)** Como as parcelas da equação demonstrada podem ser interpretadas em termos de energia?

**A.3)** **Estime** a velocidade da água quando o escoamento pelo vertedouro atinge o leito do rio considerando uma barragem de médio porte com 45m de altura que se encontra em sua capacidade máxima. Use  $g = 10m/s^2$  nesse item e que a área da abertura da comporta é muito menor que a área da superfície do reservatório.

Pode-se perceber que o escoamento atinge uma alta velocidade quando não há perdas de energia.

## Parte B - Com dissipação

Como a água que escoo pelo vertedouro adquire uma energia cinética muito alta até a saída, problemas de erosão podem ser provocados no rio e na própria barragem. Assim, com o objetivo de evitar esses danos, os vertedouros são projetados para promover uma grande dissipação de energia. A imagem a seguir mostra uma forma de dissipação.



Figura 2: Vertedouro com comporta aberta na Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira (SP). Fonte: TV TEM - G1 <sup>2</sup>.

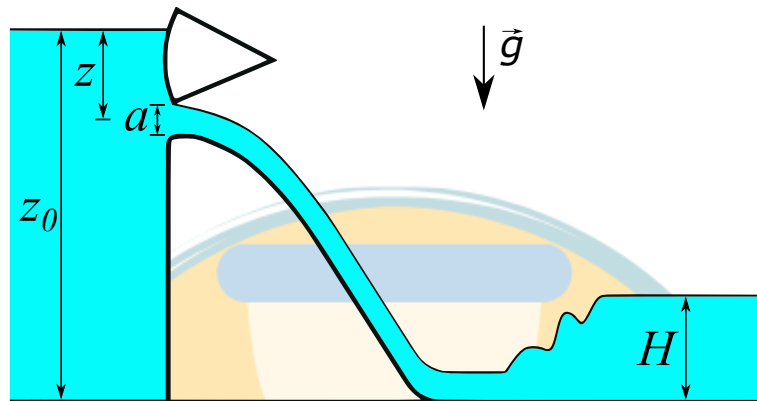
Nela, é possível ver que ocorre um salto significativo do nível do escoamento em um curto espaço. Nessa elevação, parte da energia cinética da água é convertida em energia potencial gravitacional e outra parte é dissipada devido à alta turbulência. Vamos desenvolver a seguir um modelo simplificado para esse salto.

Considere um vertedouro descarregando, em um rio de mesma largura e seção retangular constante, o excesso de água através de uma pequena abertura na

<sup>2</sup>Disponível em:

<https://g1.globo.com/sp/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2019/05/01/comportas-de-usina-hidreletrica-de-ilha-solteira-sao-abertas-para-teste.ghtml>

sua única comporta, como mostra a figura a seguir. No encontro da água que escoou pelo vertedouro com o leito do rio, ocorre o salto em estudo, sendo as perdas de energia antes dele desprezíveis. Considerando, nas seções transversais do escoamento antes e após o salto, velocidades uniformes e uma distribuição de pressão hidrostática:



- B.1)** Determine a altura  $H$  da seção do escoamento após a elevação do nível de água.
- B.2)** Determine a densidade de energia dissipada (energia dissipada por unidade de volume) devido ao salto.
- B.3)** Encontre uma condição matemática necessária para que esse tipo de dissipação ocorra.

**Dados:**

Altura da superfície do reservatório:  $z_0$

Distância entre a superfície e a saída de água pela comporta:  $z$ .

Altura da abertura da comporta:  $a$ .