

Pressão Estática, de Estagnação e Dinâmica

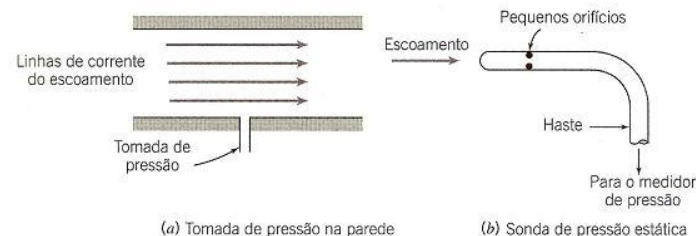
$$\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = cte$$

$$p + \frac{1}{2} \rho V^2 + \gamma z = cte$$

A pressão p que aparece na equação de Bernoulli é a pressão termodinâmica, comumente chamada de pressão estática. Para medirmos p , poderíamos nos mover com o fluido, permanecendo assim estáticos em relação ao fluido em movimento.

Como medimos a pressão em um líquido em movimento?

Não há variação de pressão numa direção normal a linhas de corrente retilíneas. Este fato torna possível medir a pressão estática usando uma “tomada” de pressão instalada na parede do duto em uma região onde as linhas de corrente sejam retilíneas.

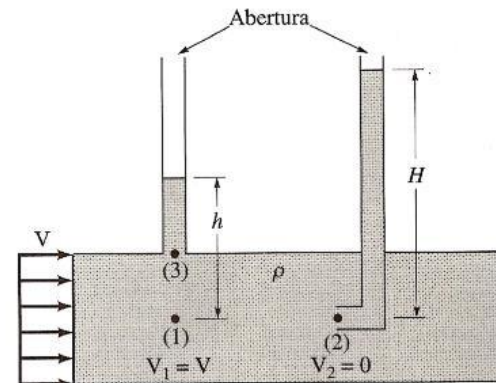


Pressão Estática, de Estagnação e Dinâmica

$$p + \frac{1}{2} \rho V^2 + \gamma z = cte$$

O segundo termo da equação de Bernoulli é denominado pressão dinâmica. Para entendermos este termo consideremos a pressão na extremidade de um pequeno tubo inserido no escoamento e apontando para montante. Este tubo é chamado Tubo de Pitot. Após o desaparecimento do movimento transiente inicial, o fluido irá preencher o tubo numa altura H . O fluido do tubo estará estacionário, $V_2 = 0$, ou seja, o ponto (2) é um ponto de estagnação.

$$p_2 = p_1 + \frac{1}{2} \rho V^2$$



A pressão de estagnação, no ponto (2), excede a pressão estática, p_1 , de uma quantidade que é a pressão dinâmica. Então a pressão dinâmica é a diferença entre a pressão de estagnação e a pressão estática.

$$V = \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho}}$$



Linha de Energia e Linha Piezométrica

Para um escoamento permanente, incompressível, sem atrito e ao longo de uma linha de corrente, a primeira lei da termodinâmica se reduz à equação de Bernoulli. Não há perda de energia neste tipo de escoamento.

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z = H = cte$$

A equação de Bernoulli, expressa da forma acima, sugere uma representação gráfica do nível de energia mecânica de um escoamento. Cada termo tem dimensões de comprimento, ou “**altura de carga**” do fluido em escoamento.

$$\frac{p}{\rho g}$$

A altura de carga devido à pressão estática local (energia de **pressão** por unidade de peso do fluido em escoamento).

$$\frac{v^2}{2g}$$

A altura de carga devido à pressão dinâmica local (energia **cinética** por unidade de peso do fluido em escoamento).

$$z$$

A altura de carga de elevação (energia **potencial** por unidade de peso do fluido em escoamento).

$$H$$

A altura de carga total do escoamento (energia mecânica **total** por unidade de peso do fluido em escoamento).

Linha de Energia e Linha Piezométrica

A **linha de energia** representa a altura de carga total. A altura permanece constante para um escoamento **sem atrito**, quando não é realizado nenhum trabalho sobre ou pelo líquido em escoamento (bomba ou turbina).

Um tubo de Pitot inserido num escoamento mede a pressão de estagnação (estática mais dinâmica) e será instalado num ponto de elevação z . A linha de energia vai corresponder à soma das três alturas de carga.

A **linha piezométrica** representa a soma das alturas de carga de elevação e de pressão estática ($z + p/\rho g$). Numa tomada de pressão estática conectada ao duto, o líquido sobe até a altura da linha piezométrica.

A diferença de altura entre a linha de energia e a linha piezométrica representa a altura de carga dinâmica (de velocidade), $v^2/2g$.

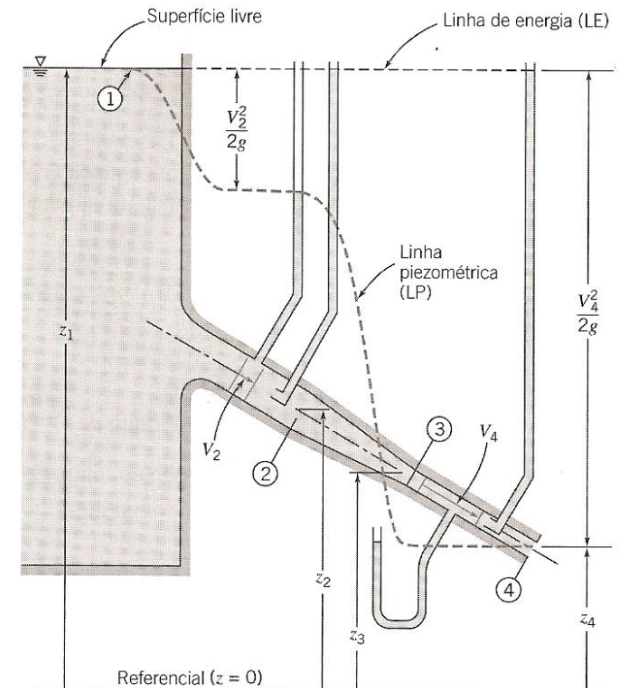
Na figura as tomadas estáticas dão leituras correspondentes à altura da linha piezométrica. Já os tubos de carga total fornecem leituras correspondentes à altura de carga total ou à linha de energia.

A altura de carga total é obtida aplicando-se Bernoulli ao ponto (1). Neste ponto a velocidade é desprezível e a pressão é a atmosférica (zero manométrica).

A carga de velocidade aumenta de zero a $v^2/2g$, à medida que a o fluido acelera para dentro da primeira seção do duto com diâmetro constante. Como a linha de energia é constante, a linha piezométrica tem sua altura diminuída. Quando a velocidade torna-se constante, a altura da linha piezométrica permanece também constante.

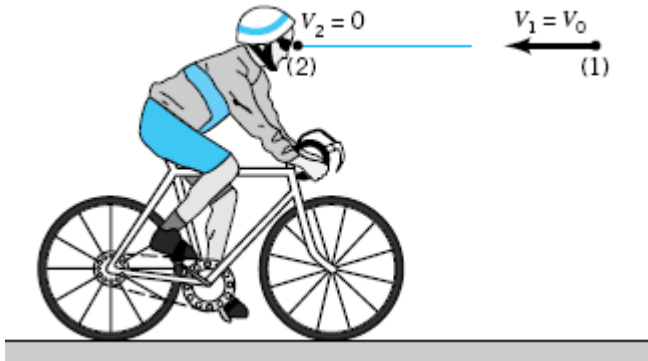
A velocidade aumenta novamente no redutor entre (2) e (3). À medida que a carga de velocidade aumenta a altura da linha piezométrica diminui. Quando a velocidade torna-se outra vez constante entre (3) e (4) a linha piezométrica mantém-se na horizontal, mas com uma altura menor.

Na descarga livre, em (4), a altura de carga estática é zero (manométrica). Ali, a altura da linha piezométrica é igual a z_4 . A altura de carga da velocidade é $V_4^2/2g$. A altura de carga de pressão é negativa entre (3) e (4) porque a linha do centro do duto está acima da linha piezométrica.



$$\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z = H = cte$$

Exemplo



Em um sistema de coordenadas fixo à bicicleta o ar estará fluindo ao encontro do ciclista com velocidade V_0 .

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \gamma z_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \gamma z_2$$

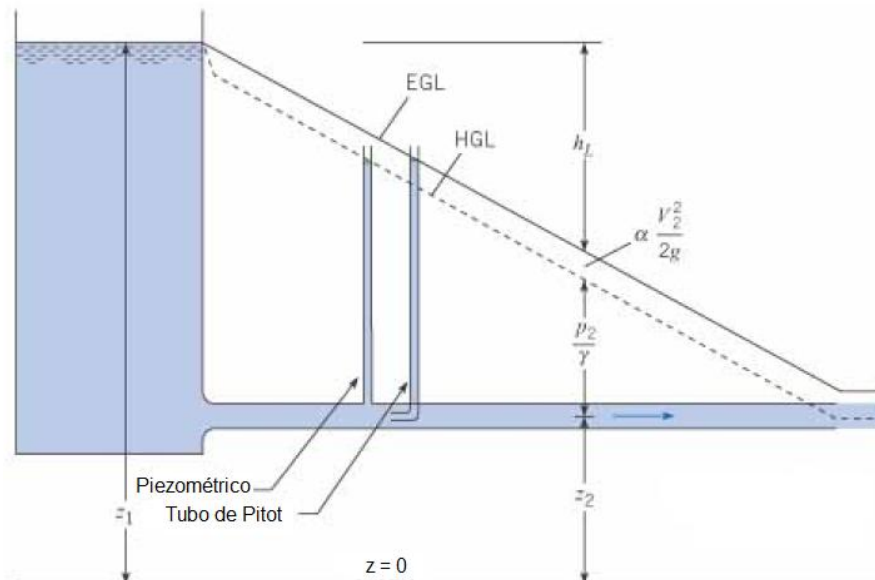
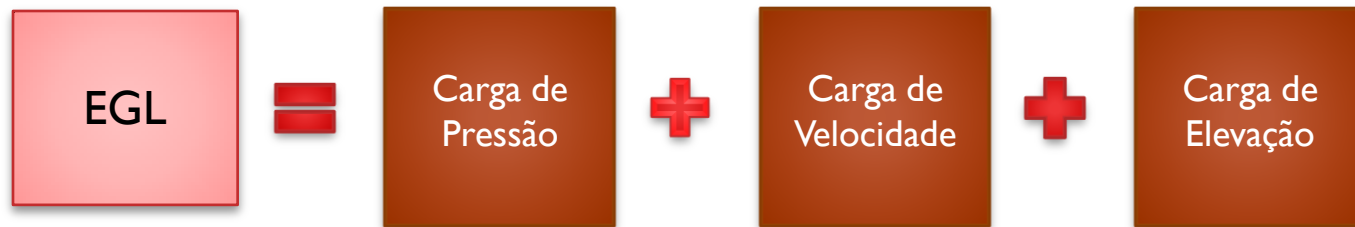
Sendo $V_1 = V_0$; $z_1 = z_2$ e $V_2 = 0$, segue-se que a pressão em (2) é maior que a pressão em (1) por:

$$p_2 - p_1 = \frac{1}{2}\rho V_1^2 = \frac{1}{2}\rho V_0^2$$

Linha de Energia e Linha Piezométrica

A Linha de Energia (EGL – *Energy Grade Line*) e a Linha de Altura Piezométrica (HGL – *Hydraulic Grade Line*) são representações gráficas da carga em um sistema. Proporcionam ajudas e dicas para localização e correção de pontos problemáticos em um escoamento (usualmente pontos de baixa pressão).

A EGL (Linha de Energia) é uma linha que indica a carga total em cada posição do escoamento.

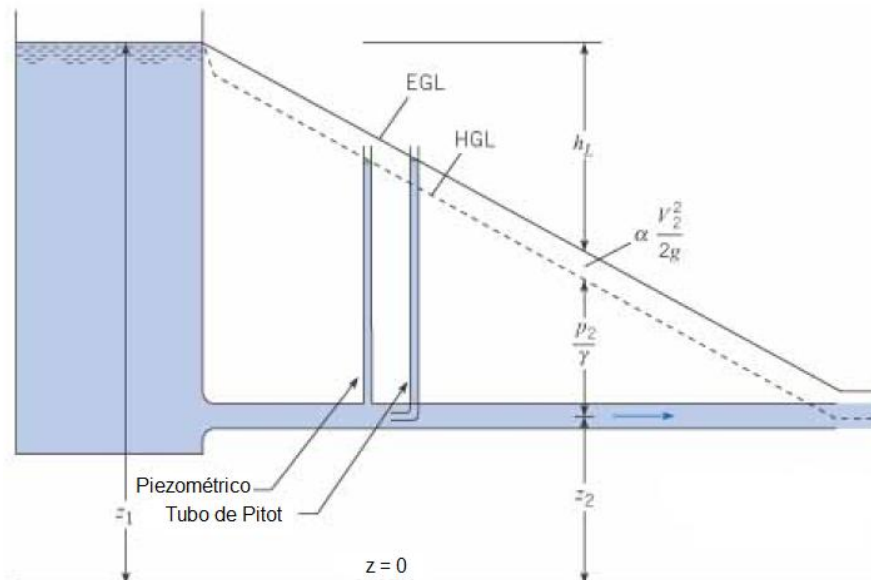


$$EGL = \frac{P}{\gamma} + \alpha \frac{V^2}{2g} + z = H$$

Linha de Energia e Linha Piezométrica

A Linha de Energia (EGL – *Energy Grade Line*) e a Linha de Altura Piezométrica (HGL – *Hydraulic Grade Line*) são representações gráficas da carga em um sistema. Proporcionam ajudas e dicas para localização e correção de pontos problemáticos em um escoamento (usualmente pontos de baixa pressão).

A HGL (Linha Piezométrica) é uma linha que indica a carga piezométrica ao longo do escoamento.

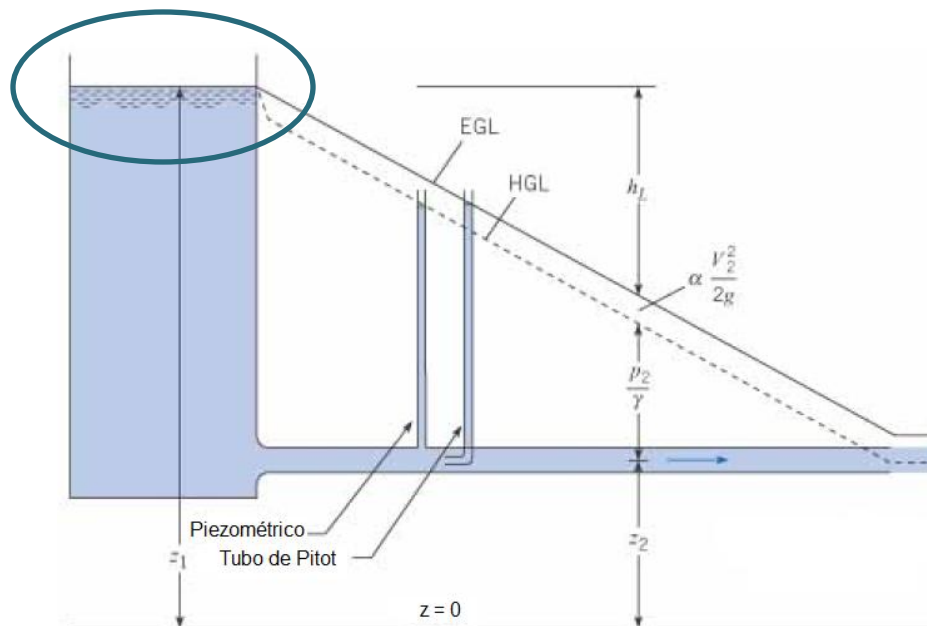


$$HGL = \frac{P}{\gamma} + z$$

Linha de Energia e Linha Piezométrica

Em um reservatório, a Linha Piezométrica (HGL) e a Linha de Energia (EGL) irão coincidir com a superfície do líquido.

Em repouso, ambas indicarão a carga piezométrica



$$EGL = \frac{P}{\gamma} + \alpha \frac{V^2}{2g} + z = H$$

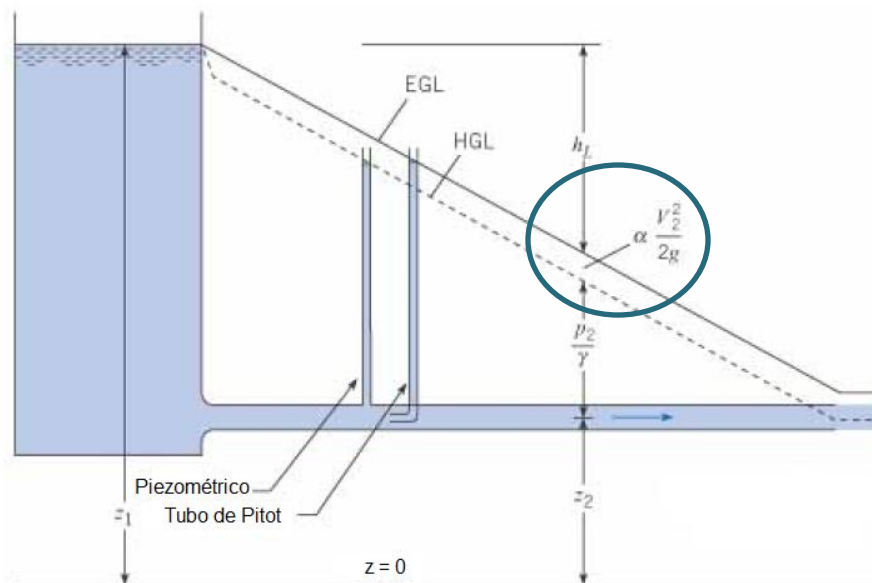
$$HGL = \frac{P}{\gamma} + z$$

Linha de Energia e Linha Piezométrica

Em escoamento permanente em um tubo de diâmetro e rugosidade constantes, as inclinações da linha EGL e da linha HGL serão constantes.

A HGL localiza-se abaixo da EGL a uma distância igual à carga de velocidade.

A altura da EGL diminui ao longo do escoamento, a menos que uma bomba esteja presente no sistema.



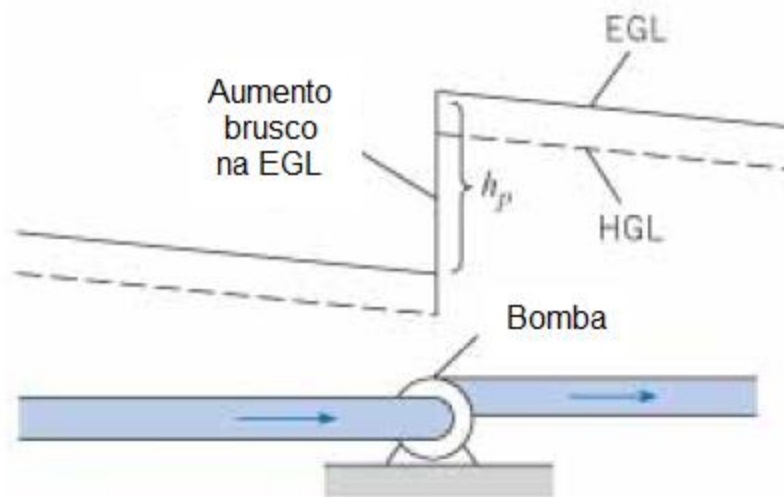
$$EGL = \frac{P}{\gamma} + \alpha \frac{V^2}{2g} + z = H$$

$$HGL = \frac{P}{\gamma} + z$$

Linha de Energia e Linha Piezométrica

Uma bomba provoca um aumento abrupto na EGL e na HGL, pois ela fornece energia ao escoamento.

O aumento corresponde à altura de carga da bomba, h_p



$$EGL = \frac{P}{\gamma} + \alpha \frac{V^2}{2g} + z = H$$

$$HGL = \frac{P}{\gamma} + z$$