

2 Fundamentos Teóricos

2.1. Propriedades Físicas dos Fluidos

Fluidos (líquidos e gases) são corpos sem forma própria; podem se submeter a variações grandes da forma sob a ação de forças; quanto mais fraca a força, mais lenta a variação.

A tensão normal sobre a superfície de um elemento de um fluido é chamada pressão. É idêntica em um ponto dado em todas as direções e pode ser calculada como:

$$p = \frac{\text{Força}}{\text{Área}} = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

O coeficiente de Viscosidade Dinâmica, η , é o parâmetro que representa a existência de forças tangentes em fluidos em movimentação. Supondo que duas camadas de fluido estão se movimentando a uma distância dy e uma velocidade relativa dv_x (Figura 2.1), a tensão cisalhante é:

$$\tau = \frac{\text{Força Cisalhante}}{\text{Área}} = \eta \frac{dv_x}{dy} \quad (2.2)$$

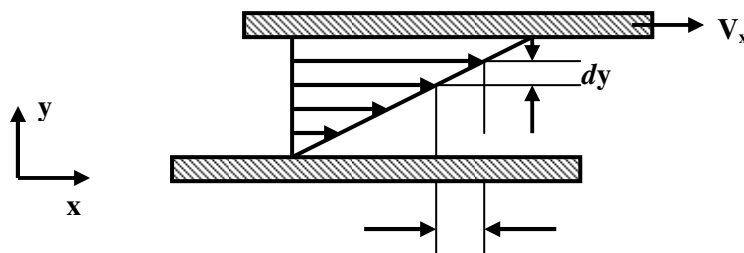


Figura 2.1. Definição de Tensão Cisalhante.

O coeficiente de viscosidade cinemática, μ , é a relação entre o coeficiente de viscosidade dinâmica e a densidade do fluido,

$$\mu = \frac{\text{viscosidade dinâmica}}{\text{densidade}} = \frac{\eta}{\rho} \quad (2.3)$$

onde a densidade da massa, ρ , é a massa contida numa unidade de volume:

$$\rho = \frac{\text{Massa}}{\text{Volume}} = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV} \quad (2.4)$$

2.2. Tipos de Fluxo

Dois tipos distintos de fluxo de fluido podem ocorrer:

Fluxo Laminar ou Viscoso, em que cada partícula descreve uma trajetória bem definida, com uma velocidade somente no sentido do fluxo (Figura 2.2).

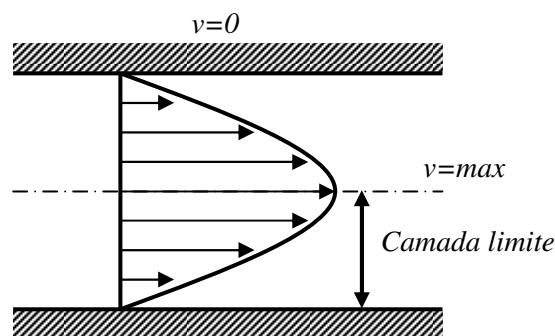


Figura 2.2. Perfil de velocidade do fluxo laminar.

Fluxo Hidráulico ou Turbulento, em que cada partícula, além da velocidade no sentido do fluxo, apresenta velocidades de correntes cruzadas variáveis (Figura 2.3).

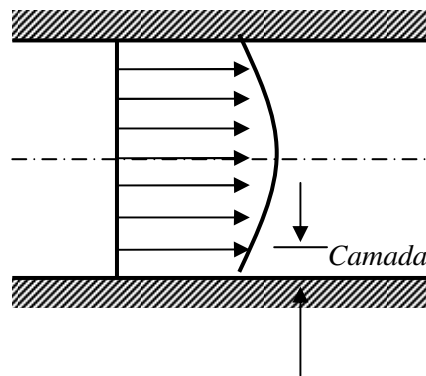


Figura 2.3. Perfil de velocidade do fluxo turbulento.

O Número de Reynolds é um parâmetro característico que vai determinar se o fluxo é laminar ou turbulento. Para valores pequenos de Re , o fluxo é laminar; para valores maiores o fluxo é turbulento (tipicamente, Laminar $< Re=2300 <$ Turbulento), onde

$$Re = \frac{\rho v d_h}{\eta} = \frac{v d_h}{\mu} \quad (2.5)$$

Na equação acima, v é a velocidade média do fluxo, d_h representa o diâmetro hidráulico que é definido por:

$$d_h = \frac{4A}{S} \quad (2.6)$$

onde A é a área da seção do fluxo e S é o perímetro da seção do fluxo. Para cada caso de fluxo, o comprimento característico é definido e valores empíricos são obtidos para o número de Reynolds que descreve a transição de fluxos dominados pela viscosidade a pela inércia.

2.2.1. Fluxo em mangueiras

Um elemento básico em sistemas hidráulicos é a mangueira cilíndrica, na qual o fluxo pode ser laminar ou turbulento. Neste caso, o comprimento característico para ser usado no número de Reynolds depende do diâmetro interno (d) da mangueira:

$$Re = \frac{vd}{\mu} \quad (2.7)$$

A transição de fluxo laminar a turbulento tem sido observada experimentalmente em $2000 < Re_{crit} < 4000$, tipicamente $Re_{crit} = 2300$. Abaixo de $Re = 2300$ o fluxo é também laminar; acima de $Re = 4000$ o fluxo é usualmente, mas não sempre, turbulento [6].

2.2.2. Fluxo em orifícios

Os orifícios são geralmente usados para controlar o fluxo, ou para criar uma pressão diferencial (válvulas). Dois tipos de regime de fluxo existem, dependendo de quais forças dominam as de inércia ou as de viscosidade. A velocidade do fluxo mediante um orifício deve aumentar, sobretudo em regiões de fluxo contra a corrente para satisfazer a lei da continuidade. Em números de Reynolds maiores, a queda da pressão através do orifício é causada pela aceleração das partículas do fluido desde a velocidade da corrente até velocidade de jato. Para baixos números de Reynolds, a queda de pressão é causada pelas forças internas de cisalhamento originando-se da viscosidade do fluido, vide Fig. 2.4.

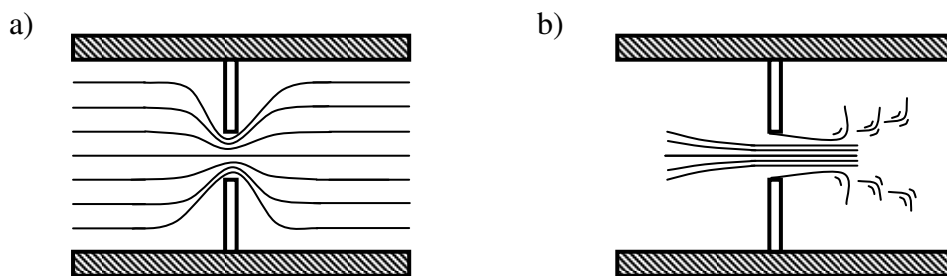


Figura 2.4. Fluxo mediante orifício a) fluxo laminar, b) fluxo turbulento.

Em concordância com o Teorema de Bernoulli, as perdas totais de energia do fluxo hidráulico são derivadas da energia perdida no calor pela fricção das partículas de encontro uma à outra e pelo atrito das partículas de encontro à parede.

A equação do fluxo no orifício em um duto é dada pelo produto da área do duto e a velocidade, e.g:

$$Q = Av = A\sqrt{\frac{2}{\rho\zeta}(p_1 - p_2)} \quad (2.8)$$

Em vez da equação anterior, é comum no campo da hidráulica usar a equação do orifício modificada:

$$Q = \alpha_d A \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} \quad (2.9)$$

onde α_d é o coeficiente de descarga, A é a área transversal do duto e Δp a diferença de pressão.

2.2.3. Fluxo em válvulas

Os fluxos em orifícios de válvulas são geralmente descritos pela equação de orifício com uma relação linear entre a posição x_v do cilindro da válvula e o fluxo por unidade de área (centro crítico), e.g.

$$Q = Q(x_v, \Delta p) = c_v x_v \sqrt{p_1 - p_2} \equiv c_v x_v \sqrt{\Delta p} \quad (2.10)$$

onde o coeficiente de fluxo é definido por:

$$c_v = \pi d_v \alpha_d \sqrt{\frac{2}{\rho}} \quad (2.11)$$

para servo-válvulas, e d_v é o diâmetro do cilindro da válvula.

$$c_v = 4|x_v| \tan(\alpha/2) \alpha_d \sqrt{\frac{2}{\rho}} \quad (2.12)$$

A Equação 2.12 pode ser escrita usando a tensão elétrica da válvula u_v como:

$$Q = Q(u, \Delta p) = c_v \frac{x_{v,\max}}{u_{\max}} u \sqrt{p_1 - p_2} \quad (2.13)$$

Na prática, o coeficiente de fluxo pode ser determinado da melhor forma experimentalmente, ou cálculo usando os dados $(Q_N, \Delta p_N, x_{v,\max})$ do catálogo do fabricante da válvula, através de

$$c_v = \frac{Q_N}{\sqrt{\Delta p_N / \rho}} \frac{1}{x_{v,\max}} \quad (2.14)$$

onde Q_N é o fluxo nominal, Δp_N é a queda de pressão nominal, e $x_{v,\max}$ é o máximo deslocamento do cilindro da servo-válvula. O coeficiente de descarga correspondente é:

$$\alpha_d = \frac{Q_N}{A(x_{v,\max}) \sqrt{\Delta p_N / \rho}} \quad (2.15)$$

Finalmente, a expressão generalizada para leituras de fluxos em válvulas é:

$$Q = Q(x_v, \Delta p) = \alpha_d A(x_v) \sqrt{2 / \rho} \sqrt{\Delta p} \quad (2.16)$$

onde $A(x_v)$ é a área do orifício da válvula, a qual depende da geometria do orifício (ou seja, da forma geométrica do orifício e tipo de centro), que varia de um fabricante a outro, especialmente para válvulas proporcionais.

Após esta revisão dos conceitos básicos de fluidos, apresentam-se no próximo capítulo os sistemas servo-hidráulicos.