

## Trabalho 4: Determinação do Coeficiente de Viscosidade de um Líquido

Introdução à Física Experimental - 2018/19

Cursos: Lic. Física e M. I. Eng. Física

Departamento de Física - Universidade do Minho

### Introdução

No escoamento de fluidos reais há sempre dissipação de energia por atrito. Para alguns fluidos e em alguns casos este efeito pode-se desprezar, porque a percentagem de energia dissipada é muito baixa - diz-se, nesses casos, que o fluido se comporta como um fluido ideal. No entanto, existem muitas situações em que o modelo “fluido ideal” não funciona e é necessário entrar em consideração com o efeito do atrito – o fluido tem que ser tratado como um “fluido real”.

O atrito durante o escoamento ocorre porque existem interações entre as moléculas: o movimento relativo das moléculas provoca a sucessiva quebra/estabelecimento de ligações. A quantidade da energia dissipada neste processo depende da natureza do fluido (das ligações que se estabelecem entre as moléculas) e da velocidade do escoamento.

As consequências do atrito são facilmente observáveis, por exemplo, quando líquidos diversos adquirem diferentes velocidades ao escoarem em regime estacionário por um mesmo tubo ou quando um corpo se move dentro de um fluido.

À propriedade dos fluidos que se traduz por oferecerem resistência ao escoamento, dá-se o nome de viscosidade. A viscosidade é uma característica de cada fluido e é quantificada pelo coeficiente de viscosidade,  $\eta$ . O coeficiente de viscosidade depende da temperatura e da pressão a que ocorre o escoamento. Dependendo das condições, o escoamento de um fluido pode efetuar-se sem turbulência (regime laminar) ou com turbulência. Na figura 1 ilustra-se o escoamento de um fluido em torno de uma esfera, quando esta se movimenta dentro do fluido.

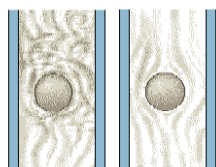


Figura 1: Ilustração do escoamento de um fluido em torno de uma esfera em regime turbulento (à esquerda) e em regime laminar (à direita).

Um critério para saber se o escoamento ocorre em regime laminar ou turbulento é através do cálculo do número de Reynolds,  $\mathcal{R}$ , definido por [1]

$$\mathcal{R} = \frac{\rho d \bar{v}}{\eta}, \quad (1)$$

onde  $\rho$  é a densidade do fluido,  $\bar{v}$  é a velocidade média,  $\eta$  é o coeficiente de viscosidade e  $d$  é o diâmetro do tubo (no caso do escoamento do fluido por um tubo) ou do corpo (no caso do movimento do corpo no fluido). O escoamento é laminar para valores pequenos do número de Reynolds, e é turbulento quando  $\mathcal{R}$  é elevado.

Nesta experiência pretende-se determinar o coeficiente de viscosidade de um fluido (óleo) através da observação do movimento de uma esfera dentro do fluido. Quando a esfera se desloca, uma película do fluido adere à sua superfície, e é a força de atrito (força viscosa) entre essa película e as outras camadas do fluido que permitem descrever a resistência ao movimento do corpo.

Se o número de Reynolds for suficientemente baixo ( $\mathcal{R} \cong 0.1$ ), um corpo esférico, de raio  $r$ , movendo-se com velocidade  $v$  num líquido de coeficiente de viscosidade  $\eta$ , ficará sujeito a uma força de resistência proporcional à velocidade, dada pela lei de Stokes [1]:

$$F_{visc} = 6\pi\eta r v \quad (2)$$

Uma esfera de massa  $m$  e densidade  $\rho_{esf}$ , em queda dentro de um líquido com massa volúmica  $\rho_{liq}$ , fica sujeita à força de atrito ( $F_{visc}$ ), dada pela equação (2), à força gravítica ( $F_g$ ) e à força de impulsão ( $I$ ), como se ilustra na figura 2.

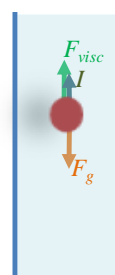


Figura 2: Forças que atuam sobre uma esfera em queda livre num fluido viscoso.

Estas duas últimas forças podem ser expressas por

$$F_g = mg = \frac{4}{3}\pi r^3 g \rho_{esf} \quad (3)$$

$$I = \rho_{liq} V_{esf} g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{liq} g \quad (4)$$

(a última equação resulta da aplicação do Princípio de Arquimedes). Quando a esfera é largada, a partir do repouso, acelera devido à acção da força gravítica. A força gravítica e a impulsão mantêm-se constantes durante o movimento, mas à medida que a velocidade aumenta, cresce também a força viscosa, até que a força resultante aplicada à esfera seja nula:

$$\vec{F}_g + \vec{I} + \vec{F}_{visc} = 0$$

o que implica:

$$F_g = I + F_{visc} \quad (5)$$

A partir deste instante a velocidade de queda será constante – diz-se que o corpo atingiu a velocidade terminal ou velocidade limite,  $v_{lim}$ . Nessas condições pode-se obter o coeficiente de viscosidade. De facto, utilizando as expressões (2), (3) e (4) em (5), obtem-se:

$$6\pi\eta r v_{lim} = \frac{4}{3}\pi r^3 g (\rho_{esf} - \rho_{liq})$$

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{r^2}{v_{lim}} g (\rho_{esf} - \rho_{liq}) \quad (6)$$

ou

$$v_{lim} = \frac{2}{9\eta} g (\rho_{esf} - \rho_{liq}) r^2. \quad (6)$$

O valor da velocidade limite,  $v_{lim}$ , pode ser determinado experimentalmente através da medida do tempo necessário para que a esfera percorra uma distância conhecida.

Note que, movendo-se num mesmo líquido, esferas de raios diferentes atingem velocidades limite distintas, mantendo a razão  $r^2/v_{lim}$  constante, uma vez que todas os outros factores da equação (6) são constantes.

A experiência consiste em determinar a velocidade limite de esferas metálicas, com diferentes raios. Se for válida a lei de Stokes, conhecendo o raio das esferas, a velocidade limite, a densidade do óleo e a densidade das esferas é possível calcular o coeficiente de viscosidade do óleo.

### 3. Procedimento Experimental

- Meça os raios das esferas com o micrómetro ou craveira.
- Verifique que o tubo está bem alinhado na vertical.
- Antes de deixar cair as esferas, é conveniente embebê-las em óleo, para que já entrem molhadas no fluido. Este procedimento evita uma camada de ar em volta das esferas, que certamente invalidaria a expressão de Stokes para a força viscosa.
- Meça o tempo que cada uma das esferas demora a percorrer uma determinada distância (pode utilizar como referência as duas marcas que se encontram no tubo). Note que deve deixar que a esfera percorra alguns cm antes de iniciar a medida, para garantir que a velocidade limite foi atingida.

Dados:  $\rho_{\text{óleo}} = 900 \text{ kgm}^{-3}$ ;  $\rho_{\text{esferas}} = 7820 \text{ kgm}^{-3}$ ;

### 4. Tratamento de resultados

1. Faça um gráfico da velocidade limite  $v_{lim}$  em função de  $r^2$ . O que pode concluir sobre a validade da lei de Stokes (eq. (2))?
2. Determine o coeficiente de viscosidade do fluido, a partir do gráfico.
3. Determine o número de Reynolds nas várias situações.

### Referências

C. Gerthsen, Kneser e H. Vogel, *Física*, 2ª edição, Fundação Calouste Gulbenkian (1998).