

## VI – Viscosidade

### 1. OBJETIVO

Determinar o coeficiente de viscosidade de fluidos diversos.

### 2. INTRODUÇÃO

Quando um corpo tem movimento retilíneo em um fluido, encontra um esforço resistente, isto é, em sentido oposto ao movimento. Essa resistência é nula quando a velocidade é zero e cresce com o aumento da velocidade. No regime de movimento uniforme, ela deve-se à viscosidade do fluido. A forma como a força de resistência depende da velocidade não é única. De uma maneira aproximada:

a) para velocidades pequenas (alguns m/s), nas quais o fluxo de fluido em torno do corpo é chamado de laminar, a força de resistência  $R$  é aproximadamente proporcional à velocidade  $v$ . ( $R = -bv$ , onde  $b$  é o coeficiente de resistência);

b) para velocidades maiores, em que o fluxo torna-se turbulento, entra um regime quadrático ou de potência superior;

Assim, para objetos movendo-se a baixas velocidades, de modo que o fluxo de fluido em torno do objeto seja do tipo laminar, a força de resistência tem a forma  $R = -bv$  onde o coeficiente de resistência  $b$  depende tanto do objeto como do fluido. No caso de corpos esféricos, pode-se escrever

$$b = 6\pi\eta r \quad (1)$$

onde  $\eta$  é a viscosidade do fluido e  $r$  é o raio da esfera. Esta equação é chamada equação de Stokes.

Considerando-se a força  $P$  como a resultante do peso e do empuxo, a força total resultante é  $F = \pm P - bv$  onde o sinal + em  $P$  aplica-se ao caso em que o movimento tem o mesmo sentido da propulsão (movimento de queda) e o sinal - corresponde ao movimento oposto ao sentido da propulsão (p.ex., lançamento do corpo para o alto).

Considerando-se o caso descendente, com sinal positivo de  $P$ , tem-se, desconsiderando-se o empuxo:

$$v = A + (v_o - A)e^{-\alpha t} \quad (2)$$

onde  $A$  é a velocidade limite,  $v_o$  é a velocidade inicial e fizemos  $\alpha = b/m$ . Se a velocidade inicial for nula, a expressão fica

$$v(t) = A(1 - e^{-\alpha t}) \quad (3)$$

Examinando-se a equação (3), verificamos que quando  $t = 0$ , a velocidade vale  $v_o = 0$  e quando  $t$  tende a infinito, a velocidade tende ao seu valor limite  $A$ .

No caso de uma esfera caindo verticalmente em um fluido, após a velocidade alcançar a velocidade limiar haverá equilíbrio entre a força peso (para baixo) e a somatória das forças de empuxo e de resistência do fluido (para cima). Assim, pode-se escrever:

$$P = E + R \quad (4)$$

onde:

$$P = mg \quad (5)$$

$$E = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho_{\text{fluido}} g \quad (6)$$

$$R = 6\pi\eta r \cdot v_{\text{limite}} \quad (7)$$

Rearranjando-se as equações, tem-se:

$$\eta = \frac{mg - \frac{4\pi}{3} r^3 \cdot \rho \cdot g}{6\pi r v_{\text{limite}}} \quad (8)$$

### 3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. Posicione o tubo contendo o líquido em estudo na posição vertical.
2. Fixe três posições no tubo, ao longo da direção vertical, com distância, entre elas, de aproximadamente 10 cm. Deixe uma distância inicial, em relação à superfície do líquido, para que possa ser alcançado o equilíbrio entre a força peso e as forças de resistência do fluido e de empuxo.
3. Gire rapidamente o tubo para que a esfera comece a cair no líquido e meça com um cronômetro o tempo gasto para percorrer as distâncias entre as posições do item 2.
4. Calcule as velocidades da esfera nas duas regiões do tubo, certificando-se de que a velocidade limiar já tenha sido atingida para as marcações feitas no tubo. Repita para as 5 esferas iguais
5. Meça a temperatura ambiente (o líquido estará na mesma temperatura se houver equilíbrio térmico).
6. Repita os procedimentos anteriores para os outros líquidos que forem fornecidos.
7. Para um dos fluidos, repita o experimento utilizando um conjunto de esferas com diâmetro diferente.

Use a Glicerina

Dados:

O diâmetro da esfera é de  $5,95 \pm 0,01$  mm e sua massa é de  $0,20 \pm 0,01$  g.

Densidades da glicerina =  $1.24 \text{ g/cm}^3$  e do óleo =  $0.85 \text{ g/cm}^3$

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

1. Faça tabelas com os valores da distância percorrida pelas esferas e o tempo gasto para percorrê-la. Calcule, para cada fluido, as velocidades médias de queda e os respectivos desvios.
2. Com os valores de massa fornecidos, calcule para cada líquido o coeficiente de resistência, supondo que a força de resistência seja proporcional à velocidade e que o equilíbrio tenha sido alcançado.
3. Com os resultados anteriores determine os coeficientes de viscosidade dos líquidos, usando a relação de Stokes (equação 1).
4. Verifique a validade da hipótese de que o equilíbrio tenha sido alcançado, estimando a partir dos valores obtidos o tempo necessário para que isso aconteça e discuta se o procedimento experimental foi adequado.
5. Compare os valores de coeficientes de viscosidade obtidos com os da literatura.