



Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas

Unidade Curricular: **Física Aplicada**

Aulas Laboratoriais

Trabalho laboratorial n.º 3 (1.ª parte)

Viscosidade de Líquidos

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE VISCOSIDADE DE UM LÍQUIDO UTILIZANDO O VISCOSÍMETRO DE HOPPLER

Neste trabalho será realizada a determinação do coeficiente de viscosidade de um líquido usando-se o viscosímetro de Hoppler e, através do resultado obtido, avalia-se o seu grau de pureza.

3.1 – BREVE REFERÊNCIA A ALGUNS CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Conceito de **Viscosidade**

Considere-se um volume V no interior de um fluido. A porção de fluido exterior a V exerce uma força \vec{F} sobre cada elemento dS da superfície que limita esse volume.

Define-se fluido perfeito como sendo aquele em que a força $d\vec{F}$ é normal à superfície dS . Ou seja, num fluido perfeito não existem forças internas que se oponham ao escoamento das diversas camadas adjacentes do fluido.

Num fluido real em repouso, as forças de contacto reduzem-se efetivamente, a estas forças de pressões normais. No entanto, quando o fluido se encontra em movimento aparecem forças tangenciais que se opõem ao escoamento relativo das camadas adjacentes do fluido e às quais se dá o nome de forças de **viscosidade**. Estas forças, dado o seu carácter de forças de atrito são responsáveis por dissipação de energia mecânica, originando desta forma, o aquecimento do líquido.

Considere-se uma superfície dS que separa duas porções de fluido que se encontram com uma velocidade relativa dv . Então, a força de atrito entre essas duas porções de fluido será proporcional a dS e à variação da velocidade com a direção normal, o que significa:

$$d\vec{F} \propto dS \frac{d\vec{v}}{dn}$$

À relação de proporcionalidade entre a força $d\vec{F}$ e o produto da superfície pelo gradiente da velocidade dá-se o nome de **coeficiente de viscosidade**, ou também, chamada, **viscosidade dinâmica do fluido** - η . Deste modo:

$$d\vec{F} = \eta dS \frac{d\vec{v}}{dn}$$

À grandeza definida pela razão da viscosidade dinâmica (coeficiente de viscosidade) pela densidade absoluta do fluido dá-se o nome de **viscosidade cinemática**.

A unidade, no Sistema Internacional, de viscosidade dinâmica é o **Pascal x s** (N s m^{-2}); para a viscosidade cinemática é **$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$** ($1 \text{ Stoke} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$).

Regime de Escoamento dos Fluidos

Num fluido em movimento consideram-se dois regimes diferentes: aquele em que todas as partículas que passam por um dado ponto seguem a mesma trajetória, ou aquele em que cada partícula que passa por um dado ponto segue uma trajetória distinta. No primeiro caso o regime diz-se *laminar*, enquanto no segundo, diz-se *turbulento*. Para um mesmo fluido, o regime é tanto mais turbulento quanto maior for a velocidade.

Movimento de Corpos nos Fluidos

Quando um corpo se movimenta no interior de um fluido existem também forças de atrito entre eles que tendem a reduzir a velocidade do corpo. Esta resistência depende da velocidade relativa entre o corpo e o fluido. Para velocidades relativas baixas (condição associada ao *regime de resistência de viscosidade ou regime de Stokes*) a resistência do fluido é proporcional à viscosidade do fluido e à velocidade relativa:

$$R \propto \eta v$$

Que, para o caso de uma esfera de raio r toma a forma:

$$R = 6\pi r \eta v$$

Repare-se que esta expressão é válida para uma extensão infinita de fluido. Quando essa condição não é satisfeita, a resistência será maior, uma vez que as paredes do recipiente, no qual se dá o movimento da esfera, vão também condicionar o seu movimento. Considerando que o movimento ocorre num tubo de diâmetro D , a expressão anterior toma a forma:

$$R = 6\pi r\eta v \left(1 + 2,4 \frac{r}{D}\right)$$

à qual se dá o nome de *correção de Ladenburg*.

Considere-se a queda de um corpo esférico no interior de um fluido. As forças que lhe são aplicadas são: o seu peso, \vec{P} , a impulsão, \vec{I} , e a resistência do fluido ao movimento, \vec{R} . Facilmente se verifica que, enquanto a primeira e a segunda são constantes ao longo do movimento, a terceira vai aumentando com a velocidade, de modo que existe um ponto no qual as três se anulam. A partir daí o movimento da esfera passa a ser uniforme, sendo a sua velocidade designada por *velocidade limite*. Para calcular essa velocidade, considere-se, então, atendendo à direção das forças, que:

$$P = I + R$$

Ou seja, se ρ_e for a densidade absoluta da esfera e ρ_f a densidade absoluta do fluido, pode escrever-se:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_e g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_f g + 6\pi r\eta v \left(1 + 2,4 \frac{r}{D}\right)$$

e portanto:

$$v = \frac{2r^2 Rg(\rho_e - \rho_f)}{9\eta(R + 2,4r)}$$

Com base nesta expressão pode-se determinar o valor experimental da viscosidade, através da medição da velocidade limite. Com efeito, se se medir o tempo de queda, t , em regime de Stokes, de um corpo esférico, no interior de um tubo, entre dois pontos distanciados de L , a viscosidade virá dada por:

$$\eta = \frac{2r^2 Rgt(\rho_e - \rho_f)}{9L(R + 2,4r)}$$

No caso particular da experiência que se vai realizar, uma vez que o tubo não está colocado perfeitamente vertical, existe uma correção adicional que deveria ter em atenção, caso se pretendesse calcular valores absolutos de viscosidade.

Na prática, a determinação do coeficiente de viscosidade dos líquidos pode ser realizada utilizando o **viscosímetro de Hoppler**, representado na Figura 1. A técnica consiste em determinar o tempo de queda de uma esfera no interior de um líquido, sabendo-se que, segundo a lei de Stokes, o coeficiente de viscosidade é dado por:

$$\eta = \frac{m_e g - m_f g}{6\pi r v}$$

em que $m_e \times g$ é o peso das esferas que caem no interior do líquido, $m_f \times g$ é o peso do líquido deslocado pela esfera, r é o raio da esfera e v é a velocidade constante de queda da esfera.

3.2 – EXECUÇÃO LABORATORIAL

3.2.1 – Material e Reagentes

- Funil
- Viscosímetro de Hoopler (ver manual do equipamento)
- Picnómetro para o cálculo da densidade
- Amostras de álcool etílico



Figura 1. Viscosímetro de Hoppler.

3.2.2 – Modo de proceder

- 1 - Verifique se o viscosímetro está limpo e nivelado, através da bolha do nível.
- 2 - Encha o tubo do viscosímetro com o líquido em estudo e coloque a esfera no seu interior, não podendo haver bolhas de ar no interior do tubo. Feche o tubo.
- 3 - Rode o tubo do viscosímetro, iniciando-se a queda da esfera no seu interior.
- 4 - Meça com um cronómetro, o intervalo de tempo de queda desde que a parte inferior da esfera chega à linha superior até que chega à linha inferior ($d = 10 \text{ cm}$). Anote o valor do tempo.
- 5 - Repita a experiência até que os resultados obtidos sejam concordantes.
- 6 - Determine a densidade do líquido estudado utilizando o método do picnómetro (ver parte 2 do trabalho laboratorial).

3.3 – TRATAMENTO DOS DADOS EXPERIMENTAIS

Para cada medida, calcule o coeficiente de viscosidade utilizando a equação fornecida no manual de funcionamento do equipamento.

Nota: os dados respeitantes à massa e ao raio da esfera podem ser obtidos no mesmo manual.

Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas

Unidade curricular: **Física Aplicada**

Aulas Laboratoriais

Trabalho laboratorial n.º 3 (2.ª parte)

Densidade de Líquidos

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE UM LÍQUIDO PELO MÉTODO DO PICNÓMETRO

Determina-se a densidade de um líquido através do método do picnómetro.

3.1 – BREVE REFERÊNCIA A ALGUNS CONCEITOS FUNDAMENTAIS

MASSA ESPECÍFICA (MASSA VOLÚMICA)

Se um corpo de massa m ocupa o volume V , a unidade de volume desse corpo terá a massa, ρ , sendo $\rho = m/V$ e ρ chama-se **massa específica** ou **massa volúmica** desse corpo.

Como o peso de um corpo vem dado pela relação, $P = m.g$, define-se peso específico ou peso volúmico de uma substância como o peso da unidade de volume dessa substância. Assim:

$$\gamma = \frac{P}{V} = m \frac{g}{V} = \rho g$$

DENSIDADE (massa específica relativa)

A densidade será a relação entre a massa específica de uma substância, ρ , e a de uma substância de comparação.

Partindo de volumes iguais de substâncias diferentes (A e B), pode concluir-se que:

$$\rho_A = \frac{m_A}{V} \quad \text{e} \quad \rho_B = \frac{m_B}{V}$$

donde:

$$\frac{\rho_A}{\rho_B} = \frac{m_A/V}{m_B/V} = \frac{m_A}{m_B} = d$$

Partindo assim de volumes iguais, a relação de massas volúmicas reduz-se a uma relação de massas.

Verifica-se também, que a relação entre dois pesos específicos conduz à relação de pesos de iguais volumes.

Se a substância A for sólida ou líquida, a substância B de comparação será a água destilada isenta de ar, à temperatura de 4°C e à pressão de 760 mmHg (condições de massa volúmica máxima da água). Nestas condições esse valor para a água é 1 kg dm⁻³ (SI).

Se a substância A for um gás ou um vapor, a substância de comparação B, será o ar, isento de água e não contendo ácido carbónico, a 0°C e a 760 mmHg cujo valor de massa específica é 0,001293 Kg.dm⁻³.

Sendo a densidade uma relação entre duas massas volúmicas, serão necessárias duas indicações de temperatura pois a temperatura de determinação prática não coincide com a temperatura de referência do padrão. Por exemplo a densidade da água a $\frac{20^{\circ}\text{C}}{4^{\circ}\text{C}}$ exprime o quociente:

$$\frac{\text{massa volúmica da substância A a } 20^{\circ}\text{C}}{\text{massa volúmica da água a } 4^{\circ}\text{C}}$$

e simboliza-se por d_4^{20} .

O conhecimento e determinação da densidade é muito importante não só para cálculos em que esta grandeza é fundamental, como também pela possibilidade que oferece na determinação da concentração de determinadas soluções. A densidade, como constante física que é, poderá constituir um elemento de interesse para a caracterização de um sistema ou avaliação do grau de pureza de uma substância.

3.2 – EXECUÇÃO LABORATORIAL

3.2.1 – Material e Reagentes

- Picnómetro de líquidos (Figura 2)
- Papel de filtro
- Termómetro
- Balança analítica
- Arame fino
- Líquido cuja densidade se pretende determinar.



Figura 2. Picnómetros.

3.2.2 – Modo de proceder

- 1 – Pesar, na balança analítica, o picnómetro vazio (m). Anote o valor.
- 2 – Encher o picnómetro com o líquido problema tendo o cuidado para não deixar ficar qualquer bolha de ar. Se necessário, retirar as bolhas de ar com a ajuda de um arame fino.
- 3 – Pesar o picnómetro cheio de líquido problema (m'). Anote o valor.
- 4 – Encher o mesmo picnómetro com água destilada verificando se ficam ou não bolhas de ar. Se necessário retirar as bolhas de ar com o arame fino.
- 5 – Pesar novamente o picnómetro cheio de água destilada (m''). Anote o valor.
- 6 – Com um termómetro, determinar a temperatura da água destilada usada na experiência.

3.3- TRATAMENTO DOS DADOS EXPERIMENTAIS

Calcule a densidade do líquido problema a partir da expressão:

$$d = \frac{m' - m}{m'' - m'}$$

Corrigir o valor experimental de densidade para a temperatura em que foi realizada a experiência, recorrendo aos valores da tabela 1.

A correção da densidade para 4°C pode ser feita usando a expressão:

$$\rho_{S, 4^{\circ}\text{C}} = \rho_{S, T^{\circ}\text{C}} \cdot (\rho_{H_2O, T^{\circ}\text{C}} / \rho_{H_2O, 4^{\circ}\text{C}})$$

ou

$$\rho_{S, 4^{\circ}\text{C}} = \rho_{S, T^{\circ}\text{C}} \cdot \rho_{H_2O, 4^{\circ}\text{C}} / \rho_{H_2O, T^{\circ}\text{C}}$$

sendo:

ρ_S – a densidade relativa da substância e ρ_{H_2O} – a densidade relativa da água

Tabela 1. Variação da massa específica da água com a temperatura.

| °C | Massa volúmica (g/cm ³) | °C | Massa volúmica (g/cm ³) | °C | Massa volúmica (g/cm ³) |
|----|-------------------------------------|----|-------------------------------------|----|-------------------------------------|
| 0 | 0,99987 | 10 | 0,99973 | 20 | 0,99825 |
| 1 | 0,99993 | 11 | 0,99964 | 21 | 0,99804 |
| 2 | 0,99997 | 12 | 0,99954 | 22 | 0,99782 |
| 3 | 0,99999 | 13 | 0,99941 | 23 | 0,99759 |
| 4 | 1,00000 | 14 | 0,99929 | 24 | 0,99735 |
| 5 | 0,99999 | 15 | 0,99914 | 25 | 0,99710 |
| 6 | 0,99997 | 16 | 0,99899 | 26 | 0,99683 |
| 7 | 0,99993 | 17 | 0,99882 | 27 | 0,99657 |
| 8 | 0,99988 | 18 | 0,99864 | 28 | 0,99629 |
| 9 | 0,99981 | 19 | 0,99845 | 29 | 0,99600 |