

ROTEIRO - EXPERIÊNCIA 5: TENSÃO SUPERFICIAL

1. OBJETIVO

Este experimento tem como objetivos ilustrar, discutir e analisar:

- tensão superficial,
- fenômenos interfaciais gás-líquido e líquido-líquido.

2. MATERIAL E EQUIPAMENTOS

Neste experimento será determinada a tensão superficial da água pura, água com tensoativo (detergente) e etanol. Serão ilustrados fenômenos interfaciais como o efeito Marangoni.

- ✓ Reagentes: água destilada, etanol, acetona, tensoativo, corante.
- ✓ Material: buretas, vidraria.
- ✓ Equipamentos: tensiômetro de anel de Du Noüy.
- ✓ Instrumentos: cronômetro, termômetro.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1. Determinação da tensão superficial usando o tensiômetro

A determinação da tensão superficial (σ) da água será realizada com um tensiômetro de anel de Du Noüy. O efeito da adição de detergente será medido. Deve-se ter **muito cuidado** ao lidar com o anel de platina, pois ele se deforma facilmente.

- Colocar água destilada em uma cubeta limpa e sem resíduos de detergente. Centralizar a cubeta na mesa móvel do tensiômetro.
- Elevar a mesa até que o anel submerja levemente (zero da escala).
- Girar o disco lentamente e em ritmo constante para elevar o anel, parando no instante que o anel se destacar. Ler o valor registrado de tensão superficial.
- Realizar três medidas e calcular a média. Obter da literatura o valor da tensão superficial da água para a mesma temperatura e comparar.
- Com um palito, colocar uma pequena quantidade de detergente na água e misturar.
- Repetir os passos (b)-(d) para determinar a nova tensão superficial.

3.2. Determinação da tensão superficial pela queda da gota

Será empregado o método da queda de gota para determinar a tensão superficial do etanol tendo como base a tensão superficial de uma substância conhecida (água).

- Adicionar água destilada à bureta. Ajustar o gotejamento para que cada gota se forme lentamente e se destaque.

- b) Contar o número de gotas e medir o volume dispensado (no mínimo 1,0 mL).
- c) Medir a temperatura da água.
- d) Esvaziar a bureta e lavar com um pouco de etanol.
- e) Repetir o procedimento dos itens (a)-(c) empregando o etanol.
- f) Calcular a massa média de uma gota (etanol e água), considerando a densidade ρ .
Determinar a tensão superficial do etanol e comparar com o valor da literatura.

3.3 Ascensão capilar da água

- a) Medir a temperatura da água destilada na cuba.
- b) Observar os meniscos formados nos diferentes tubos de vidro parcialmente imersos na cuba e medir a altura da coluna de água em cada tubo.
- c) Calcular a pressão relativa na base da coluna de líquido.

3.4 Experimentos demonstrativos relacionados a fenômenos interfaciais

Relatar e discutir, brevemente, os fenômenos observados:

- a) Quebra da tensão superficial da água pelo contato com tensoativo.
- b) Efeito Marangoni no contato entre líquidos com tensões superficiais diferentes.
- c) Barquinho movido pela adição de tensoativo.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. Tensão superficial

No estado líquido, as moléculas se atraem mutuamente. Aquelas no interior são atraídas em várias direções. Já moléculas na fronteira com um o ar, por exemplo, são mais atraídas pelo meio líquido do que pelo ar. Conseqüentemente há uma força resultante para o interior que tende a minimizar a área superficial do meio líquido. Sem a ação da gravidade a tendência é de formação de gotas esféricas.

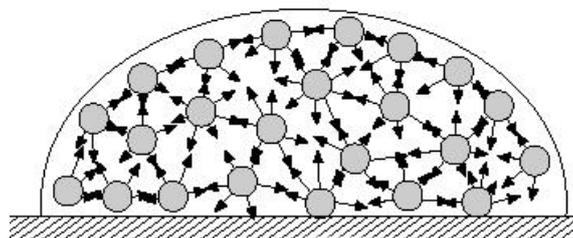


Figura 1: Ilustração da atração molecular dentro de uma gota.

Os efeitos de superfície podem ser expressos termodinamicamente pelo trabalho necessário (W , J) para modificar isotermicamente a área superficial do sistema (A , m^2):

$$W = \sigma \cdot \Delta A$$

em que a constante de proporcionalidade σ é a tensão superficial (J/m^2 ou N/m). Quanto maior for σ , maior será a energia necessária para aumentar a área interfacial. Analogamente pode-se determinar a tensão interfacial entre duas fases líquidas.

Um tensoativo é uma substância que reduz a tensão superficial de um líquido, aumentando a sua capacidade de espalhamento ou de umectação. Suas moléculas possuem uma parte hidrofílica e uma parte hidrofóbica de forma que elas se posicionam na superfície exposta ao ar ou na interface entre dois líquidos, perturbando a coesão.

O efeito Marangoni é observado quando um gradiente de tensão superficial no líquido promove a transferência de massa (escoamento).

4.2. Determinação da tensão superficial: Tensiômetro de anel de Du Noüy

A tensão superficial pode ser obtida pela medição da força necessária para aumentar a superfície do líquido. No tensiômetro de anel de Du Noüy, registra-se a força para destacar um fino anel de platina da superfície do líquido (Figura 2).

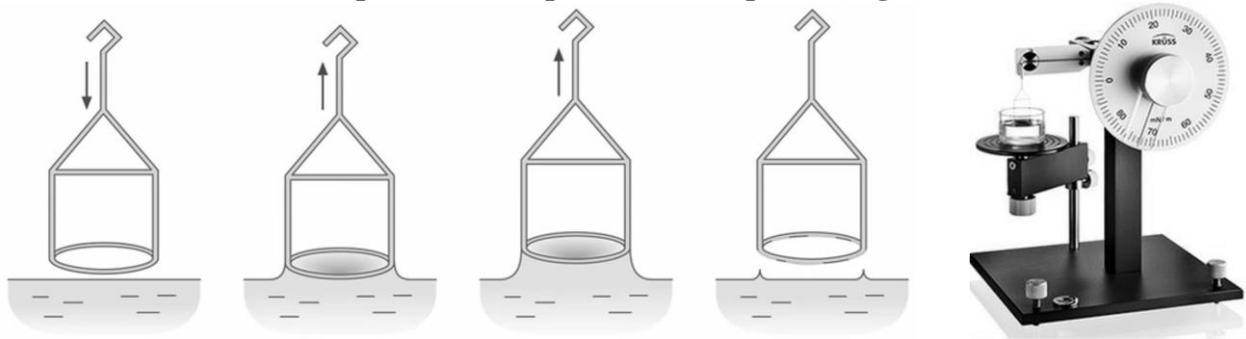


Figura 2: Anel de Du Noüy na medição da tensão superficial de um líquido

No instante do destacamento há um equilíbrio de forças: a mola puxando o anel e a tensão superficial segurando-o. Considerando um anel de raio R sustentando um filme de líquido com altura h , o aumento de área é $\Delta A = 2 \cdot (2\pi R h)$ (face interna e externa do filme). Como o trabalho é o produto da força pelo deslocamento tem-se:

$$W = \sigma \cdot \Delta A \quad \rightarrow \quad F \cdot h = \sigma \cdot (4\pi R h) \quad \rightarrow \quad \sigma = F / 4\pi R$$

Portanto, a partir da medida da força, determina-se a tensão superficial do líquido.

4.3. Determinação da tensão superficial: Método da queda de gota

A tensão superficial pode ser determinada pelo peso de uma gota pendente em um tubo capilar no momento do seu destacamento. Considera-se que a força associada à tensão superficial é expressa pelo produto da tensão pelo perímetro do pescoço da gota no capilar: $F = \sigma \cdot (2\pi R)$ (equação análoga à usada no item anterior).

Na situação limite do destacamento, o peso da gota ($m \cdot g$) é igual à força devido à tensão superficial (Lei de Tate):

$$m \cdot g = \sigma \cdot (2\pi R) \quad \rightarrow \quad \sigma = m \cdot g / 2\pi R$$

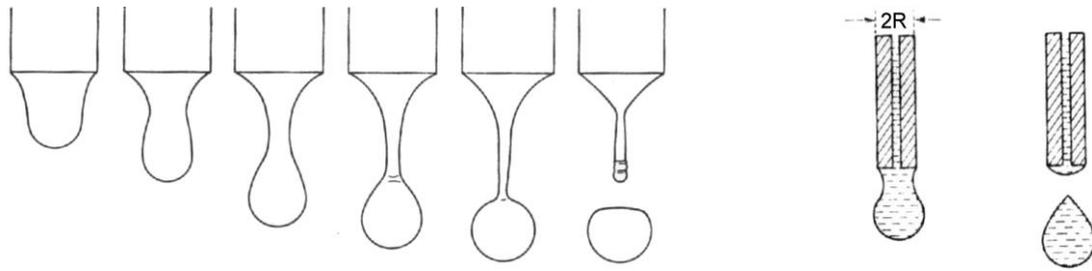


Figura 3: Destacamento da gota na ponta do tubo capilar.

Teoricamente esta equação fornece a tensão superficial do líquido, conhecida a massa média da gota (m). Entretanto, uma correção é necessária, pois, ao se destacar, parte do pescoço da gota fica preso ao tubo capilar (Figura 3).

Para levar em conta a correção, o experimento é repetido nas mesmas condições para a água, substância da qual se conhece a tensão superficial (dados na literatura). A tensão superficial do líquido testado é então determinada em relação à da água (K = fator de correção):

$$\frac{\sigma}{\sigma_{\text{água}}} = \frac{(K \cdot m \cdot g / 2\pi R)}{(K \cdot m_{\text{água}} \cdot g / 2\pi R)} \quad \rightarrow \quad \sigma = \sigma_{\text{água}} \cdot \left(\frac{m}{m_{\text{água}}} \right)$$

4.4. Ascensão e depressão capilar

O ângulo de contato θ_E representa a interação sólido/líquido. Ele está relacionado à molhabilidade da superfície e à relação entre coesão (forças intermoleculares no líquido) e adesão (força de atração entre líquido e a superfície sólida). O estudo deste fenômeno é fundamental para processos de pintura e revestimento. No caso de vidro, $\theta_E \approx 0^\circ$ para a água (ascensão capilar) e $\theta_E \approx 130^\circ$ para o mercúrio (depressão capilar).

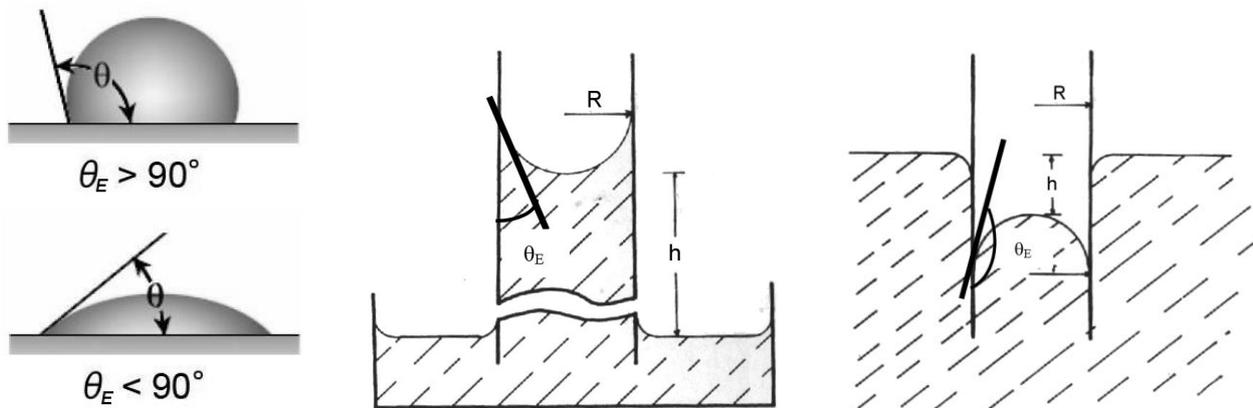


Figura 4: Ângulo de contato, ascensão capilar e depressão capilar.

Na ascensão capilar da água em vidro considera-se um balanço de forças verticais (já que $\theta_E \approx 0^\circ$) na borda do menisco de forma que a força devido à tensão superficial ($F = \sigma \cdot (2\pi R)$) se iguale ao peso da coluna de água ascendida ($F = m \cdot g$), ou seja:

$$\sigma \cdot (2\pi R) = m \cdot g \quad \rightarrow \quad \sigma \cdot (2\pi R) = (\rho \pi R^2 h) \cdot g \quad \rightarrow \quad h = 2\sigma / R\rho g$$

A pressão relativa exercida pela coluna de água é

$$\Delta P = \text{Força}/\text{Área} = mg/\pi R^2 = \rho Vg/\pi R^2 = \rho(\pi R^2 h)g/\pi R^2 = \rho gh = 2\sigma/R$$

Portanto, quanto menor o raio do tubo, maiores são h e ΔP .

5. BIBLIOGRAFIA

Atkins, P.W., Paula, *Físico-química*, v.1, 9 ed., LTC, 2012.

De Gennes, P.G. et al. *Capillarity and Wetting Phenomena*. Springer, 2010.

Adamson, A.W. *Physical Chemistry of Surfaces*. John Wiley & Sons, 2nd ed., 1967.