

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIAS MOLECULARES

NOTA: 10/10

Relatório de Experimentos I

Estática dos fluidos

Atividade apresentada ao docente Caetano Rodrigues Miranda, na disciplina de Física II (CCM-0122), como atividade para composição de nota.

São Paulo

2025

DISCENTES

- BRUNO KLEINE MOLLICA
N° USP: 14562470
- CAUÊ RAFFAINI BRONDI
N° USP: 14564513
- DIEGO ALEXANDRE T. DOS SANTOS
N° USP: 14566283
- FELIPE SCHOENACKER WEY
N° USP: 15451717
- JOSÉ ALEXANDRE SOARES DE OLIVEIRA
N° USP: 11761208

SUMÁRIO

Introdução.....	4
Metodologia.....	5
Resultados.....	8
Discussão.....	13
Conclusão.....	13

Introdução

A compreensão dos fenômenos físicos relacionados à pressão e ao equilíbrio de fluidos possui diversas aplicações científicas e tecnológicas. Os experimentos realizados nesta atividade exploram conceitos como pressão atmosférica, força de sucção, equilíbrio hidrostático e densidade de fluidos. Esses conceitos são amplamente utilizados em áreas como engenharia, medicina e indústria, sendo essenciais para o funcionamento de dispositivos como bombas hidráulicas, barômetros e sistemas de vedação a vácuo.

Do ponto de vista teórico, os experimentos são explicados por leis fundamentais da física dos fluidos. O experimento dos **Hemisférios de Magdeburg** ilustra o efeito da pressão atmosférica e a necessidade de uma força considerável para separar dois discos selados a vácuo. A força necessária para separá-los pode ser determinada pela equação:

$$F = P_{\text{externa}} \cdot A$$

onde P_{externa} representa a pressão atmosférica e A é a área da superfície dos discos.

No experimento com o **frasco de vidro e a interface plástica**, o equilíbrio entre a pressão atmosférica e a pressão do fluido dentro do recipiente determina seu comportamento ao ser invertido. Esse fenômeno está relacionado ao **princípio de Pascal**, que afirma que uma mudança na pressão aplicada a um fluido incompressível se transmite integralmente a todas as partes do fluido e às paredes do recipiente.

O uso do **manômetro** permite medir a pressão de um fluido em relação à pressão atmosférica. A equação utilizada para esse cálculo é:

$$P_0 = \rho gh$$

onde P_0 é a pressão externa (atmosférica), ρ é a densidade do fluido, g é a aceleração gravitacional e h é a altura da coluna de líquido no manômetro.

Já o **densímetro em U** é utilizado para determinar a densidade de um líquido desconhecido, comparando os níveis de dois líquidos de densidades diferentes. A relação

entre as alturas das colunas dos líquidos no tubo está associada ao **princípio de Arquimedes** e pode ser determinada por:

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$$

onde ρ_1 e ρ_2 são as densidades dos líquidos e h_1 e h_2 suas respectivas alturas no tubo.

Os objetivos deste experimento incluem:

1. Determinar a força necessária para separar os discos no experimento dos Hemisférios de Magdeburg;
2. Explicar o comportamento do fluido ao remover a interface plástica do frasco de vidro;
3. Medir a pressão utilizando o manômetro e interpretar os valores obtidos;
4. Determinar a densidade do líquido transparente utilizando o densímetro em U.

A realização desses experimentos permite reforçar a compreensão dos conceitos teóricos por meio da observação prática, demonstrando a importância dos princípios da física dos fluidos em aplicações do cotidiano e na tecnologia.

Metodologia

Experimento 1: Discos unidos sob vácuo

O experimento apresentado aqui é uma variação do experimento dos Hemisférios de Magdeburg. No experimento original, duas semiesferas são seladas a vácuo, criando uma diferença de pressão entre o interior e o exterior das esferas. Essa diferença gera uma força significativa que impede sua separação sem a aplicação de uma grande força externa.

Para replicar esse experimento, foram utilizados dois discos com raio de 35 cm e área de 962 cm². Os discos foram unidos e alinhados com o intuito de criar vácuo entre eles. Como no experimento dos hemisférios de Magdeburg, busca-se a partir da construção experimental, demonstrar os efeitos da pressão atmosférica e a força necessária para separar duas superfícies unidas sob vácuo parcial.

Em função da diferença de pressão, espera-se que a força necessária para separar os discos seja alta. O experimento foi registrado por fotografia, e os cálculos foram realizados posteriormente com as informações registradas nos objetos.

Instrumentos:

- 2 discos de com raio de 35 cm e área de 962 cm².

Procedimento:

- Dois discos são unidos e alinhados, criando praticamente um vácuo entre eles. Em seguida, cinco alunos tentam separá-los utilizando a força dos braços. O procedimento é registrado por fotografia e os cálculos da força necessária para separá-los são realizados com base nas medidas fornecidas dos discos.

Figura 1 - Medições no disco



Fonte: elaboração própria.

Experimento 2: Equilíbrio de pressões - Frascos de vidro

Este experimento tem como objetivo demonstrar o equilíbrio de pressões em fluidos. Um frasco de vidro é preenchido parcialmente com água e coberto por um pequeno filtro e

um cartão plástico. Ao inverter o frasco e remover o cartão de plástico, observa-se que a água não é derramada, evidenciando a ação da pressão atmosférica.

Instrumentos:

- Água;
- 1 frasco de vidro;
- 1 cartão de plástico que cobre o orifício do frasco;
- 1 frasco com uma tampa com pequenos orifícios similar à uma peneira.

Procedimento:

- O frasco é preenchido com água até metade de sua capacidade. Em seguida, coloca-se uma superfície de plástico sobre a boca do frasco. O copo é virado lentamente, de modo que fique de cabeça para baixo, e, posteriormente, o cartão de plástico é retirado. O resultado final é registrado por fotografia.

Experimento 3: Manômetro de coluna líquida

O manômetro de coluna líquida demonstra a variação da pressão em função da profundidade de um fluido. Nesse experimento, um tubo de vidro em formato de U é conectado a um recipiente com água por meio de um tubo de plástico. Conforme o tubo de plástico é inserido mais profundamente no recipiente, a pressão exercida pela água é transferida para o tubo de vidro, alterando a altura da coluna de líquido.

Instrumentos:

- Uma garrafa pet cortada com uma escala de 21 cm.
- Água colorida em azul.
- Um tubo de vidro em formato de U de 33 cm de altura.
- Um tubo de plástico conectado ao manômetro.
- Um cilindro de vidro conectado na estrutura através do tubo de plástico.

Procedimento:

- Foi retirado 1 medida com o cilindro fora do contato com a água e foram tomadas 5 medidas variando a altura do cilindro, desde a altura zero no fundo da garrafa até a borda da garrafa (17 cm de altura). Os registros foram feitos através de fotografias.

Experimento 4: Densímetro em U

Neste experimento, um tubo em U é preenchido com dois líquidos imiscíveis: água e outro líquido desconhecido. Utilizando a Lei de Stevin, o objetivo do experimento é determinar a densidade e a possível composição do líquido desconhecido.

Instrumentos:

- Tubo em U com uma escala de 34 cm de altura.
- Água colorida em azul.
- Líquido transparente com densidade diferente da água.

Procedimento:

- A densidade do líquido foi calculada utilizando a Lei de Stevin. Com a densidade determinada, consultou-se uma tabela de densidades para identificar possíveis substâncias correspondentes ao líquido desconhecido.

Resultados

Hemisférios de Magdeburg - Discos unidos sob vácuo

A força F necessária para separar os discos é dada por:

$$F = P \cdot A$$

Onde:

- P é a diferença de pressão entre o ambiente externo (consideramos uma pressão atmosférica) e o vácuo interno (que consideramos como 0 atm, ou próximo disso).
- A é a área dos discos em contato.

Desse modo:

$$F = P \times A \Rightarrow F = 1 \text{ atm} \times 962 \text{ cm}^2 = 101325 \text{ N/m}^2 \times 0,0962 \text{ m}^2 = 9,75 \times 10^3 \text{ N}$$

Figura 2 - Força sendo exercida sobre os discos



Fonte: elaboração própria.

Equilíbrio de pressões - Frascos de vidro

Em ambos os casos, ao inverter o frasco e remover o cartão de plástico, observa-se que a água não é derramada, iremos analisar os dois experimentos para mostrar porque o fenômeno é observado:

1) Frasco sem furos

Quando o frasco é virado, a água tenta sair devido à gravidade, criando uma região de **vácuo parcial** (pressão reduzida) na parte superior do frasco.

A **pressão atmosférica externa** (cerca de **101,3 kPa**) empurra o plástico para cima, equilibrando o peso da água.

A força peso da água em direção para baixo é dada por:

$$F_{\text{peso}} = \rho \cdot g \cdot h \cdot A, \quad \text{onde:}$$

- ρ = densidade da água ($\sim 1000 \text{ kg/m}^3$),
- g = aceleração da gravidade ($\sim 9,81 \text{ m/s}^2$),
- h = altura da coluna de água, ($\sim 6,0 \text{ cm}$)
- A = área da abertura do frasco. ($\sim 34,5 \text{ cm}^2$)

Assim, temos:

$$F_{\text{ext}} = P_{\text{atm}} \times A = 101,3 \times 10^3 \text{ N/m}^2 \times 0,0006 \text{ m}^2 = 6 \cdot 10^1 \text{ N}$$

$$F_{\text{peso}} = \rho \cdot g \cdot h \cdot A = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,06 \text{ m} \times 0,00345 \text{ m}^2 = 2 \text{ N}$$

Como $F_{ext} > F_{peso}$, a água não cai como é visto no experimento retratado na figura abaixo.

Figura 3 - Experimento do frasco sem furos



Fonte: elaboração própria.

2) Frasco com furos

Quando o frasco é virado, a água preenche os furinhos, criando uma película superficial devido à tensão superficial. Essa película age como uma “membrana” que impede a entrada de ar.

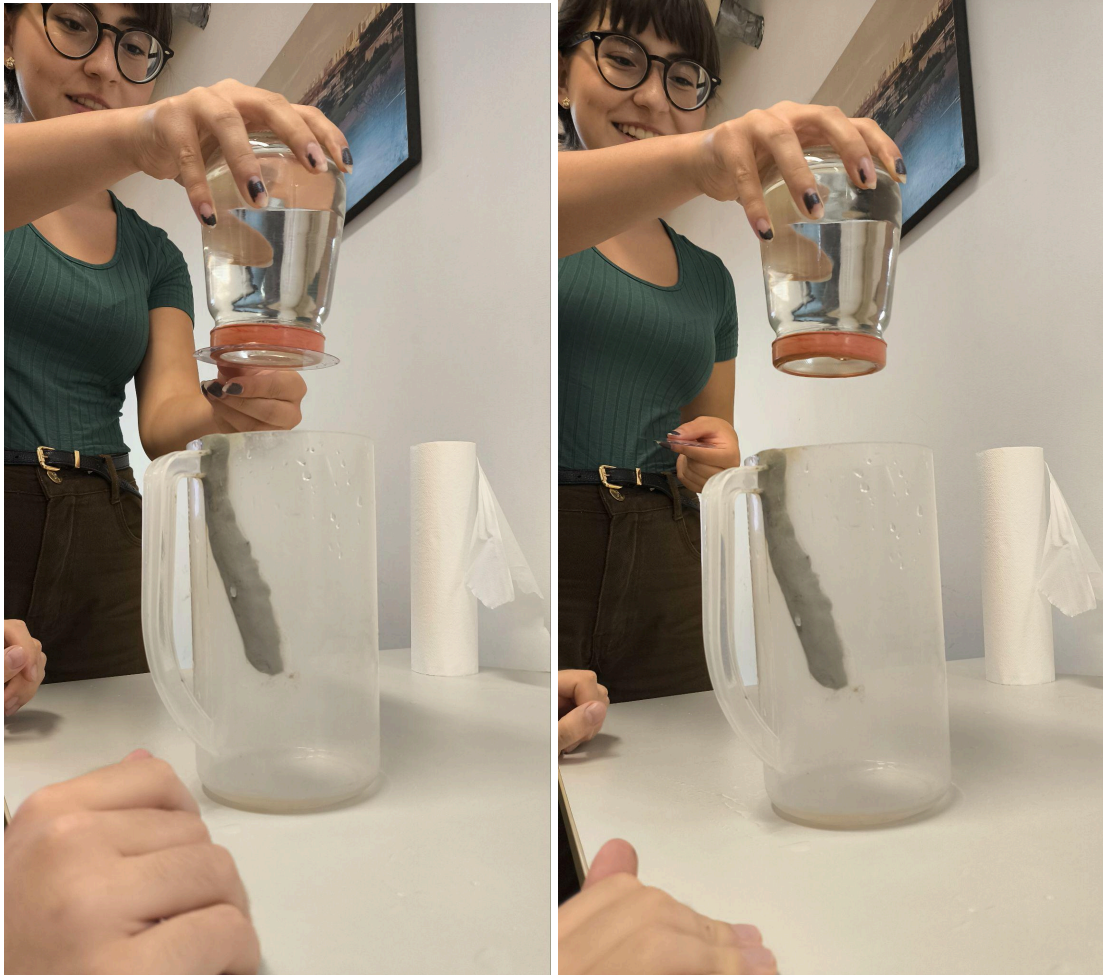
A pressão dentro do frasco fica ligeiramente menor que a atmosférica (devido ao peso da água puxando para baixo).

A pressão atmosférica externa empurra a água para cima, mantendo-a no lugar.

Os furinhos são pequenos o suficiente para que a tensão superficial (e a pressão atmosférica) impeçam a entrada de ar.

Ao inclinar o frasco, a película de água nos furinhos se rompe, permitindo a entrada de ar. Isso equaliza a pressão interna e externa, e a água escorre devido à gravidade.

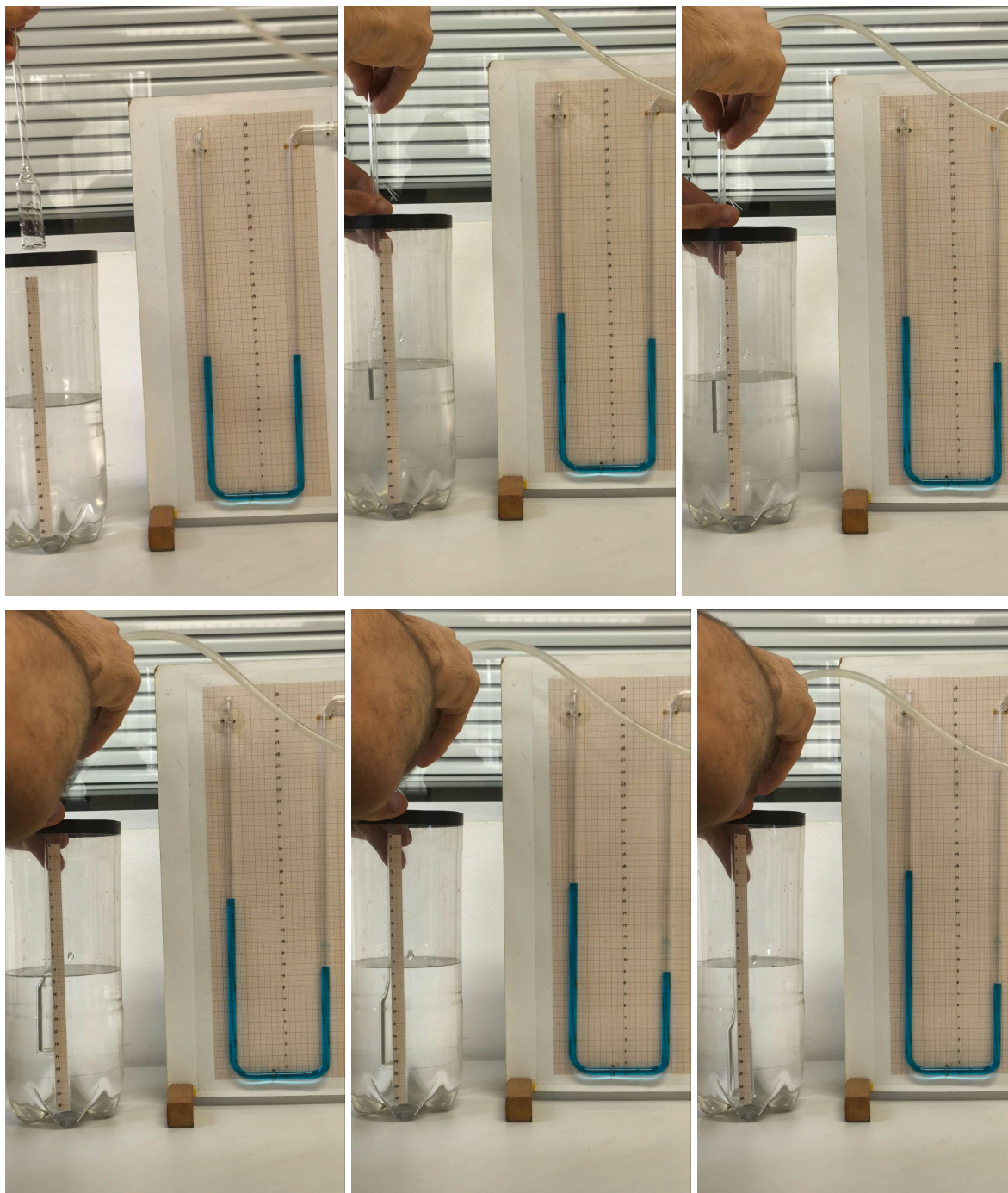
Figura 4 - Experimento do frasco com furos



Fonte: elaboração própria.

Manômetro

Figura 5 - Manômetro



Fonte: elaboração própria.

Os dados experimentais obtidos para a relação entre a profundidade da ponta de prova e o nível da coluna d'água estão apresentados na Tabela 1, juntamente com suas respectivas incertezas.

Profundidade da ponta de prova e nível da coluna d'água

Profundidade (cm)	Nível da Coluna d'Água (cm)
10.5 ± 0.25	17.6 ± 0.1
9.0 ± 0.25	16.6 ± 0.1
4.4 ± 0.25	14.9 ± 0.1
0 ± 0.25	12.9 ± 0.1

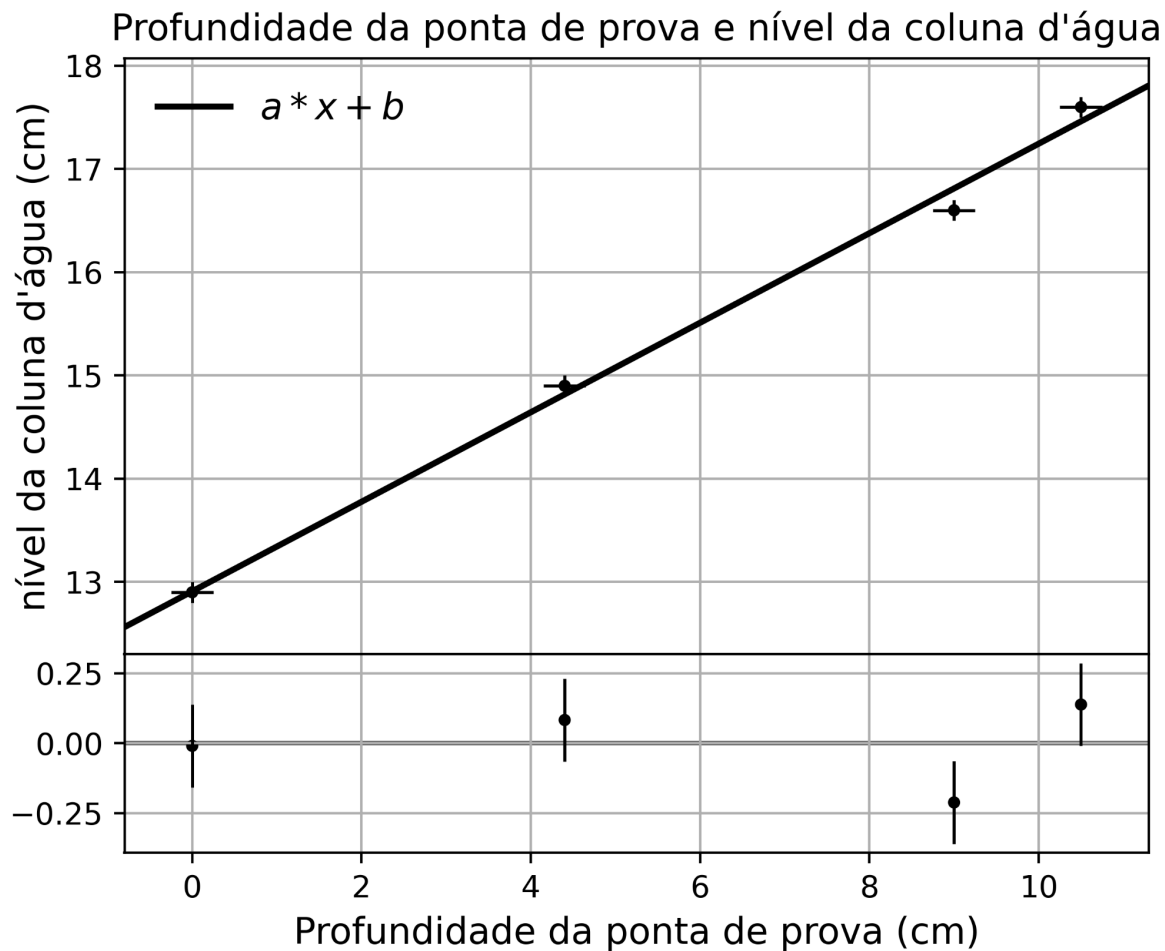
A análise dos dados indica uma relação crescente entre a profundidade da ponta de prova e o nível da coluna d'água. À medida que a profundidade aumenta, a altura da coluna de líquido também se eleva, evidenciando a influência da pressão hidrostática na leitura do manômetro.

O comportamento observado está de acordo com a equação da pressão hidrostática:

$$P = P_0 + \rho gh$$

onde P é a pressão total, P_0 é a pressão atmosférica, ρ é a densidade do líquido, g é a aceleração da gravidade e h é a profundidade da ponta de prova.

Dentro das incertezas experimentais, os resultados confirmam a teoria, demonstrando a relação direta entre a profundidade submersa e a altura da coluna de líquido no manômetro.



Para verificar a relação entre a profundidade e o nível da coluna d'água, foi ajustado um modelo linear da forma:

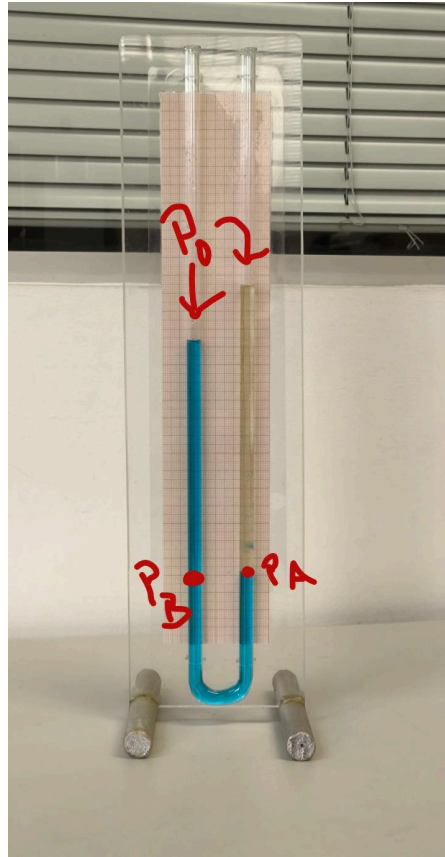
Os coeficientes obtidos a partir do ajuste foram:

$$a = 0.434 \pm 0.018$$

$$b = 12.910 \pm 0.130$$

Densímetro em U: Cálculo da densidade da substância desconhecida

Figura 6 - Densímetro em U



Fonte: elaboração própria.

$$P_0 + \rho_{\text{água}} h_1 g = P_0 + \rho_{\text{Substância}} h_2 g \text{ (Lei de Stevin)}$$

$$\Rightarrow \rho_{\text{Substância}} = \frac{\rho_{\text{água}} h_1}{h_2}$$

$$\rho_{\text{Substância}} = \frac{1 \cdot 27}{33} \left(\frac{\text{g} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^3 \cdot \text{cm}} \right) = 0.8 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \text{ (1 alg. sig.)}$$

Dado o valor calculado para a densidade, a hipótese levantada é que o líquido seja óleo de cozinha. Quatro principais motivos sustentam essa hipótese: o valor da densidade é compatível com o conhecido da densidade do óleo de cozinha (0.9 g/cm³ a 20 graus celsius), o óleo de cozinha é um líquido imiscível, a aparência da substância desconhecida é semelhante à do óleo de cozinha e, por fim, o óleo de cozinha é de fácil obtenção e poderia ser utilizado no experimento com mais facilidade do que outras substâncias de densidade semelhante. Outras opções plausíveis que consideramos são: Ácido etílico (0.8 g/cm³ a 20 graus Celsius) e azeite de oliva (0,9 g/cm³ a 20 graus Celsius).

Discussão

Embora algumas discrepâncias tenham sido observadas, os resultados obtidos nos experimentos permitem validar os princípios teóricos da física dos fluidos.

Hemisférios de Magdeburg:

A força experimental necessária para separar os discos foi próxima do valor teórico calculado por $F = P_{\text{externa}} \cdot A$. Entretanto, possíveis diferenças podem ser atribuídas a imperfeições no vácuo ocorridas por vazamentos de ar durante o selamento que reduziram a diferença de pressão.

Frasco de vidro e interface plástica

O equilíbrio observado ao inverter o frasco está alinhado com o princípio de Pascal. Discrepâncias no comportamento do fluido podem ter ocorrido devido a turbulência na remoção da interface como no caso de movimentos bruscos alterar momentaneamente a pressão interna.

Manômetro:

Os valores de pressão ($P_0 = \rho gh$) foram consistentes com a pressão atmosférica esperada (~1013 hPa). Erros como paralaxe na leitura de h ou desvios na densidade (ρ) do fluido (devido a temperatura) podem ter contribuído para pequenas diferenças.

Densímetro em U:

A densidade do líquido desconhecido, calculada por $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$, aproximou-se de valores de referência (ex.: água = 1000 kg/m³). Possíveis falhas incluem a inclinação do tubo que pode ter afetado a medição precisa das alturas h_1 e h_2 e a mistura e contaminação entre os fluidos que podem alterar suas densidades reais.

Conclusão

Com base nos dados experimentais e nas análises realizadas, conclui-se que o resultado teórico esperado foi congruente com o que foi observado experimentalmente. Além disso, também se destaca que os experimentos mais qualitativos também foram capazes de apresentar intuitivamente noções de fenômenos relacionados a estática de fluidos.

Assim, no experimento dos discos unidos sob vácuo, constatou-se que a força necessária para a separação dos discos selados a vácuo é, como esperada em função das diferenças de pressão no interior e exterior dos discos, alta. Por sua vez, no experimento do densímetro em U, a Lei de Stevin permitiu o cálculo da densidade da substância desconhecida, além de possibilitar a construção de possíveis hipóteses para a sua composição. Por fim, os experimentos do manômetro e dos frascos de vidro permitiram a percepção de fenômenos como pressão atmosférica e equilíbrio de pressões.

Em relação ao que poderia ser melhorado nos experimentos feitos, aponta-se que, no experimento do densímetro em U, especialmente na determinação da substância, seria necessário ter medidas de temperatura do ambiente no dia da coleta dos dados. Isso possibilitaria o cálculo da variação da densidade em função da temperatura e uma melhor comparação entre o dado tabelado (para 20 graus) e a densidade calculada teoricamente. Também nesse experimento, as medidas de altura da coluna de cada líquido poderiam ter sido mais rigorosamente mensuradas.

Embora os experimentos realizados não tenham demandado a coleta de muitos dados quantitativos, nota-se que as medidas de propagação de erro não foram calculadas e que mais medições poderiam ter sido feitas, com maior precisão. No mais, conforme a proposta apresentada, compreende-se que o grupo foi bem-sucedido na observação dos fenômenos empíricos e no entendimento de como a teoria física os descreve.