



Relatório 2 - Física II - CCM T34

Larissa Meloni - 15467875

Henry Acciari - 14578557

Pedro de Freitas - 10366800

Felipe Amorim -

Cilindro de "ouro"

Inicialmente, uma balança mede 0 kg com precisão de 0,001 kg sob uma jarra de água. Um cilindro marcado "ouro" de material desconhecido foi submergido sem que repouse sobre o fundo da jarra. Nessa configuração a balança mede 0,149 kg. Ao repousá-lo sobre o fundo da jarra, a balança passa a medir 1,151 kg.

- O primeiro valor medido indica que a balança foi calibrada para que a tara reflita a massa da jarra com água.
- O segundo valor medido indica a massa do volume V de água deslocado pela submersão do cilindro.
- O terceiro valor indica a massa m do cilindro em si.

Dessa forma, adotando a densidade da água como $\rho \approx 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$, podemos obter o volume V do cilindro a partir da segunda quantidade medida:

$$\rho V = 0.149 \pm 0.001 \text{ [kg]} \Rightarrow V \approx (149 \pm 1) \cdot 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]} \Rightarrow V \approx 149 \text{ [cm}^3\text{]} \pm 1 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Podemos assim obter a densidade D do material que compõe o cilindro:

$$D = \frac{m}{V} \approx \frac{(1151 \pm 1) \cdot 10^{-3}}{(149 \pm 1) \cdot 10^{-6}} \text{ [kg/m}^3\text{]} \approx 7725 \text{ [kg/m}^3\text{]} \pm 6.7 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Segundo *EngineeringToolbox.com*, o Bronze de Alumínio tem uma densidade aproximada de 7700 kg/m^3 - uma liga metálica cuja aparência é muito semelhante à do ouro.

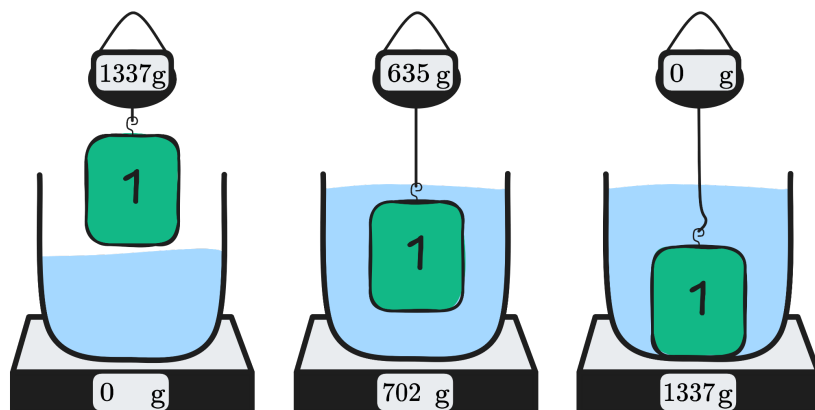
Essa densidade varia de acordo com a liga específica (proporção cobre/alumínio e outros elementos em quantidades pequenas), mas o cilindro de "ouro" tem uma densidade muito mais próxima do bronze de alumínio do que de outras ligas metálicas de aspecto similar como bronzes (Cu-Sn de densidades entre 8740 e 8890 kg/m^3) ou latões (Cu - Zn de densidades entre 8470 e 8750 kg/m^3).

Podemos concluir, cautelosamente, que o material consiste de bronze de alumínio. Porém, definitivamente não consiste de ouro, cuja densidade é de 19290 kg/m^3 - mais do que o dobro do valor obtido.

https://www.engineeringtoolbox.com/density-solids-d_1265.html

Cilindros de diferentes densidades

Utilizando a mesma balança e jarra de com água do experimento anterior, foi suspensa de uma segunda balança dois cilindros de massas diferentes e mesmo volume $V = 702 \text{ [cm}^3\text{]}$.



Ao, lentamente, abaixar o cilindro 1, marcado com um peso de 1337 gramas, foram tomadas as medições ao lado, corroborando com a marcação, assim como está ilustrado na ilustração 1.

Ilustração 1: demonstração da experimentação com o cilindro 1.

Ao fazer o mesmo com o cilindro 2 (ilustração 2), marcado com peso de 688 gramas, observou-se que o cilindro boia, nunca repousando sobre o fundo da jarra, obtendo as medições ao lado, que condizem com a marcação no cilindro.

Durante as suspensões, é possível observar as seguintes forças atuando de acordo com o esquema (diagrama 1) abaixo.

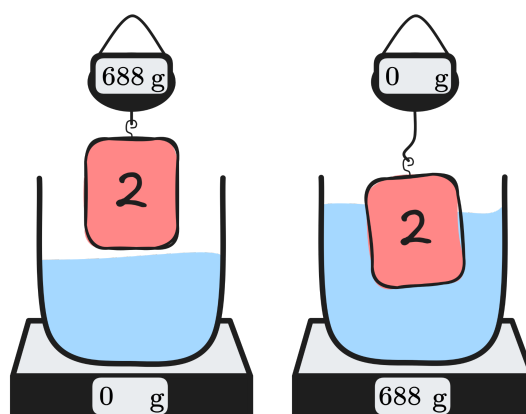


Ilustração 2: demonstração do experimento com o cilindro 2.

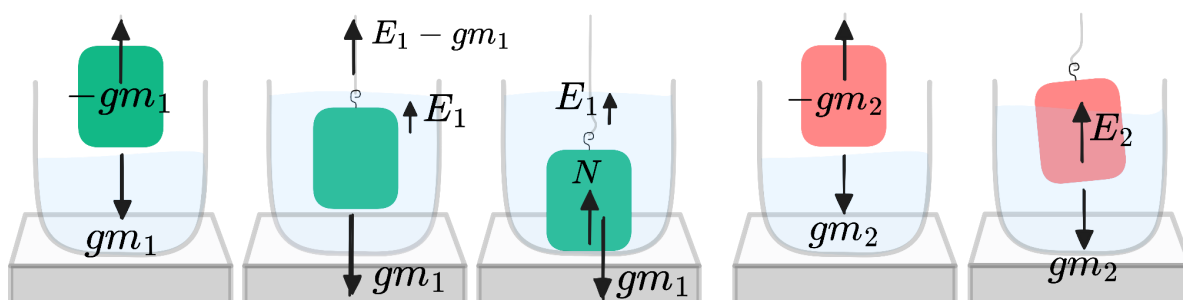


Diagrama 1: forças envolvidas nos casos da ilustração 1 e ilustração 2, respectivamente.

Utilizando os valores marcados e corroborados pelas prévias medições, as massas m_1 e m_2 são dadas. Além disso, o volume dos cilindros é determinado, que é corroborado pela segunda medição da balança inferior para o cilindro 1, contanto que assumamos uma densidade da água $\rho \approx 1 [g/cm^3]$. (A dedução do empuxo será realizada na descrição do próximo experimento puramente pelo nome "balança de empuxo")

Mesmo que a densidade do fluido fosse desconhecida, seria possível obtê-la através da fórmula do empuxo usando o valor conhecido de V :

$$E_1 = -\rho Vg \Rightarrow \rho = -\frac{E_1}{Vg} \approx -\frac{-(702 \pm 1)g}{702 \cdot g} = (1 \pm 0.0014245) [g/cm^3]$$

Tendo esses valores, é possível obter a força resultante para o caso em que os cilindros sejam submergidos completamente:

$$F = mg + E = \rho_c Vg - \rho_f Vg \Rightarrow F = Vg(\rho_c - \rho_f)$$

Sendo ρ_f a densidade do fluido e $\rho_c = m/V$ a densidade do cilindro.

Para o cilindro 1, essa é exatamente a força mostrada pela balança superior na segunda medição. Adotando $g \approx 9.8 [m/s^2]$,

$$F_1 = Vg\left(\frac{m_1}{V} - \rho_f\right) = 9.8(1337 - 702 \cdot 1) = 635 [gf] \approx 6.223 [N]$$

Aplicando o mesmo processo para o cilindro 2, é obtida uma força resultante com valor negativo, indicando que a força de empuxo excede o seu peso, fazendo-o boiar:

$$F_2 = Vg\left(\frac{m_2}{V} - \rho_f\right) = 9.8(688 - 702 \cdot 1) = -14 [gf] \approx -0.1372 [N]$$

É claro, porém, que enquanto bóia, no estado de equilíbrio, a real força resultante sobre o cilindro é nula, onde o empuxo causado pela porção submersa tem módulo idêntico ao seu peso m_2g .

Balança de Empuxo

1. Introdução

A balança de empuxo, ou balança hidrostática, foi inventada em 1586 por Galileu Galilei com a finalidade, na época, de determinar pesos de metais. Galileu utilizou-se de conceitos como o Princípio de Arquimedes e empuxo para definir a densidade de corpos, regulares ou irregulares, submersos. Dessa maneira, para os alunos que estiveram presentes nessa aula demonstrativa, o experimento teve como objetivo observar o peso medido com os celulares dos integrantes do grupo e outros objetos a fim de fixar tais conceitos aplicando o formalismo teórico conhecido, similar ao que Galileu Galilei fez na invenção de tal aparato, aplicando as teorias de Arquimedes.

2. Metodologia

Para a realização deste experimento foi utilizada uma balança de empuxo construída manualmente da seguinte maneira: consistia de uma garra do tipo pet cortada até $\frac{2}{3}$ de sua altura, outra garrafa (inteira) de diâmetro menor dentro da garrafa anterior acima de um líquido colorido, um prato de plástico em cima da garrafa inteira e uma régua para observar os pesos em gramas. Os itens foram colocados em cima do prato e o grupo observou a altura que demonstrava a régua. ~~Não foram necessários cuidados extremos quanto a realização da experimentação, apenas o rigor na tomada de medidas.~~ Algumas ações para garantir maior meticulosidade, por exemplo, foram verificar se a balança estava corretamente calibrada, marcar os pesos dos celulares fora da balança e após a medição.

As medidas foram feitas com os seguintes itens: celular Motorola Moto g7; celular Samsung S20 FE; celular Xiaomi Redmi Note 9s; celular Samsung A14; HD de computador; peso de 500g. As imagens foram retiradas por um dispositivo celular.

As incertezas acerca dos pesos foram consideradas a partir da régua com medidas de 50 em 50 gramas, que foi disponibilizada ao grupo, portanto uma incerteza de 25 gramas ou 0,025 kg (metade da precisão instrumental).

Alguns erros experimentais podem ser considerados, como a dificuldade de centralizar os itens em cima do prato, pois possuía bordas incompatíveis com as medidas dos celulares, o que poderia descalibrar a balança e demonstrar pesos incorretos; os celulares possuírem capinhas, afetando o peso final; a própria imprecisão das casas decimais da régua; além de não saber ao certo o peso do HD fornecido.

3. Resultados

3.1 Teoria utilizada e cálculos realizados

A teoria por trás da "régua" de pesos pode ser descrita pelo Princípio de Arquimedes, ao qual será deduzido abaixo. Como já estudado pelos integrantes em aula, a lei de Stevin diz que a pressão num ponto do fluido depende apenas de sua profundidade, ou seja, independe da direção:

$$p + \rho \cdot g \cdot z = \text{constante}$$

$$p = \text{pressão}$$

$$\rho = \text{densidade do fluido}$$

$$g = \text{aceleração gravitacional}$$

$$z = \text{profundidade do fluido}$$

Sabendo disso, a seguinte situação, demonstrada no diagrama 3.1.1 abaixo, será considerada:

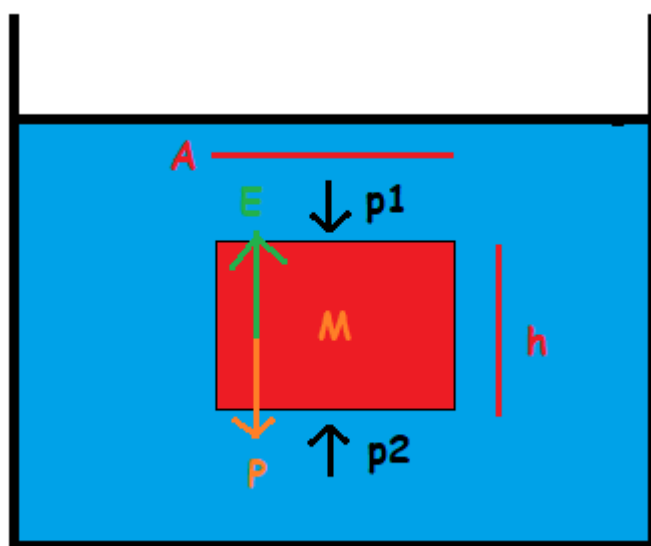


Diagrama 3.1.1: ilustração de um objeto submerso em um líquido incompressível em equilíbrio.

Onde o objeto vermelho é um cilindro tal que:

$$M = \text{massa}$$

$$A = \text{área da base}$$

$$h = \text{altura}$$

Com isso, pela lei de stevin, é possível afirmar que a base superior do cilindro sofre uma pressão p_1 e a base inferior sofre uma pressão p_2 tal que $p_1 < p_2$, pois p_2 está em uma profundidade maior que p_1 . Pelo mesmo resultado da lei de stevin, é possível afirmar que as pressões laterais se anulam uma vez que as pressões só dependem da altura e a superfícies laterais do objeto possuem a mesma altura h . Reforçando mais ainda que as pressões laterais se anulam, se elas não se anulasse, haveria movimento horizontal por parte do objeto, porém isso não ocorre no equilíbrio estático, ~~que é a situação sendo analisada, então é possível descartar com toda certeza a possibilidade de que as pressões laterais não se anulam (simplesmente não é satisfatória analisar um caso em que isso pudesse ocorrer dado o experimento).~~

Portanto, é possível analisar as forças que atuam sob esse objeto:

$P = -mg$ (força peso, considerando o sentido vetorial "para baixo" como sendo negativo),

$\Delta F = F_2 - F_1 = P_2 \cdot A - P_1 \cdot A = A \cdot (P_2 - P_1)$ (força resultante das diferenças de pressões p_1 e p_2)

Prosseguindo o raciocínio, pela lei de stevin se obtém:

$$p_2 = p_1 + \rho \cdot g \cdot h \Rightarrow p_2 - p_1 = \rho \cdot g \cdot h \Rightarrow A \cdot (p_2 - p_1) = \rho \cdot g \cdot h \cdot A$$

E usando o resultado anterior das forças com o fato que de o produto altura por área é o volume do cilindro " V ", é possível concluir:

$$\Delta F = \rho \cdot g \cdot V$$

Porém o produto de densidade por volume é ~~uma massa, e essa massa que aparece é simplesmente~~ a massa do líquido deslocado, m_l . (Como dois corpos não podem ocupar o mesmo espaço, e o fluido é incompressível, certamente todo o volume deslocado pelo líquido deve ser o volume submerso pelo cilindro, ~~que nesse caso, é ele inteiro~~. Logo o produto densidade do fluido pelo seu volume deslocado deve ser a massa desse líquido deslocada). Assim, essa diferença de forças é chamada de empuxo " E " ~~e assim se conclui que:~~

$$E = g \cdot m_l$$

~~Assim,~~ o empuxo é uma força que atua para cima e o peso do objeto atua para baixo, portanto a força resultantes do sistema tem que ser:

$$\sum F = E + P = g \cdot m_l - mg = g(m_l - m)$$

Logo, na situação de equilíbrio ($\sum F = 0$), a massa de líquido deslocado deve ser igual a massa do objeto submerso/flutuando, e esse é o princípio fundamental ~~na hora~~ de construção da balança de Empuxo: enquanto for colocado objetos na balança que a mantenham boiando e sabendo a densidade do líquido, é possível ~~fazer a relação entre volume deslocado por massa deslocada, como o volume é o produto de área por altura e a~~

~~área é constante, é possível~~ associar a altura que será deslocada pelo líquido de acordo com a massa inserida na balança e assim é feita a régua de pesos da balança de empuxo.

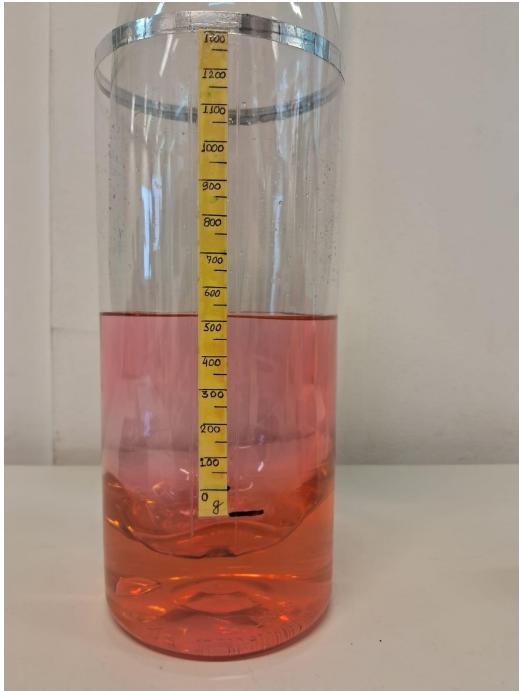
3.2 Dados obtidos

A primeira medida (imagens 3.2.1 e 3.2.2) foi realizada com a balança sozinha. Como esperado, observou-se 0g na medida da régua.



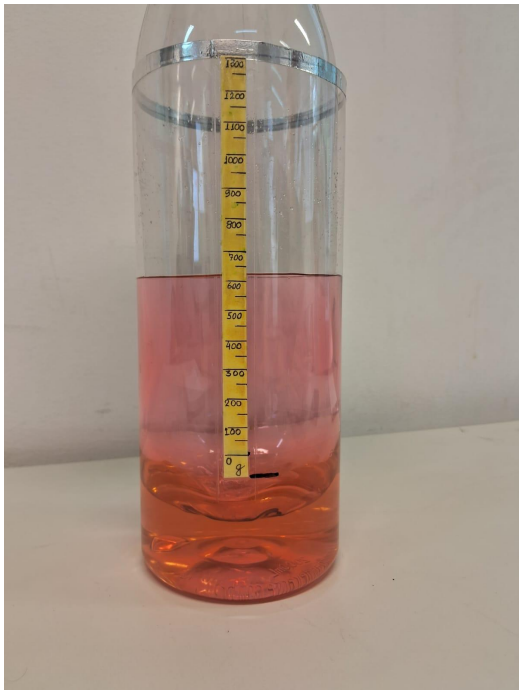
Imagens 3.2.1 e 3.2.2: peso medido (nenhum) e imagem do aparato montado, respectivamente.

A segunda medida (imagens 3.2.3 e 3.2.4) foi feita com um peso de 500g e apresentou, visualmente, 25g a mais.



Imagens 3.2.3 e 3.2.4: medida apresentada pela balança (525g) e peso posicionado no prato da balança, respectivamente.

A terceira medida (imagens 3.2.5 e 3.2.6) foi realizada utilizando um HD de computador.



Imagens 3.2.5 e 3.2.6: medida apresentada pela balança (625g) e HD posicionado no prato da balança, respectivamente.

A quarta medida (imagens 3.2.7 e 3.2.8) foi realizada utilizando um aparelho celular da marca Motorola no modelo Moto g7.



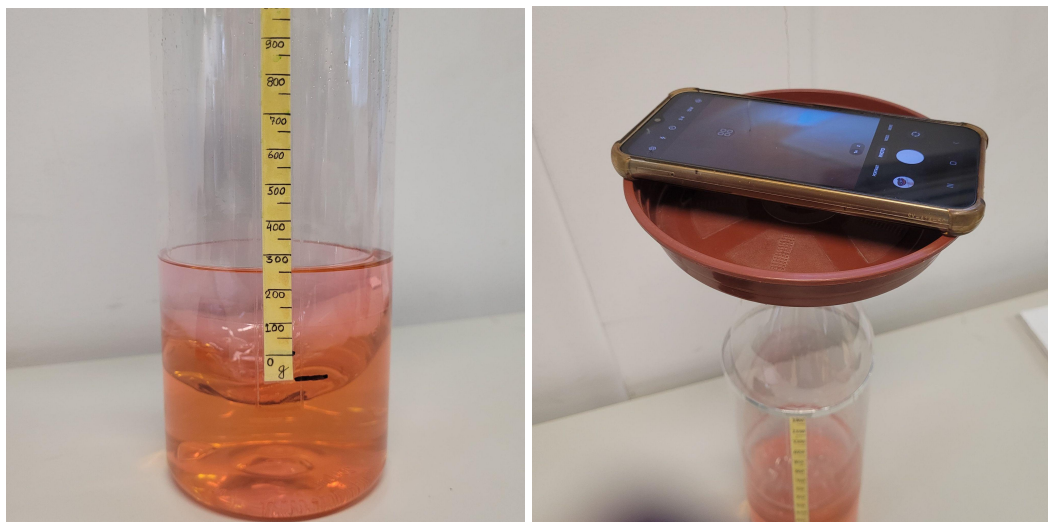
Imagens 3.2.7 e 3.2.8: medida apresentada pela balança (200g) e celular posicionado no prato da balança, respectivamente.

A quinta medida (imagens 3.2.9 e 3.2.10) foi realizada utilizando um aparelho celular da marca Samsung no modelo Galaxy S20 FE.



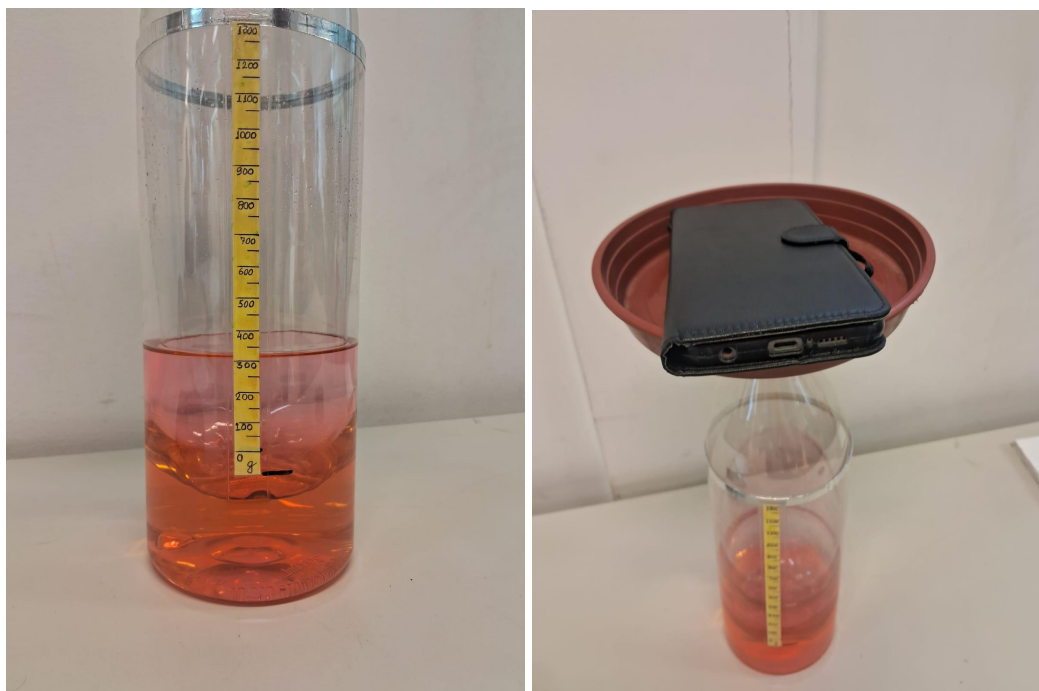
Imagens 3.2.9 e 3.2.10: medida apresentada pela balança (275g) e celular posicionado no prato da balança, respectivamente.

A sexta medida (imagens 3.2.11 e 3.2.12) foi realizada utilizando um aparelho celular da marca Samsung no modelo Galaxy A14.



Imagens 3.2.11 e 3.2.12: medida apresentada pela balança (250g) e celular posicionado no prato da balança, respectivamente.

A última medida (imagens 3.2.13 e 3.2.14) foi realizada utilizando um aparelho celular da marca Xiaomi no modelo Redmi Note 9s.



Imagens 3.2.13 e 3.2.14: medida apresentada pela balança (325g) e celular posicionado no prato da balança, respectivamente.

Os pesos obtidos com os itens descritos na metodologia estão na tabela 3.2.1 abaixo.

Item	Peso da Balança de Empuxo	Peso Original (esperado)
Peso 500g	525g (25)	500g
HD	625g (25)	Indefinido
celular Motorola Moto g7	200g (25)	174g
celular Samsung S20 FE	275g (25)	190g
celular Samsung A14	250g (25)	201g
celular Redmi Note 9s	325g (25)	209g

Tabela 3.2.1: pesos obtidos a partir da medição da balança de empuxo.

Para comparativos, a tabela 3.2.2 abaixo apresenta os mesmos pesos, porém, sem o suposto peso da balança, calculado em 25g quando foi realizada a medição do peso de 500g. Além disso, foi possível estimar o peso original do HD que antes não possuía medida conhecida pelo grupo.

Item	Peso corrigido
Peso 500g	500g
HD	600g
celular Motorola Moto g7	175g
celular Samsung S20 FE	250g
celular Samsung A14	225g
celular Redmi Note 9s	300g

Tabela 3.2.2: pesos da tabela 3.2.1 com correção de 25g.

4. Discussão

Comparando os dados obtidos com as tabelas 3.2.1 e 3.2.2 é evidente que há **discrepâncias de dados** mesmo após a correção, alguns fatores podem ter acarretado as diferenças mais evidentes como efeito de paralaxe, medições com capas protetoras e erros experimentais.

Primeiramente é importante enunciar que o efeito de paralaxe em medidas pode causar discrepâncias, mesmo que sutis, quando se faz a leitura de instrumentos analógicos, nesse caso, a régua fornecida e utilizada. A leitura das medidas feita ao longo do experimento foi realizada com as aproximações de menor medida do aparato instrumental, portanto, evidenciar que efeitos ópticos podem ter influenciado na tomada de dados é fundamental.

Alguns celulares foram medidos com suas capas protetoras, no entanto, não se sabe ao certo o peso bruto de cada uma para estimar a magnitude dos erros. Com isso, o grupo teoriza que esse seja o principal fator de influência, pois os celulares que apresentavam capas protetoras foram os que apresentaram as discrepâncias. É possível estimar, de certa maneira, um peso para as "capinhas" com dados disponíveis em fichas técnicas, no entanto ainda sim não seria rigoroso o suficiente, seria preciso, no mínimo, saber a composição das capas com precisão e suas dimensões.

Dessa maneira, assim como foi dito na metodologia, erros experimentais também devem ser levados em consideração. Além da baixa precisão de leitura do próprio líquido, às vezes ocorria da garrafa escapar e "grudar" na parede da garrafa maior, atrapalhando ainda mais a leitura. Outro problema foi o tamanho do prato, não é possível afirmar que a distribuição da massa estava precisa pois os dispositivos celulares não tinham dimensões compatíveis com a do prato, que foram apoiados com uma extremidade na borda por esse fator.

5. Conclusão

O experimento realizado cumpriu com seu objetivo de explicitar e fixar os conceitos de empuxo e as leis que regem o estudo de fluidos. No entanto, houveram discrepâncias nos dados obtidos quando comparados ao que era esperado, o grupo teoriza que essas incongruências são multifatoriais: efeito de paralaxe; erros experimentais; dificuldades de leitura do aparato instrumental. A **meticulosidade e precisão na tomada de dados** demonstraram-se como pontos cruciais para uma eficaz análise física, principalmente quando trata-se da complexidade de fluidos; definitivamente são aspectos, que o grupo, por unanimidade, concluiu que devem ser aperfeiçoados em análises futuras.

Princípio de Arquimedes

O experimento da gangorra é uma maneira de observar como funcionam os fenômenos do empuxo, como já discutido, e de vasos comunicantes. Além disso, é uma maneira didática de demonstrar como os líquidos transferem energia de uma maneira diferente de sólidos.

No experimento, foi dada uma gangorra com um recipiente com água e em uma das extremidades, foi mergulhada uma pedra sem que ela encostasse no fundo do pote, o que foi observado (imagem 1) é que a gangorra mantinha seu equilíbrio:



Imagem 1: experimento da gangorra no estado de equilíbrio.

Esse experimento pode ser entendido da seguinte maneira: a água deslocada pela pedra não transfere a força diretamente para baixo, o que acontece, na prática, é que a água desloca um volume de água pelo sistema que está em volta dela, desta forma a gangorra não perde o equilíbrio com uma simples submersão da pedra. Isto inclusive, independe de onde a pedra seja mergulhada (imagem 2 e 3), visto que o que provocaria o desequilíbrio da gangorra seria a força Peso aplicada na estrutura da gangorra, assim poderia existir torque que a penderia para algum lado; ~~esta descrição é completamente compatível com as discussões prévias sobre o empuxo ao longo deste relatório.~~



Imagem 2 e 3: demonstrac o experimental que o equilíbrio independe de onde a pedra seja mergulhada.

Dessa forma, o sistema têm um maior equilíbrio devido à barreira que se encontra no meio da gangorra: ela funciona como uma "quebra de ondas" que faz com que a transferência de momento seja menor, pois caso a água bata na extremidade oposta do recipiente, isso diminui o torque que as ondas, formadas ao mergulhar algo na água, aplicam com a colisão nas extremidades da gangorra.

Por fim, a rela o de transferência da força Peso pode ser visualizada nesta última imagem (imagem 4). A pedra ainda sofre a força de empuxo, porém, a resultante de forças aponta para baixo, uma vez que a força Peso   maior, assim, quando ela é repousada no fundo da gangorra, o sistema gera torque o suficiente para tomb -la para um de seus lados.

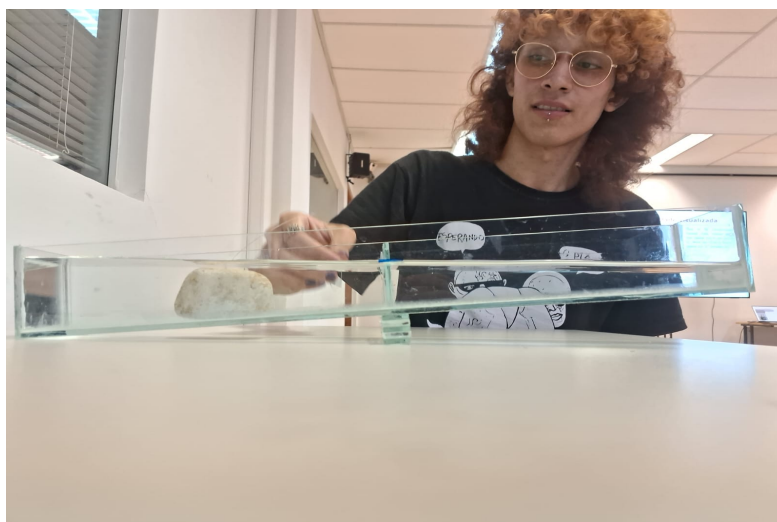


Imagem 4: gangorra tombada devido à transferência da força Peso.

Demonstração da garrafa

O fenômeno da garrafa, conhecido como Ludião ou Mergulhador Cartesiano, é um experimento que pode ajudar a visualizar, de maneira rápida e dinâmica, o Princípio de Pascal: "A pressão exercida em um fluido incompressível em equilíbrio se transmite integralmente e com igual intensidade para todos os pontos desse fluido e para as paredes do recipiente."

O sistema consiste em uma garrafa de plástico com um "bonequinho" dentro de um líquido de natureza e viscosidade desconhecidas. O boneco possui formato tubular e possui uma pequena quantidade de ar em seu interior, fazendo-o boiar, pois segundo o Princípio de Arquimedes todo corpo mergulhado sofre um empuxo proporcional ao peso do fluido deslocado. Dessa maneira, o boneco que está no interior da garrafa flutua, deslocando o fluido, isso ocorre quando a sua massa é menor que a força de empuxo.

Quando a garrafa é apertada, a pressão interna do recipiente aumenta, já que a garrafa se deforma, assim, com uma maior pressão interna, o ar se comprime conforme a lei de Boyle: "A pressão de um gás ideal é inversamente proporcional ao seu volume, se a temperatura e a quantidade de gás forem constantes.". A consequência disto é que, como o ar é um gás compressível, logo ocupa um menor volume no interior do boneco, isso faz com que esse volume que antes era ocupado pelo ar seja ocupado por água. Desta forma, o volume de água deslocado pelo conjunto do "bonequinho" é menor, e faz com que a força de empuxo que é exercida seja menor também. Por fim, o bonequinho desce pela garrafa uma vez que a força de empuxo não é suficiente para deixá-lo na superfície do sistema (topo da garrafa).

A discussão acerca de que ponto deve-se apertar da garrafa para que o fenômeno ocorra pode ser explicada de seguinte modo: o que importa, para uma maior pressão interna, é que a garrafa comprima a maior quantidade de ar possível para que o volume de ar interno ao boneco diminua o máximo possível também. Nas bordas da garrafa há uma resistência do local da tampa e da base, que são mais rígidas, estes locais são menos passíveis de deformação, evidenciando que quanto mais próximo do centro da garrafa se apertar, melhor. Importante pontuar que isso se dá imediatamente quando a garrafa é apertada, pois o ar se comprime, dando um menor volume interno ocupado pelos fluidos, então aumenta a pressão interna.

Fotos dos integrantes do grupo com a garrafa



Obs: a Larissa estava no dia do experimento, mas estava triste demais para tirar fotos.