

Relatório 1 - Física II - CCM T34**Larissa Meloni - 15467875****Henry Acciari - 14578557****Pedro de Freitas - 10366800****Felipe Amorim -****Experimento 1: Hemisférios de Magdeburg - Discos/Ventosas**

O primeiro experimento realizado é uma simplificação do famoso experimento dos hemisférios de Magdeburg sobre os estudos do vácuo. Esse experimento originalmente foi realizado em 1654, por Otto von Guericke, onde dois hemisférios de cobre foram unidos para formar uma grande esfera oca que teria seu interior completamente esvaziado para que se criasse uma região de baixíssima pressão muito próxima ao vácuo. A ideia do experimento era mostrar o quão forte poderia ser a pressão exercida pelo vácuo. Com isso, ele demonstrou que nem a força de 16 cavalos era suficiente para separar os dois hemisférios.

A simplificação do experimento foi realizada no laboratório de demonstrações do professor Caetano Miranda, onde foi fornecido ao grupo duas ventosas amarelas de área $A = 0.0962 \text{ m}^2$. A partir disso, as propostas eram as seguintes: juntar as ventosas umas às outras, criando assim uma região muito próxima de vácuo entre elas e com isso o grupo deveria tentar separá-las apenas com a força dos integrantes. A outra sugestão era levantar uma mesa com essas mesmas ventosas, nessa proposta o vácuo era entre a mesa e as ventosas.

A partir disso, como ilustrado nas imagens abaixo, o grupo conseguiu com sucesso levantar a mesa, porém falharam em separar as ventosas. Mesmo com o incentivo do professor, em dar a quem conseguisse um ponto em suas médias finais, a euforia dos alunos não foi o suficiente para superar a grandiosa força do vácuo. Com isso surgiu a dúvida entre o grupo: a força era realmente realizada pelo vácuo?



Imagem 1.1: membro do grupo levantando com sucesso a mesa utilizando as ventosas.



Imagem 1.2: dois membros do grupo tentando a todo vigor separar as ventosas.

Após uma análise minuciosa sobre os acontecimentos e levando em consideração as aulas teóricas de física, o grupo chegou às seguintes observações: por definição, vácuo é a ausência de pressão em uma determinada região, por consequência, sem pressão não existe uma força. Portanto, a força não poderia ter sido exercida pelo vácuo e deveria vir de "fora" das ventosas. Assim, levando em conta todo o contexto por trás desse experimento e as aulas, a conclusão é de que essa força só pode ser realizada pela pelo ar (ou pressão atmosférica), pois assim o sistema está tentando se manter em equilíbrio, ou

seja, tentando manter a zona de vácuo e a pressão atmosférica constante. (Diagrama 1.1)

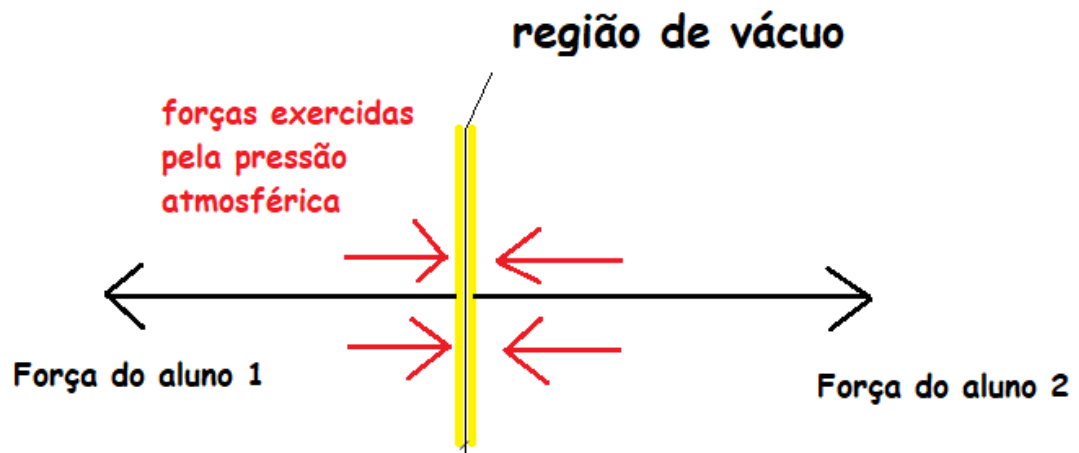


Diagrama 1.1: Diagrama de forças do experimento.

Assim, pelos estudos de fluídos dado nas aulas de física teórica, sabemos que a definição de pressão é dada por:

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow F = P \cdot A$$

Onde F é uma força e A uma área, portanto P é uma força submetida a uma determinada área. Como, por definição, vácuo é a ausência de pressão, e estamos assumindo que exista um vácuo entre as duas ventosas, teoricamente falando, a diferença de pressão entre as placas e a força aplicada para separá-las vai ser simplesmente a própria força aplicada para separá-las. Portanto, a força necessária para separar as ventosas vai ser simplesmente a fórmula já apresentada.

Usando o valor de A já dado e assumindo que a pressão atmosférica seja igual à pressão atmosférica ao nível do mar, $P = 101325 \text{ Pa}$, o grupo conclui que a força necessária para separar as ventosas é de $F = 101325 \cdot 0.0962 = 9747.5 \text{ N}$ (Já respeitando os algoritmos significativos fornecidos, uma vez que o experimento é muito mais qualitativo/teórico do que tomada de dados). Esse valor de $F = 9747.5 \text{ N}$ é um valor muito alto de força e representaria aproximadamente uma massa de 1.000kg ou 1 tonelada , e isso é literalmente

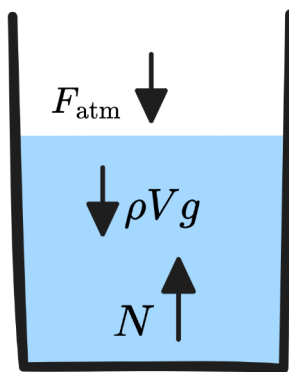
impossível para um ser humano levantar sozinho, portanto é condizente com o fato de que nenhum aluno tenha conseguido separar as ventosas.

Vale a pena comentar que uma aplicação interessante para esse "fenômeno" é o transporte de telas de vidro, pois isso garante uma grande segurança devido a grande força que a pressão atmosférica garante no suporte do vidro além de não quebrá-lo no processo devido a distribuição de forças ao longo dele.

Experimento 2: Equilíbrio de pressões

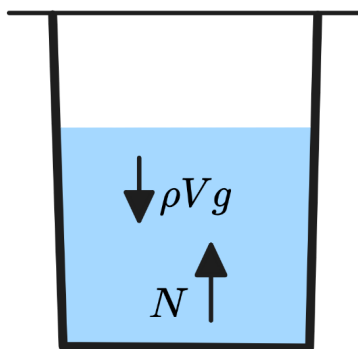
O segundo experimento é o do copo invertido, que busca demonstrar a força exercida por uma diferença de pressão entre dois fluidos. Um volume, V , de um líquido de densidade, ρ , é depositado em um copo de vidro. Cobre-se então o copo com uma superfície de plástico e inverte-se o copo. Após a inversão, nota-se que o plástico permanece no lugar, mantendo o líquido dentro do copo, em vez da noção intuitiva de se ver o líquido caindo pela ação da gravidade.

Essa observação contra-intuitiva pode ser facilmente explicada através das forças que atuam sobre o fluido - exercidas pela atmosfera, a gravidade, e a força reativa normal exercida pelo fundo rígido do copo:

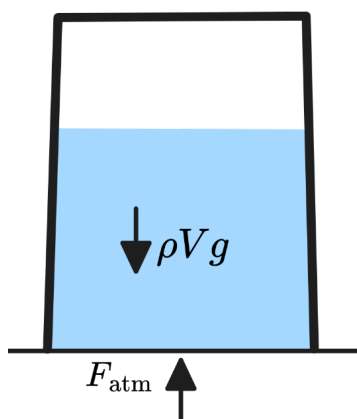


1. No seu estado inicial, a força exercida pela pressão atmosférica F_{atm} atua sobre o líquido em harmonia com sua força peso $\rho V g$ exercida pela gravidade.

Nesse estado, o líquido permanece no lugar devido à força normal exercida pelo fundo do copo.



2. Uma vez coberto com o plástico, o ar contido deixa de estar em contato com a atmosfera, tal que, F_{atm} deixa de atuar diretamente sobre o líquido.

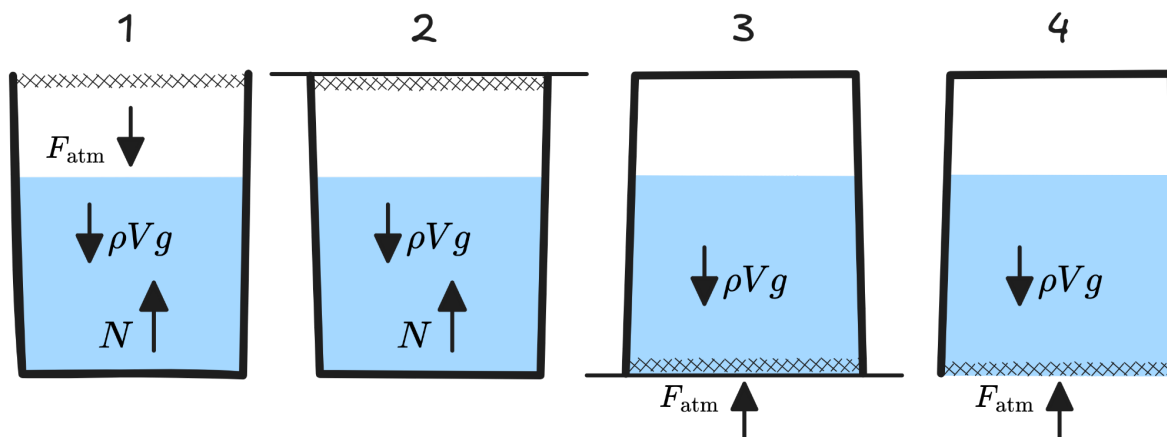


3. Quando o copo é invertido, o fundo do copo deixa de exercer uma força reativa sobre o fluido. Porém, a força atmosférica agora atua sobre a combinação fluido-plástico em contraposição à força peso do fluido.

Desconsiderando o peso do plástico, contanto que a pressão no ponto de contato entre ele e o fluido não

exceda a pressão atmosférica, o plástico permanecerá fixo.

Existe também uma variação do experimento em que uma fina tela cobre a boca do copo, e o último passo é a remoção do plástico.



O experimento é idêntico, com a tela servindo a função de preservar a tensão superficial do líquido após a remoção do plástico. Abaixo ficam as imagens registradas pelo grupo da observação real que inspirou a descrição do experimento.



Imagem 2.1: recipiente antes de se retirar a tela, segurado por um dos membros do grupo.



Imagem 2.2: recipiente depois de retirar a tela, segurado por um dos membros do grupo. Nota-se que o líquido não cai.

Experimento 3: Densímetro em "U"

O terceiro experimento, densímetro em "U", consiste em uma análise do diagrama de forças que dois líquidos exercem sobre si quando conectados em um sistema de vasos comunicantes, servindo como uma maneira simples de determinar a densidade de um líquido desconhecido, dado um líquido conhecido, sabendo que eles não se misturam.

Vale ressaltar que este experimento foi dado, não há uma metodologia, mas de qualquer maneira, a priori, é só colocar dois líquidos diferentes em um vaso em formato de "U" e medir as alturas com uma régua ou algo semelhante. Neste caso, foi medido com uma fita métrica que já era dada no próprio instrumento.

O primeiro contato com o experimento, tendo em mente uma pequena noção do fenômeno dos vasos comunicantes, nos diria que a altura do líquido transparente deveria ser igual à altura da água, quando ambos estão no densímetro em "U". Porém, na prática, não é isso que se é observado. Mas porque?

Sabemos que uma coluna de água, ou mais especificamente uma coluna de um líquido qualquer, causa uma pressão P em um ponto dado do líquido a depender de sua altura e densidade. No caso dos vasos comunicantes, a pressão exercida a uma altura qualquer é constante em todos os pontos daquela altura, ou seja, é uma superfície isobárica (pressão constante), visto que se trata de um único líquido com densidade constante em todo o sistema.

Logo, a análise do comportamento do densímetro em "U" será dada por este fenômeno da superfície isobárica de um vaso comunicante. Portanto, o grupo partirá do enunciado de que dado uma certa altura do densímetro em "U", todos os pontos daquela altura terão a mesma pressão, mesmo que os líquidos tenham diferentes densidades, uma vez que a pressão precisa ser constante já que o sistema está estático.

Sabendo então que na base do líquido transparente, a pressão naquele ponto será igual a pressão da mesma altura do outro lado do tubo onde o líquido é a água. Portanto a pressão na base do líquido transparente será dada por (pressão atmosférica " P_o " + pressão do líquido transparente, pela Lei de Stevin, que será demonstrada e explicada no experimento 4):

$$P = P_o + \rho_1 \cdot g \cdot h_1$$

E isso será exatamente igual à (pressão atmosférica + pressão da água, novamente pela Lei de Stevin):

$$P = P_o + \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

Onde ρ_1 é a densidade do líquido transparente e h_1 a altura da coluna do líquido transparente e ρ_2 e h_2 são os valores relativos a água. Igualando as equações, é possível simplesmente simplificar a equação para:

$$h_1 \cdot \rho_1 = h_2 \cdot \rho_2$$

$$\rho_1 = \frac{h_2 \cdot \rho_2}{h_1}$$

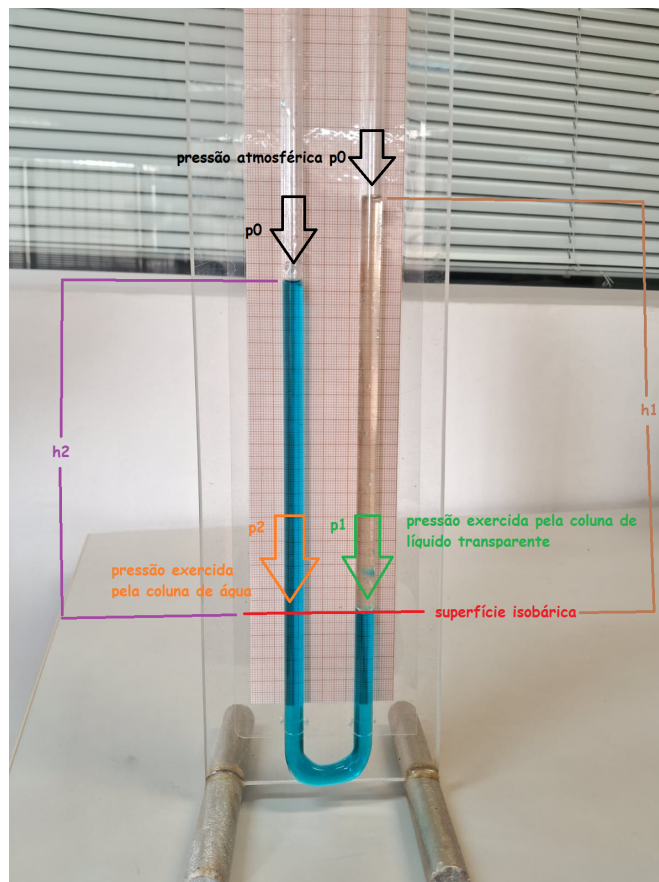


Imagem 3.1: representação gráfica das explicações do densímetro em "U".

Com isso, a análise teórica está concluída. Utilizando os dados retirados pelo grupo, $h_2 = 0,1330(5)\text{m}$, $h_1 = 0,1650(5)\text{m}$ e dado que $\rho_2 = 966,5 \text{ kg/m}^3$, é possível chegar em:

$$\rho_2 = 779,05757 \text{ kg/m}^3$$

As incertezas instrumentais foram consideradas como metade da precisão da menor medida, assim, fazendo propagação de incerteza simples, é possível concluir que:

$$\rho_2 = 779(1) \text{ kg/m}^3$$

Tal densidade está dentro dos valores possíveis de densidade da parafina. A incerteza da densidade final está de acordo com as regras de multiplicação de algarismos significativos, apesar de parecer grande quando comparada com os pequenos valores das incertezas de medida e altura. Muito possivelmente se tivesse sido dada a imprecisão da medida da densidade e os instrumentos fossem mais precisos, daria pra dizer algo mais substancial sobre a perspectiva estatística. O que o grupo conclui é que as medidas são sensíveis a pequenas variações de altura.

Experimento 4: Manômetro

Conceitos como hidrostática e mudanças de pressão são essenciais para que se entenda muitos fenômenos complexos da natureza, por exemplo, podemos compreender como um submarino é capaz de funcionar e a mudança de pressão que sentimos ao mergulhar. O experimento do manômetro consegue elucidar com clareza tais conceitos e se torna vital quanto ao aprendizado de Física II.

Dentro da estática dos fluidos podemos tratar um líquido como um fluido incompressível, ou seja, a densidade varia tão pouco com a mudança de pressão que podemos considerá-la como constante. Dessa forma, vamos também considerar que o líquido está em equilíbrio hidrostático, ou seja, a soma vetorial deve ser 0, observe o diagrama 4.1 abaixo que descreve as forças exercidas por um fluido em uma determinada região:

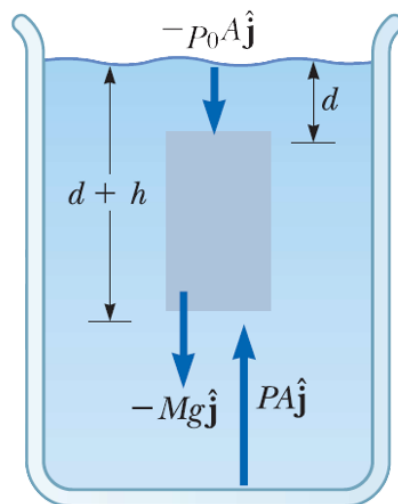


Diagrama 4.1 - "Uma parcela de fluido (região mais escura) em um volume maior de fluido é destacada. A força líquida exercida na parcela de fluido deve ser zero porque está em equilíbrio". Adaptado de Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2014). Physics for Scientists and Engineers (7ª ed.). Cengage Learning.

Sendo:

$-P_0 A \hat{j}$ = força exercida pela superfície do líquido

$-Mg \hat{j}$ = peso do líquido naquele ponto

$PA \hat{j}$ = força exercida pela "base" do líquido

$d = \text{profundidade}$

$h = \text{altura}$

O peso do fluido pode ser descrito como:

$$M = mg \text{ e } m = pAh \Rightarrow M = pAhg$$

Sendo:

$M = \text{peso do fluido}$

$m = \text{massa}$

$g = \text{gravidade}$

$p = \text{densidade do líquido}$

$A = \text{área}$

Com isso é possível observar que:

$$\Sigma \vec{F} = PA\hat{j} - P_0A\hat{j} - Mg\hat{j} = 0 \Rightarrow$$

$$PA - P_0A - pAhg = 0 \Rightarrow$$

$$P = P_0 + phg \text{ e } P - P_0 = phg$$

Dessa forma, com as duas equações acima, conseguimos medir a pressão absoluta e a pressão manométrica, respectivamente. No nosso caso, sabemos que P_0 seria a pressão atmosférica, então conseguiríamos calcular a pressão absoluta.

Podemos dizer também que a diferença de pressão entre dois pontos de um líquido em equilíbrio é constante e depende, então, da diferença de nível entre esses dois pontos, ou seja, a profundidade, temos aqui a Lei de Stevin. Logo, se há variação de pressão em uma região do líquido esta mesma variação será transmitida por todos os outros pontos desse líquido, enuncia-se então a lei de Pascal.

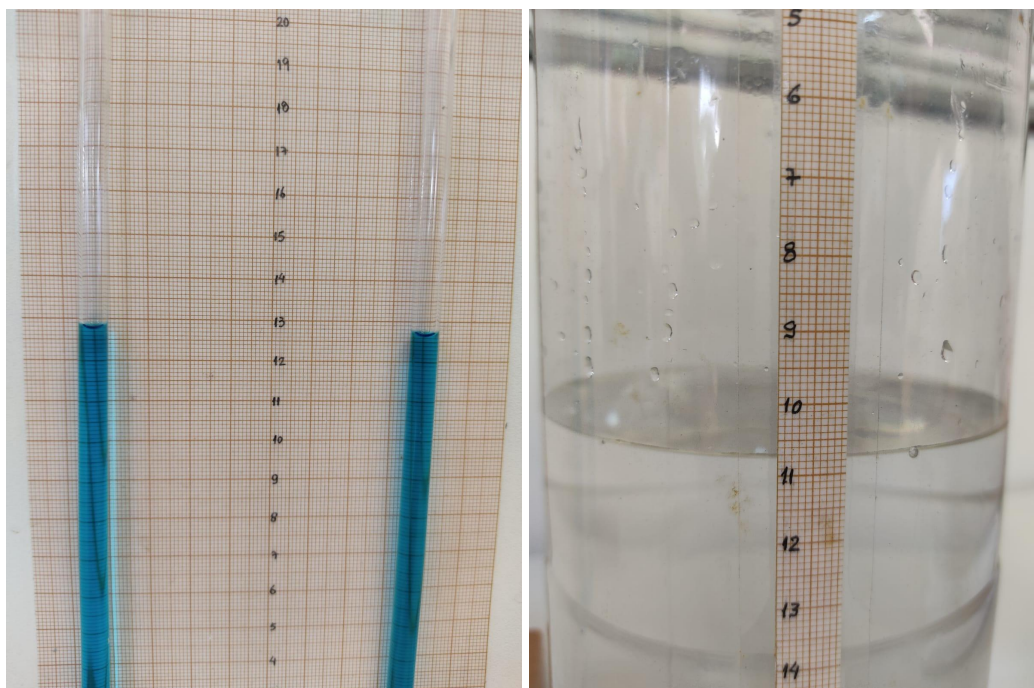
Para esse experimento foram utilizados os seguintes instrumentos: um tubo de vidro em formato de "u" que possui líquido em seu interior, com um de seus lados ligados a uma ventosa a qual sua outra extremidade se liga a um recipiente com água cristalina. Um dos lados do tubo de vidro está exposto à pressão atmosférica e o outro suscetível à pressão exercida pelo líquido que cresce com a profundidade. Além disso, as medidas foram todas baseadas em um

papel quadriculado dividido em centímetros e milímetros. As imagens foram retiradas com um dispositivo celular.

O experimento é realizado da seguinte forma: no lado da ventosa há uma espécie de copo que, conforme este é submergido em maiores profundidades, o líquido azul de dentro da vidraria é deslocado. Assim, foram tomados 3 pontos, quando este "copo" estava fora do líquido (profundidade 0), à profundidade de 13 cm, à profundidade de 16 cm e à profundidade de 19 cm. Os cuidados tomados quanto à execução da experimentação foram principalmente relacionados ao manuseio do "copo" para que este não fosse submerso de forma a colocar líquido dentro da ventosa, o que prejudicaria a análise e execução do fenômeno.

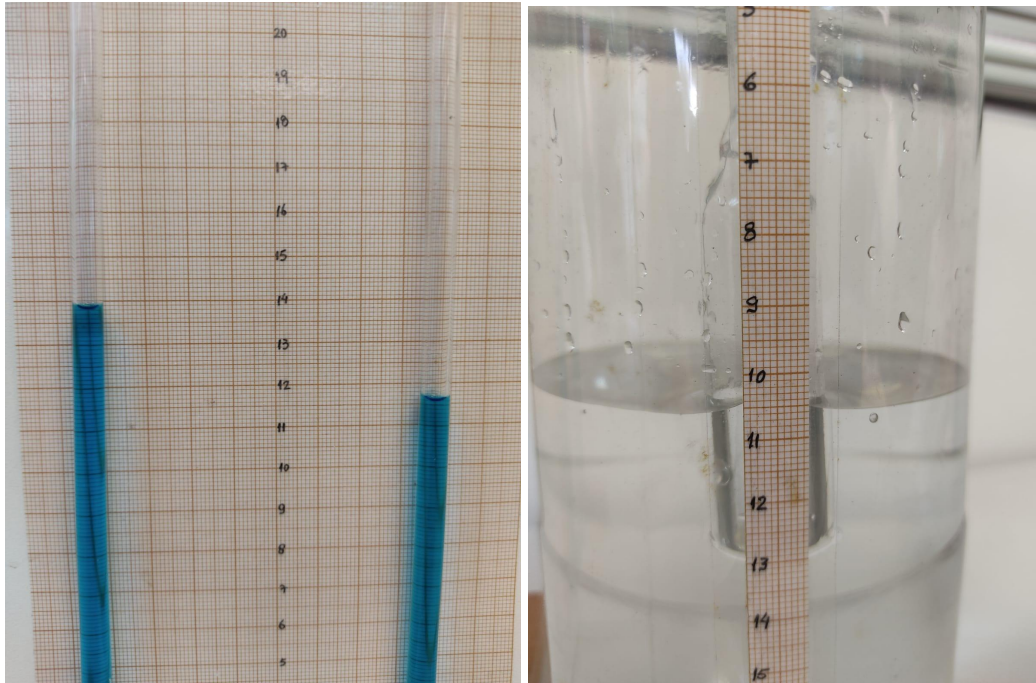
Não se tem conhecimento por completo do líquido azul que está dentro do tubo, mas assumiu-se que seria água, logo todas as medidas seguem seus valores já conhecidos enquanto fluido. A vidraria não possuía medidas em sua superfície, assim como dito anteriormente foi utilizado como base o papel quadriculado, então a incerteza referente a este seria a metade da menor medida: 0,5 mm.

A primeira medida, ou seja, o caso base para comparativos, foi tomado com o "copo" exposto à pressão atmosférica, o líquido azul da vidraria permaneceu igual de ambos os lados.



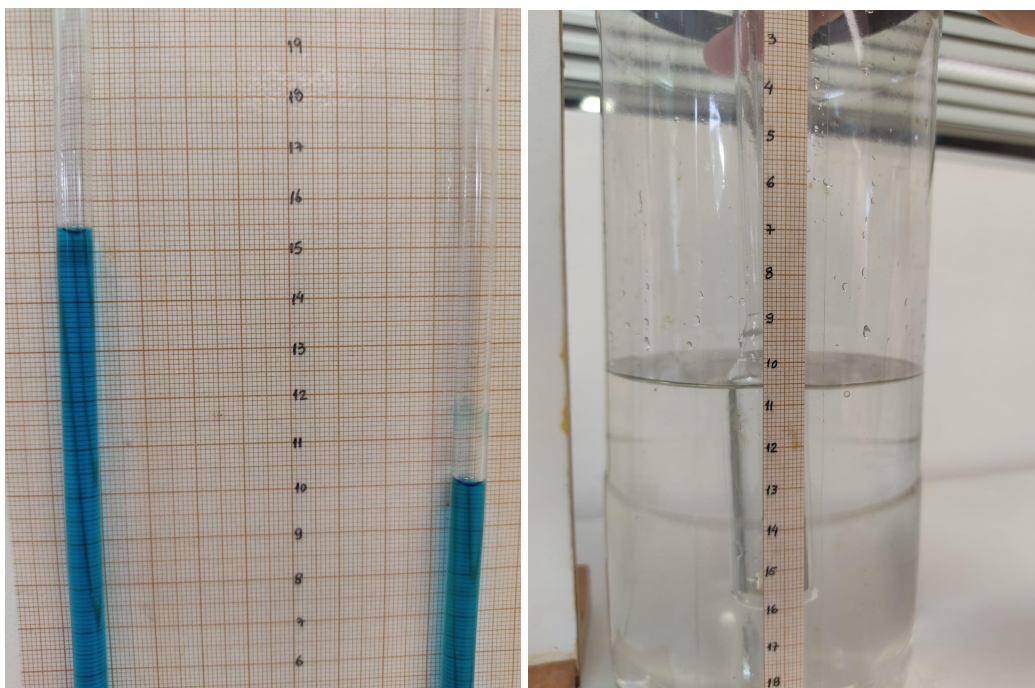
Imagens 4.1 e 4.2: manômetro com ambos os lados da vidraria em "u" equilibrados, ou seja, profundidade 0.

A segunda medida, primeira com o "copo" dentro do líquido, foi retirada com a profundidade de 13 cm, observou-se deslocamento do líquido azul.



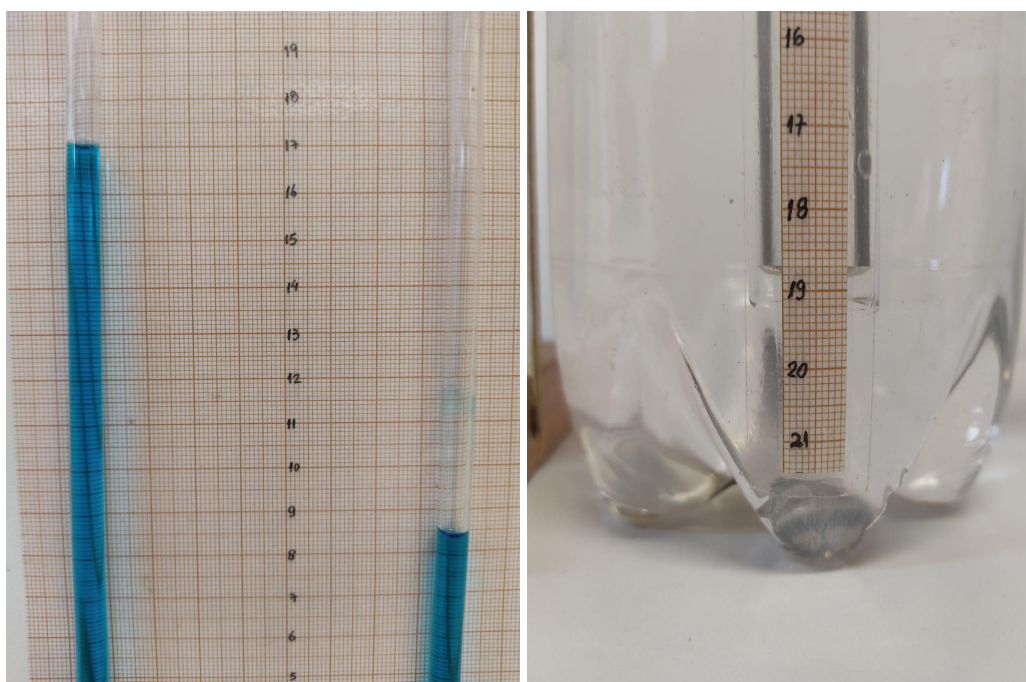
Imagens 4.3 e 4.4: profundidade de 13 cm e o deslocamento do líquido dentro da vidraria.

A terceira medida, segunda com o "copo" dentro do líquido, foi retirada com a profundidade de 16 cm, observou-se um deslocamento maior que o anterior.



Imagens 4.5 e 4.6: profundidade de 16 cm e o deslocamento do líquido dentro da vidraria.

A quarta medida, terceira com o "copo" dentro do líquido, foi retirada com a profundidade de 19 cm, observou-se um deslocamento maior que o anterior.



Imagens 4.7 e 4.8: profundidade de 19 cm e o deslocamento do líquido dentro da vidraria.

De uma forma simplificada, inicialmente conseguimos os seguintes dados:

profundidade (m)	Y (m)	Y' (m)
0	0,1280 (5)	0,1280 (5)
0,1300 (5)	0,1380 (5)	0,1160 (5)
0,1600 (5)	0,1540 (5)	0,1000 (5)
0,1900 (5)	0,1690 (5)	0,0850 (5)

Tabela 4.1: dados analisados após a tomada.

Vamos considerar o lado do manômetro que está exposto à pressão atmosférica como Y e o outro lado como Y' para facilitar a leitura.

Vamos observar a tabela 4.2 abaixo que possui as pressões manométricas, as pressões absolutas calculadas para cada profundidade e a diferença de altura entre os lados Y e Y'.

Diferença de altura (m)	Pressão manométrica (Pa)	Pressão absoluta (Pa)
0,0220 (5)	208,4 (4,7)	101533,4 (4,7)
0,0540 (5)	511,5 (4,7)	101836,5 (4,7)
0,0840 (5)	795,6 (4,7)	102120,6 (4,7)

Tabela 4.2: pressões absolutas, pressões manométricas e diferenças de altura. Foi feita a propagação de incerteza.

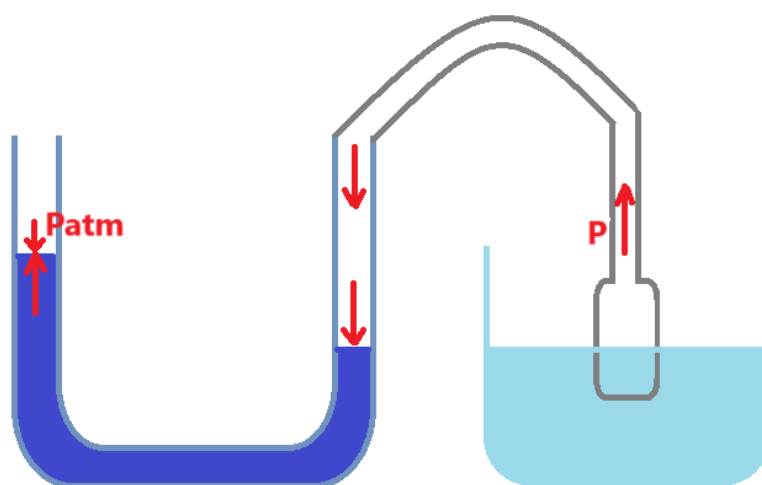


Diagrama 4.2: medição da pressão em um ponto usando um manômetro em U. *Importante ressaltar que a pressão não é um vetor, pressão é a força por área, porém, para fins didáticos, foi decidida esta demonstração visual com setas vermelhas.*

De certa maneira, observando o diagrama 4.2 feito após as experimentações e a tabela 4.2 anterior, é possível perceber que de fato existe uma tendência de que conforme a pressão vá aumentando, ou seja, o "copo" seja cada vez mais submerso em água, o líquido azul tende a se deslocar mais para o lado que está aberto para a pressão atmosférica. As diferenças de altura do líquido em cada abertura do vidro em "u" também tendem a ficar mais drásticas conforme se aumenta a profundidade, como se de certa forma essa seta fosse ficando maior e "empurrasse" o líquido azul, ao passo que a pressão atmosférica não muda (assumindo que não mudaremos nosso manômetro de lugar, é claro).