

Princípio de Arquimedes. Determinação da densidade de um líquido.

Material.

- Copo de plástico.
- Líquido de densidade desconhecida (sumo de maçã).
- Peça cilíndrica de plástico, com gancho de fixação.
- Base de suporte com vareta vertical, vareta e casquilho roscados, noz e fio, para suspender o cilindro.
- Balança digital.
- Fita-cola.
- Marcador e régua.

Fundamento teórico.

O conhecido Princípio de Arquimedes indica que *qualquer corpo mergulhado num fluido sofre, da parte deste, uma força vertical de baixo para cima, igual ao peso do volume de fluido deslocado*.

Na experiência da figura, um corpo cilíndrico com um diâmetro D está parcialmente submerso no sumo de maçã. Sendo x o comprimento submerso, o volume deslocado é

$$V = \pi(D/2)^2 x.$$

O impulso que o cilindro experimenta é

$$E = \rho V g = \rho \pi (D/2)^2 g x,$$

em que ρ é a densidade do líquido e g a aceleração da gravidade.

Este impulso pode ser determinado apoiando o sistema sobre uma balança que mede a massa aparente colocada sobre a mesma. Se a força total de apoio sobre a balança for F , a balança medirá uma massa aparente $M_{ap} = F/g$. Tendo em conta o princípio de ação-reacção, esta força será o peso do copo com o líquido, Mg , somada ao impulso E exercido pelo cilindro sobre o líquido. A balança indicará uma massa aparente

$$M_{ap} = M + \frac{E}{g} = M + \rho \frac{\pi D^2}{4} x.$$

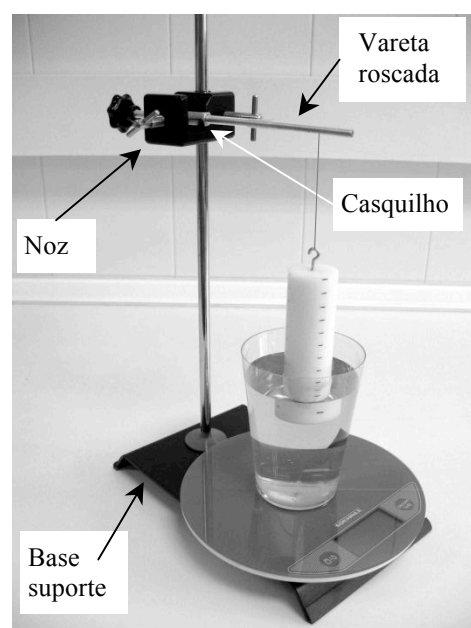
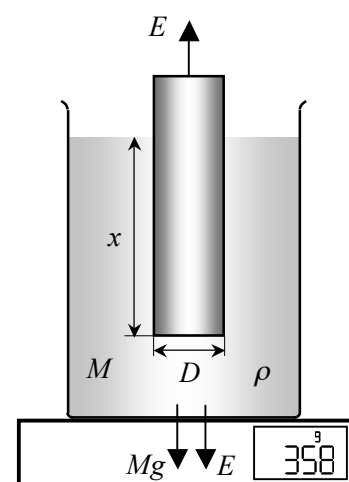
Dado: Diâmetro do cilindro: $D = (36,0 \pm 0,1) \text{ mm}$.

Procedimento experimental.

Para medir o comprimento submerso, x , desenhe uma escala (ou várias) na parede lateral do cilindro (use a régua e o marcador fornecidos).

Coloque a balança sobre a base do suporte e o copo em cima dela. Suspenda o cilindro no centro do copo, usando um bocado de fio enrolado na vareta roscada. Fixe a extremidade do fio a esta vareta com fita-cola, para que não possa resvalar.

O conjunto é fixado à vareta vertical mediante um "casquilho" hexagonal roscado e uma "noz" (veja a fotografia anexa).



O comprimento de cilindro submerso, x , pode ser ajustado rodando a vareta roscada para enrolar ou desenrolar fio.

O nível inicial de líquido no copo deve ser o adequado para que o cilindro possa ser submerso até, pelo menos, $x = 10$ cm, sem que o cilindro toque no fundo nem o líquido transborde.

Quando tiver a intenção de iniciar as medições, retire o copo da balança e pressione o botão de ligação ("ON"). Certifique-se de que mede em gramas (aparece a letra g na parte superior do ecrã). Se tal não acontecer, pressione o botão esquerdo até o conseguir. Depois, pouse o copo no centro da balança.

Precauções e conselhos:

- A balança tem na sua face inferior quatro pontos de apoio. Os quatro pontos devem estar bem assentes sobre a mesma superfície horizontal, que no nosso caso é a base de suporte da vareta vertical, de forma a evitar possíveis erros sistemáticos.
- Evite que o cilindro toque nas paredes do copo ou no fundo deste.
- Uma bolha de ar sob a base do cilindro, ou na sua parte lateral, pode falsear as medições.
- A balança dispõe da função *tara* ("TARE"): se pressionar o botão direito com a balança ligada, o aparelho assumirá essa situação como nova referência de massas, anulando a leitura no ecrã. Obviamente, a tara não deve ser alterada durante as medições, pelo que não se deve pressionar a tecla "TARE" enquanto as mesmas são efectuadas.
- Decorridos cerca de quatro minutos sem alteração do peso, a balança desliga-se automaticamente. Neste caso é necessário voltar a ligá-la nas mesmas condições que no início, para que a tara seja a mesma. Para evitar problemas, é melhor que não demore entre uma medição e a seguinte, até completar a série de medidas.
- Para desligar a balança mantenha o botão direito ("OFF") pressionado durante alguns segundos.
- No fim do teste deixe o seu local de trabalho limpo e ordenado, tal como o encontrou.
- **Atenção:** Tenha o máximo cuidado para evitar que o copo se vire e o líquido se derrame. **Poderia arruinar o trabalho já feito.**

Questões.

- a) Para uma série de valores de x , anote a massa aparente indicada pela balança, M_{ap} . Apresente as suas medições numa tabela. (2 pontos)
- b) Represente graficamente no papel milimétrico os pontos experimentais (x, M_{ap}) obtidos. (2 pontos)
- c) Ajuste uma linha recta a estes pontos. (2 pontos)
- d) A partir do ajuste anterior obtenha a densidade do líquido, ρ . (1 ponto)
- e) A incerteza indicada para o diâmetro do cilindro é $\Delta D = 0,1$ mm. Calcule a incerteza propagada à densidade do líquido por esta incerteza no diâmetro, $\Delta \rho_D$. (3 pontos)

Estudo da vibração transversal de uma régua metálica.

Material.

- Régua metálica.
- Peça de alumínio para fixar a régua.
- Grampo para fixar o sistema à mesa.
- Flash periódico (estroboscópio), com fonte de alimentação externa.
- Multímetro com função de frequencímetro.
- Cartolina preta.

Fundamento teórico.

Nesta experiência vão ser estudadas as oscilações transversais de uma régua metálica em função do seu comprimento livre, L . Em particular, estudar-se-á o modo fundamental de vibração, com um nó na extremidade fixa e um único ventre na extremidade livre, como se esquematiza na figura anexa.

Pode mostrar-se que a frequência de vibração da régua, f , depende do seu comprimento de acordo com

$$f = K L^n, \quad (1)$$

em que n é um número inteiro ou semi-inteiro e K é uma constante que depende do material e das dimensões transversais da régua.

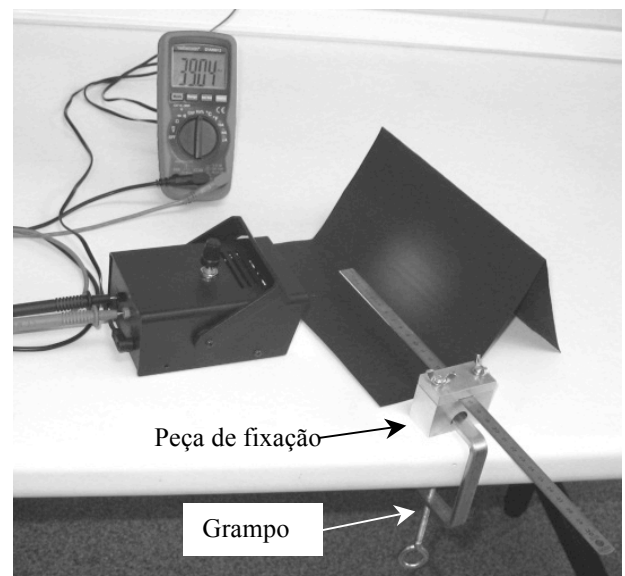
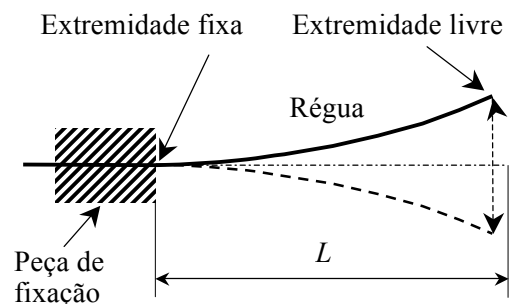
O objectivo deste trabalho é determinar os valores de n e K , medindo f em função de L .

Procedimento experimental

A peça de alumínio permite a fixação da régua com um comprimento livre ajustável, L . Para modificar este comprimento basta desapertar os dois parafusos ("borboletas") da sua parte superior, fazer deslizar a régua até ao novo comprimento e voltar a apertar os parafusos.

A peça de alumínio é fixada à borda da mesa com o grampo, tal como indicado na fotografia anexa.

A oscilação da régua é demasiado rápida para se poder medir manualmente o seu período. Para a medição da frequência de oscilação vai-se recorrer a um sistema de iluminação *estroboscópica*: uma fonte de luz emite impulsos luminosos periódicos muito breves, com uma frequência, F , que se pode modificar. Quando a frequência do estroboscópio coincidir com a frequência de oscilação da régua ($F = f$), os sucessivos impulsos iluminarão a régua apenas quando esta passar por uma dada posição, de forma que se verá a régua aparentemente quieta.



A régua também parecerá imóvel quando F for um submúltiplo de f , isto é, quando $F = f/2, f/3, f/4\dots$, dado que nestes casos a régua efectua 2, 3, 4... oscilações completas entre dois impulsos sucessivos de luz. Pelo contrário, se F for múltiplo de f , isto é $F = 2f, 3f\dots$, observar-se-á a régua aparentemente quieta em 2, 3... posições diferentes da sua oscilação.

A frequência do estroboscópio, F , pode ser modificada com o potenciómetro (que pode dar várias voltas) da parte superior do aparelho, e ser medida com o multímetro actuando como frequencímetro. Para tal, coloque o selector do multímetro na posição "Hz" e ligue as duas sondas aos terminais preto e vermelho na parte traseira do estroboscópio.

A fonte de alimentação do estroboscópio é ligada à rede eléctrica, e a sua saída (12 V) à parte traseira do aparelho.

Para se melhorar o contraste de observação, o bordo da régua está pintado de branco, e convém que se observe sobre um fundo escuro. Dispõe de uma cartolina preta que pode dobrar e colocar por debaixo e detrás da régua, do outro lado do estroboscópio, tal como apresentado na fotografia.

Dado: A precisão do frequencímetro, na gama até 99,99 Hz, é de $\pm 1,5\%$ da leitura no ecrã.

Comentários e conselhos:

- A oscilação real da régua é amortecida, isto é, a amplitude de oscilação reduz-se paulatinamente até que a régua pare na sua posição de equilíbrio. Por isso, quando F coincidir com f , a régua não será observada totalmente quieta, mas sim a aproximar-se lentamente da sua posição de equilíbrio.
- A régua deve estar bem colocada entre as duas partes da peça de fixação de alumínio, bem dentro da ranhura da parte inferior desta peça. Assegure-se ainda que a parte superior da peça fica bem paralela à inferior, para que a régua esteja uniformemente fixa em toda a sua largura.
- Para evitar vibrações espúrias, o grampo deve ser colocado de modo a garantir que a peça de alumínio esteja bem fixa à mesa.
- Quando não estiver a efectuar medidas, desligue a alimentação do estroboscópio, para evitar que ele sobreaqueça ou que a sua luz incomode outros participantes.
- O multímetro desliga-se automaticamente após alguns minutos de funcionamento. Para voltar a ligá-lo, basta pressionar a tecla amarela ("Mode").

Questões.

- a) Para um comprimento livre da régua $L = 14,0$ cm, encontre e anote todas as frequências de iluminação, $F_1, F_2, F_3\dots$ para as quais se observa a régua quieta numa ou em duas posições. Varra toda a gama de frequências do estroboscópio (aproximadamente entre 6 e 50 Hz). De todas estas frequências, qual a frequência f de oscilação da régua? (2 pontos)
- b) Faça uma série de medições da frequência f de oscilação da régua em função do seu comprimento L , entre $L_{\min} = 10,0$ cm e $L_{\max} = 22,0$ cm. (2 pontos)
- c) A partir das medições anteriores, e recorrendo ao gráfico e ajuste que considerar oportunos, obtenha o valor do expoente n na equação (1). (2 pontos)
- d) Determine o valor da constante K da régua recorrendo ao gráfico e ajuste que considerar oportunos, e tendo em conta que n deve ser um número inteiro ou semi-inteiro. (2 pontos)
- e) Estime a incerteza desta constante, ΔK . (2 pontos)