Diferenciação de materiais baseada em medições de densidade

Aplicação a sólidos

Química – 12º Ano

Plásticos, vidros e novos materiais
Actividades de Projecto Laboratorial

Maio 2018

Jorge R. Frade, Ana Teresa Paiva
Dep. Eng. Materiais e Cerâmica
Universidade de Aveiro

1. Objectivos:

- Identificar os princípios da medição de densidade de sólidos com base no método de Arquimedes.
- Distinguir diferentes materiais (metais, cerâmicos, vidros, rochas, polímeros) em função da sua densidade
- Medir a porosidade de materiais (cerâmicos, rochas porosas, etc.).

2. Fundamentos

A importância da densidade dos materiais nas suas aplicações é facilmente compreendida se considerarmos o caso de materiais para os meios de transporte (avião, comboio, automóveis, bicicletas,…), equipamentos de desporto (raquetes de ténis, sapatilhas, …), etc. Por isso, a densidade é um dos principais parâmetros da selecção de materiais. Os diferentes tipos de materiais podem ser ordenados de acordo com a seguinte ordem de valores de densidade (Tabela I):

Polímeros < Vidros , Cerâmicos, Rochas < Metais

Este ordenamento reflecte diferenças nos principais elementos constituintes, nos tipos de ligação e nos empacotamentos atómicos característicos da estrutura os materiais. Nos polímeros predominam elementos leves, designadamente o (C, H, N e O). Além disso, as suas ligações atómicas de tipo covalente são propensas à existência de empacotamentos atómicos pouco densos. Os cerâmicos são constituídos por elementos metálicos muito diversificados e elementos não metálicos tais como O, N ou C. A ligação é geralmente mista entre os tipos iónico e o covalente. Finalmente, a ligação metálica exclui geralmente a maioria dos elementos não metálicos leves e favorece empacotamentos muito mais densos. A diferenças de densidade entre diferentes metais relaciona-se com as massas atómicas dos elementos e com diferenças entre a estrutura mais compacta (cfc) e outras estruturas (hexagonal ou ccc). Por exemplo, as densidades do cobre (8,92), prata (10,5) e ouro (19,3) relacionam-se com as respectivas massas atómicas (63,54; 107,87 e 196,97 respectivamente). Contudo, a densidade do zinco (7,14) é menor do que a do cobre (8,92), contrariando a ordem das massas atómicas (65,37 para o Zn e 63,54 para o cobre). Tal deve-se a diferenças na estrutura que é cfc no caso do cobre e hexagonal no caso do zinco.

2.2. Massa específica de amostras mais densas do que água e sem porosidade

Os metais, cerâmicos, vidros e rochas são geralmente bastante mais densos do que a água e afundam nesse meio, excepto quando contêm elevada porosidade fechada. Para verificar se uma amostra de determinado material é mais densa do que água basta colocá-la num copo com água e verificar se afunda ou flutua. Uma amostra mais densa afunda completamente, enquanto que a amostra menos densa flutua.

Entende-se por massa específica a massa por unidade de volume,

$$\rho = m/V \qquad (1)$$

sendo ρ a massa específica, m a massa da amostra e V o seu volume. Contudo, é mais

frequente referir a densidade, como critério de comparação entre diferentes materiais. A densidade designa a razão entre a massa específica do material e a massa específica da água à temperatura ambiente ($\rho_{água}$=1g/cm3), isto é:

Densidade = $\rho / \rho_{água}$ (2)

De acordo com a equação 1, a massa específica pode ser determinada usando uma pesagem e uma medição do volume da amostra. Contudo, tal medição de volume pode estar sujeita a grandes erros, nomeadamente se for baseada em medições das dimensões, mesmo que a forma geométrica da amostra seja bastante simples (p.e. um cubo ou esfera). Felizmente, o método de Arquimedes permite medições bastante rigorosas mesmo quando a forma da amostra é muito irregular: Este método baseia-se numa combinação da pesagem da amostra em ar

$m = V \rho$ (3)

com uma segunda pesagem efectuada com impulsão em água (conforme se representa na Figura 1). Neste caso:

$m' = V \rho - V \rho_{água}$. (4)

Combinando estas equações obtém-se:

$V = (m - m')/ \rho_{água}$. (5)

$\rho = \rho_{água}\, m/(m-m')$. (6)

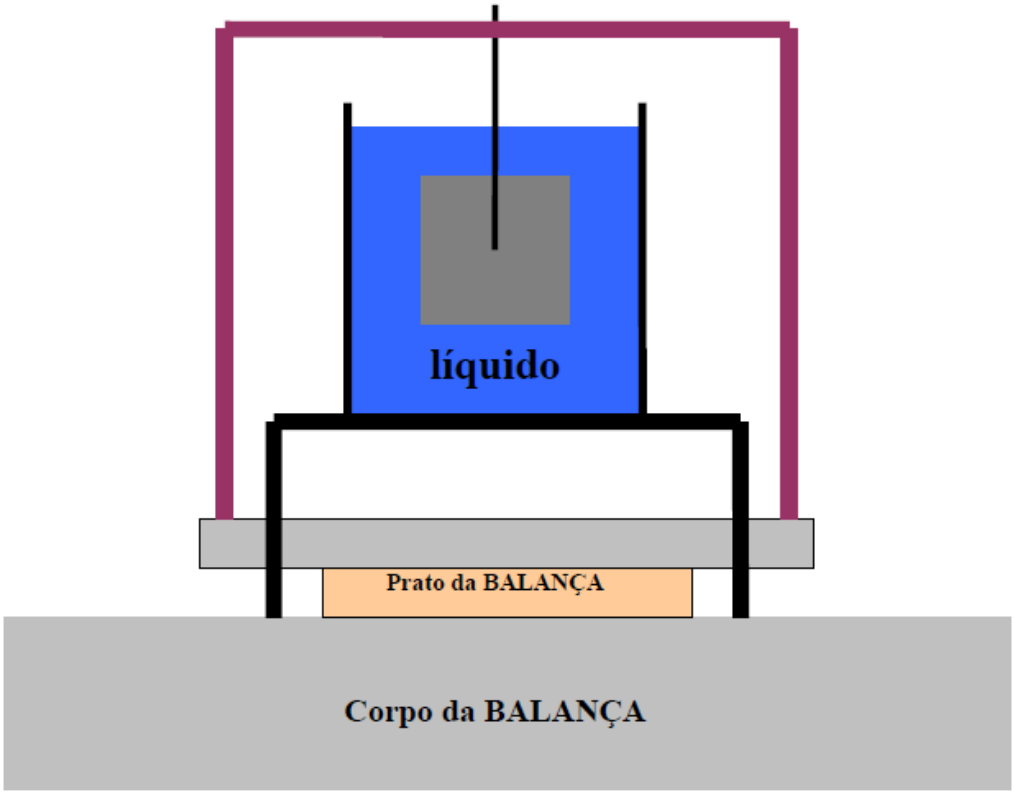

Figura 1: Representação da pesagem com impulsão em água.

2.3 Massa específica real e aparente de amostras porosas

Muitos dos materiais usados em isolamento térmico ou acústico possuem elevada porosidade de modo a torná-los "leves" e a assegurar melhor isolamento. Grande parte dessa porosidade é aberta, isto é, permite a entrada de ar e de água. Este efeito permite determinar a porosidade dos materiais, com base em três pesagens, realizadas de acordo com a metodologia abaixo descrita.

A 1ª pesagem é efectuada com a amostra seca, geralmente após ter sido seca em estufa a temperatura superior a 100ºC. Neste caso:

$$m = V(1-x)\ \rho \qquad (7)$$

sendo V o volume aparente da amostra, baseado na geometria externa, que compreende uma fracção de porosidade x e uma fracção de material sólido propriamente dito (1-x) e ρ a sua massa específica.

A 2ª pesagem é efectuada com impulsão em água. Esta pesagem corresponde à diferença entre o peso da amostra e a impulsão, isto é:

$$m' = V(1-x)\ \rho - V\ (1-x)\ \rho_{\text{água}} \qquad (8)$$

Note-se que esta pesagem deve ser efectuada com imersão completa da amostra! Para garantir que o água preenche eficazmente a porosidade recomenda-se um procedimento no qual a amostra em introduzida no água em ebulição e aí mantida durante cerca de 15 minutos, para garantir que ar é expulso do poros, sendo substituído por água e vapor. Posteriormente a amostra é transferida para água fria de modo a provocar condensação

do vapor.
A 3ª pesagem é efectuada com a amostra ensopada com água, isto é:

$m'' = V(1-x)\ \rho + V \times \rho_{água}$ (9)

Combinando estas pesagens obtém-se então:

$x = (m'' - m)/(m'' - m')$. (10)

$\rho = \rho_{água}.m/(m - m')$ (11)

Este valor de ρ representa a massa específica real do sólido, que é diferente da massa específica aparente, que se obtém dividindo a massa pelo volume aparente, isto é:

$\rho_{ap.} = \rho_{Liq}.m/(m'' - m')$ (12)

2.4. Massa específica de amostras não-porosas menos densas do que água

Muitas madeiras e alguns polímeros artificiais são menos densos do que a água, inviabilizando o método proposto em 2.2. Será então necessário usar um objecto auxiliar mais denso do que a água, de modo a forçar o afundamento da amostra. O método proposto compreende as seguintes pesagens: i) a habitual pesagem da amostra seca ($m=V\rho$), ii) a pesagem do conjunto da amostra com o objecto auxiliar denso, mantendo o conjunto completamente imerso e em condições de impulsão com água (m''') e iii) a pesagem do objecto auxiliar denso com impulsão (m'_{aux}). A pesagem do objecto auxiliar com impulsão permite descontar a sua contribuição na pesagem com impulsão do conjunto da amostra com o objecto auxiliar denso, isto é:

$m''' - m'_{aux} = V\ \rho - V\ \rho_{água}$ (13)

Combinando esta equação com a equação 3 obtém-se:

$$\rho = \frac{m\rho_{água}}{(m + m'_{aux} - m''')} \quad (14)$$

3. Materiais, reagentes e equipamento

- Balança, preferencialmente com precisão de $\pm$ 0.01 g (ou melhor)
- Amostras de diferentes materiais, incluindo amostras densas e amostras porosas
- Placa de aquecimento ou resistência de preparação de bebidas quentes
- Copos de vidro
- Suporte rectangular com gancho para suspender amostras
- Haste de suspensão para as amostras com crocodilo ou outra forma de prender as amostras
- *Opcional: estufa a 110ºC*

4. Procedimento experimental

1. Seleccione um conjunto de amostras de diferentes materiais (polímeros, vidros, cerâmicos, metal, rochas, etc.), incluindo amostras de geometria irregular. Separe as amostras porosas das restantes. Registe características que permitam distinguir as suas amostras, tais como cor, forma, textura. (Nota: Pode também distinguir

amostras com diferentes símbolos, marcando-as com um objecto duro).
2. Verifique se cada uma das amostras se encontra seca, pese-a e registe a sua massa (m) na Tabela II.
3. Verifique que amostras flutuam em água e separe-as para um conjunto de amostras menos densas do que água. Registe as respectivas massas na Tabela IV.
4. Prepare a montagem da Figura 1 e tare a balança com a haste de suporte das amostras já imersa em água, em condições análogas à de realização das pesagens com impulsão.
5. Pese cada uma das amostras com impulsão em água, registe os resultados (m´) na Tabela II e calcule a densidade de cada amostra e o seu volume.
6. Seleccione um pedaço de vidro ou outro objecto mais denso do que a água, que utilizará como objecto auxiliar para promover o afundamento de amostras menos densas do que água. Efectue uma pesagem com impulsão desse objecto auxiliar e registe o valor ($m´_{aux}$) na Tabela IV. De seguida, efectue uma pesagem com impulsão para cada uma das combinações desse objecto auxiliar com uma amostra menos densa do que água, registe os resultados na Tabela IV e calcule os valores de densidade.
7. Reponha a balança em condições de pesagem normal e volte a pesar cada uma das suas amostras caracterizadas nas alíneas 2 a 6. Caso alguma das amostras registe aumento de peso superior a 2% separe-a das restantes para um conjunto de amostras porosas e copie os resultados da massa original (m) da Tabela II para a Tabela III.
8. Coloque cada uma das amostras porosas num copo com água, aqueça até à ebulição e mantenha em ebulição durante pelo menos 15 minutos. De seguida, transfira as amostras para um copo com água fria, com a ajuda de uma pinça.
9. Retire uma amostra porosa do copo contendo água fria remova gotas pendentes e pese a amostra ensopada com água. Registe o resultado na Tabela III e volte a colocar a amostra no copo com água fria.
10. Repita o passo 9 com cada uma das amostras porosas.
11. Repita a montagem experimental para pesagens com impulsão. Pese cada uma das amostras porosas com impulsão em água, registe os resultados na Tabela III e calcule a porosidade e os valores de densidade real e aparente de cada amostra.
12. *Opcional* (*Para turmas que tenham estufa à sua disposição)*

- *Seque as amostras porosas em estufa a 110ºC, durante 20 minutos.*
- *Prepare uma cópia da Tabela III com os valores das colunas m´ e m´´, pese novamente cada uma das amostras porosas previamente secas e registe a sua massa na coluna m. Repita os cálculos de porosidade e densidade real e aparente.*

Tabela I. Densidade de alguns polímeros termoplásticos e de outros materiais

Polímeros	Densidade
Polietileno de baixa densidade (LDPE)	0,91 a 0,93
Polietileno de elevada densidade (HDPE)	0,94 a 0,97
Polipropileno	0,88 a 0,91
Poli-cloreto de vinilo (PVC)	1,3 a 1,6
Poliestireno	1,0 a 1,1
Poli- Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)	1,04 a 1,07
Nylon	1,1 a 1,2
Poliésteres	1,1 a 1,5
Vidro comum	≈2,5
Alumina (Al_2O_3)	≈3,9
Cerâmicos comuns	2,0 a 3,0
Rochas comuns	2,0 a 3,0
Ferro	7,86
Alumínio	2,70
Cobre	8,92
Zinco	7,14
Ouro	19,3

Tabela II: Tabela auxiliar para registos e cálculos de porosidade e massa específica.

Amostras	m (g)	m´ (g)	$V = \frac{(m - m')}{\rho_{água}}$	$\rho = \frac{m\rho_{água}}{(m - m')}$

Tabela III: Tabela auxiliar para registos e cálculos de porosidade e massa específica.

Amostras	m (g)	m´ (g)	m´´ (g)	$x = \frac{(m'' - m)}{(m'' - m')}$	$\rho = \frac{m\rho_{água}}{(m - m')}$	$\rho_{ap} = \frac{m\rho_{água}}{(m'' - m')}$

Tabela IV. Tabela auxiliar para registos e cálculos de massa específica de materiais menos densos que água.

Amostras	m (g)	m´´´ (g)	m'_{aux} (g)	$V = \frac{(m + m'_{aux} - m''')}{\rho_{água}}$	$\rho = \frac{m\rho_{água}}{(m + m'_{aux} - m''')}$