

# A importância da densidade

– mais do que meras curiosidades

MARIA FILOMENA CAMÕES

*“Brincar é condição fundamental para ser sério”*

Arquimedes (287-212 aC)

## EUREKA

*Um corpo, mergulhado total ou parcialmente num fluido, sofre, da parte deste, uma impulsão vertical, de baixo para cima, igual ao peso do volume de fluido deslocado.* É a Lei da Hidrostática, descoberta por Arquimedes, nascido na cidade-estado grega de Siracusa, na ilha da Sicília. Quando estava no banho, observando que ao mergulhar o próprio corpo na água da banheira, ela subia e transbordava, ocorreu-lhe a resolução da questão que lhe tinha sido levantada pelo rei Hierão, sobre a autenticidade do ouro da coroa que tinha encomendado a um joalheiro. Terminada a obra, o rei desconfiou que o ourives o poderia ter enganado, trocando parte do ouro que lhe tinha entregue, por outro metal menos nobre. Numa experiência em que mergulhou separadamente a coroa e massas iguais de ouro e de prata, Arquimedes verificou que cada um dos objectos deslocava volumes de água diferentes, menos o ouro, mais a prata, e a coroa deslocava um volume intermédio, o que provava a fraude. A densidade absoluta, ou massa volúmica, do ouro é  $19,5 \text{ g/cm}^3$  e a da prata é  $10,49 \text{ g/cm}^3$ ; logo 1 kg de ouro ocupa e desloca o volume de  $51,3 \text{ cm}^3$  e 1 kg de prata ocupa e desloca  $95,3 \text{ cm}^3$ . Saindo para a rua, nu, gritou EUREKA (palavra grega significando “encontrei”)

## Os pesos das massas

A massa,  $m$ , de um corpo é uma propriedade intrínseca desse corpo, não

varia de local para local onde quer que o corpo se encontre. É uma grandeza escalar e a sua unidade é o quilograma, (abreviadamente, quilo) com o símbolo kg, definido inicialmente como “a massa de um decímetro cúbico de água na temperatura da sua maior massa volúmica, ou seja, a  $4,44^\circ\text{C}$ ” e mais tarde materializado por um cilindro de platina iridiada, com diâmetro e altura iguais a 39mm, guardado no BIPM (*Bureau International des Poids et des Mesures*, Sèvres-arredores de Paris), e do qual há réplicas nos países signatários, em finais do século XIX, da adopção do sistema métrico decimal – a Convenção do Metro, que viria a ser substituída pela adopção do Sistema Internacional de Unidades, SI, em 1960. O cilindro-padrão está sujeito a sofrer alteração da sua massa por acção de ataque físico e químico atmosférico ou pela acção de limpeza a que é submetido mensalmente; pode ainda vir a ser alvo de destruição por qualquer catástrofe natural, como tremor de terra ou por um incêndio. Por isso estão a ser desenvolvidos esforços no sentido de substituir este padrão material por um fenómeno natural, como já aconteceu para o metro. Embora dependentes uma da outra, massa e quantidade de matéria (ou quantidade de substância) de um corpo, não são a mesma coisa, já que esta se define em termos do número de moles, grandeza cuja unidade SI é o mol.

O peso de um corpo,  $\vec{P}$ , é a força de atracção gravítica exercida pela Terra sobre a massa desse corpo; é uma grandeza vectorial,  $\vec{P} = m \vec{g}$ , em que  $m$  é a massa e  $\vec{g}$  representa a aceleração da gravidade. O peso depende do sítio

onde está o objecto (o peso é seis vezes menor na Lua do que na Terra); a aceleração da gravidade na Terra ao nível do mar e à latitude de  $45^\circ$ , é aproximadamente igual a  $9,80665 \text{ m/s}^2$ . O peso normal do quilograma-padrão é 1 kgf; a unidade de força do SI é o newton, N ( $1 \text{ kgf} = (1 \text{ kg}) \times (9,80665 \text{ m/s}^2) \approx 9,81 \text{ N}$ ). Pesos são medidos com dinamómetros.

Apesar de serem grandezas diferentes, utilizam-se muitas vezes no dia-a-dia os termos massa e peso como se fossem sinónimos. Em linguagem coloquial uma pessoa diz, por exemplo, que “pesa 70 quilos”, quando de facto 70 kg é o valor da sua massa avaliada numa balança. O seu peso vale  $70 \times 9,8 \approx 700 \text{ N}$ . São hábitos de linguagem difíceis de alterar, já que até historicamente, o nome do BIPM (Instituto Internacional de Pesos e Medidas) é em si uma redundância.

Massas são determinadas com balanças e a operação de determinação de uma massa chama-se uma pesagem. Numa pesagem compara-se o peso de massas marcadas (também conhecidos por “pesos”) com o peso do objecto cuja massa se quer determinar, ambos sujeitos ao mesmo efeito da gravidade. Corpos de massas iguais, pesados no mesmo local, deveriam ter pesos iguais. No entanto, o facto de ocuparem volumes diferentes, faz com que recebam do ar impulsões (de baixo para cima) diferentes, logo afectando o valor da massa medida; para fins de grande exigência é possível fazer correcção da pesagem ao vácuo, em que não há impulsão (as correcções são geralmente da ordem de partes por milhão, ppm).



Figura 1 Quilograma-padrão internacional

### Qual é mais pesado, 1 kg de ferro ou 1 kg de algodão?

Esta é uma adivinha tradicional, da qual se espera que, instintivamente, um interlocutor desprevenido opte pelo ferro. No entanto, um interlocutor avisado, defraudando o objectivo lúdico da pergunta, pensando que a massa de 1 kg é sempre a mesma seja de que material for, tenderá a responder orgulhosamente “pesam o mesmo”! Mas um e outro, tanto poderão estar certos como errados.

De facto, para iguais massas, o algodão ocupa, normalmente, um volume muito superior ao do ferro, e para volumes iguais de ferro e de algodão, a massa deste é menor, dando a sensação de maior leveza. Normalmente, um objecto com maior tamanho tem mais massa e, portanto, mais peso. Mas nem sempre é assim! Só é verdade para objectos feitos do mesmo material. Um objecto feito de outro material pode ser mais pequeno e pesar mais: dizemos que a massa é maior mas está concentrada num volume menor; o objecto diz-se mais denso. A mesma massa em volumes diferentes corresponde a massas diferentes por unidade de volume,  $\text{g/cm}^3$ . O ferro ocupa menos espaço que algodão em igual quantidade, porque é mais denso.

Quando pesados no ar, o algodão desloca um maior volume de ar, logo recebe dele uma maior impulsão que o ferro. A resultante da força de atracção gravítica, de cima para baixo (que é a mesma para ambos), e da impulsão é menor para o algodão. Então o algodão sempre pesará menos. Mas, pesados no vácuo, sem impulsão, pesariam o mesmo!

### O gelo flutua na água

A massa volúmica da água atinge o seu máximo a  $4,44^\circ\text{C}$ ; aí a água está no estado líquido e as moléculas têm o mais alto grau de ordenação tetraédrica, consequência das ligações por pontes de hidrogénio. Continuando a arrefecer, a água passa ao estado sólido a  $0^\circ\text{C}$ , formando gelo, de estrutura hexagonal, com o volume a aumentar cerca de 9%. Para massas iguais de gelo e de água, aquele ocupa maior volume, logo tem menor densidade. É essa a razão pela qual, nos climas frios, em que a água pode gelar nos canos das condutas, se corre o risco de rebentamento das canalizações. É graças a esta particularidade que os peixes e plantas de lagos e rios que congelam não morrem, pois a água continua líquida enquanto a camada de gelo que se forma à superfície funciona como uma barreira de protecção contra o frio. É também essa a razão pela qual

a regra geral de conservação de amostras de águas ambientais, é a manutenção no frigorífico, a temperatura baixa,  $4^\circ\text{C}$ , sem congelação. Assim, diminui-se a velocidade de eventuais reacções químicas, sem, no entanto, se correr o risco de rebentamento de membranas de seres vivos unicelulares presentes, o que levaria à introdução de novas substâncias, com alteração da composição das águas a analisar. É também por isso que os cozinheiros recomendam a congelação de polvo (da rena dos países nórdicos, etc.) antes de o cozinhar, para que o rebentamento de membranas o torne mais tenro à mastigação!

### Cuidado com as aparências

Há valores de densidade que todos temos memorizados, por exemplo, nas condições normais de pressão e temperatura, a densidade da água é 1, a densidade do mercúrio é 13,6 e a densidade do ar ao nível do mar é aproximadamente 0,0012 (a  $20^\circ\text{C}$ , 1013,25 mbar e 50% de Humidade Relativa). Estes valores, por serem os da densidade relativa à água, de densidade absoluta ou massa volúmica  $1\text{g/cm}^3$ , representam também a massa da unidade de volume daqueles materiais, sejam eles uma substância pura (ex: ouro, prata, água, mercúrio) ou uma mistura de substâncias (ex: ar, uma solução aquosa).

Pense-se, por exemplo, no soro fisiológico, que é uma solução aquosa de cloreto de sódio, NaCl, de composição aproximadamente  $0,9\text{ g/100 cm}^3$ , significando isto que em  $1\text{cm}^3$  de solução existem 0,009 g de soluto, NaCl. Embora as unidades em que se exprime a composição e a densidade absoluta ou massa volúmica do sistema material (solução aquosa de cloreto de sódio) sejam as mesmas,  $\text{g/cm}^3$  (ou múltiplos ou submúltiplos destas, ex:  $\text{mg/}\mu\text{L}$ ), é patente que os valores numéricos respectivos são muito diferentes, pois que se trata de grandezas com significados físicos diferentes. A mesma solução tem uma composição de  $0,009\text{ g/cm}^3$ , i. e. 0,009 g de soluto, NaCl, por unidade de volume de solução, e uma densidade absoluta aproximada\* de  $1,009\text{ g/cm}^3$ , i. e, cerca de 1,009 g de solução\*, por unidade de volume de solução.

## O significado físico das relações algébricas

O processo de produção industrial de sulfato de um determinado metal, passa pela formação de uma mistura binária de sulfato e óxido desse metal. Sendo substâncias diferentes, têm densidades diferentes,  $d_{\text{sulfato}}$  e  $d_{\text{óxido}}$ , respectivamente, e a densidade da mistura binária,  $d_{\text{mistura}}$ , varia proporcionalmente, aumentado com a quantidade relativa,  $x$ , do mais denso,

$$x_{\text{sulfato}} = m_{\text{sulfato}} / (m_{\text{sulfato}} + m_{\text{óxido}});$$

$$x_{\text{óxido}} = m_{\text{óxido}} / (m_{\text{sulfato}} + m_{\text{óxido}});$$

$$x_{\text{sulfato}} + x_{\text{óxido}} = 1.$$

Algebricamente é

$$d_{\text{mistura}} = x_{\text{sulfato}} d_{\text{sulfato}} + x_{\text{óxido}} d_{\text{óxido}} =$$

$$= x_{\text{sulfato}} d_{\text{sulfato}} + (1 - x_{\text{sulfato}}) d_{\text{óxido}} =$$

$$= x_{\text{sulfato}} d_{\text{sulfato}} - x_{\text{sulfato}} d_{\text{óxido}} + d_{\text{óxido}} =$$

$$= x_{\text{sulfato}} (d_{\text{sulfato}} - d_{\text{óxido}}) + d_{\text{óxido}},$$

onde  $m$  representa a massa da substância indicada.

Medições de densidade da mistura, na linha de produção, são utilizadas para o controlo de qualidade do produto. Posterior avaliação laboratorial permite comprovar esta relação linear,  $d_{\text{mistura}}$  vs.  $x_{\text{sulfato}}$ . Acontece que numa certa linha de produção, a determinada altura, a relação deixou de se verificar, não tendo os especialistas internos encontrado, para isso, qualquer razão plausível. Repetiram análises, realizaram experiências, planearam investigações, designadamente tomaram uma amostra, diluíram-na em água destilada e desmineralizada, ensaiaram as várias soluções diluídas e aí sim, “estranhamente” encontraram a desejada dependência linear. Persistindo o “enigma”, resolveram recorrer a opiniões de fora, de alguém não viciado na situação, que não estivesse bloqueado num raciocínio sem saída: “Quando os sábios da casa não sabem a resposta, pergunta-se a sábios de fora”.

Colocada perante o “problema”, o comentário imediato foi “Se a relação não é linear, é porque a mistura não é binária e há alguma contaminação” e os testes com uma mesma amostra em diferentes diluições só o comprovam, pois que ao diluir se dilui tudo mantendo as proporções; é como se se tivesse uma

mistura binária, o solvente por um lado e a mistura de solutos por outro. Testes efectuados em amostras-cegas, de imediato suportaram a conclusão, pois que foi encontrada contaminação de cloreto do metal. A amostra tinha três, em vez dos dois constituintes esperados. Postos perante a situação, os “donos do problema” reconheceram que, de facto, estavam a utilizar no processo água de um poço com influência de marés, o único reagente de qualidade não controlada!

## Sobe-sobe balão sobe

Os balões sobem quando estão cheios com um gás que é mais leve que o ar atmosférico e a impulsão é superior ao peso. Por isso se enchem com ar quente, logo rarefeito, ou com gás engarrafado. Sendo o hidrogénio o gás mais leve, poderia parecer a opção lógica desse ponto de vista. Mas o facto de serem explosivas as misturas de hidrogénio com oxigénio, impede essa possibilidade, que está inclusivamente proibida por lei. Recomenda-se então o gás inerte mais leve, ou seja o hélio. Assim o exige a lei e assim se evitam acidentes que de tempos a tempos surgem reportados, por utilização inconsciente, ou descuidada de um gás mais leve e mais barato...

## Regras de segurança

Certa vez recebi um telefonema, em que pessoa credenciada me pedia se lhe podia analisar uma solução, da qual havia indicações que poderia ser de um sal de mercúrio. Em data apazada, recebi do transportador da amostra um frasco de cerca de um litro, embrulhado profusamente em papéis de jornal. Foi-me pedido se podia retirar apenas uma parte para a análise, no que concordei. Ao pegar, tive a sensação de “pesado”. Por isso, instintivamente, muni-me de um frasco volumétrico, pesei vazio e cheio, registei e guardei na chaminé, até ter oportunidade de analisar. Tratava-se de um líquido castanho escuro, bastante volátil. Para ser um sal de mercúrio teria que ser uma solução extremamente concentrada. Consultando tabelas de solubilidade em diferentes solventes, dificilmente encontrava expli-



**Figura 2** Gás hélio, não inflamável, acondicionado em cilindros, para enchimento de balões

cação para o elevado valor de massa de solução registado. Um mês mais tarde, tentativa de verificação por análise química qualitativa da presença de iões de mercúrio, deu resultado negativo. De repente ocorreu-me o valor da densidade,  $3,12 \text{ g/cm}^3$ ; tratava-se de bromo líquido, substância de enorme perigosidade:



Frases R: 26-35-50 Frases S: 7/9-26-45-619

Tinha sido uma “carta-bomba”. São os riscos escondidos da profissão...

## Nota

\*em rigor,  $1 \text{ cm}^3$  de solução aquosa que contenha  $0,009 \text{ g}$  de soluto, tem menos do que  $1 \text{ g}$  de água, pelo que o conjunto pesará ligeiramente menos que  $1,009 \text{ g}$