

Estas moedas que nos enganam

Luis Peralta¹, Florbela Rêgo², Maria do Anjo Albuquerque³

1. Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências

2. Escola Secundária de Vendas Novas

3. Escola Secundária de Casquilhos, Barreiro

“Nem tudo o que luz é ouro”, lá diz o ditado popular. A superfície pode esconder um interior bem diferente. Se perguntarmos a alguém se sabe de que são feitas as moedas de 1, 2 ou 5 cêntimos de euro é provável que nos respondam que são de cobre. De facto, a sua superfície é coberta com esse metal, mas o seu interior esconde uma realidade diferente. Uma peça em cobre não será atraída por um vulgar íman, e contudo as moedas de cêntimos são atraídas pelos ímanes. A partir de uma experiência simples de medição da densidade (massa volúmica) das moedas podemos tentar inferir a sua verdadeira composição, se dispusermos da informação de que a superfície das moedas é bastante fina e que estas são fabricadas com um único metal. Para confirmarmos a suspeita de que as moedas de 1, 2 ou 5 cêntimos são fabricadas em ferro (de facto em aço) [1,2] e não em cobre ou numa liga, necessitamos que a nossa medição da densidade seja feita com uma incerteza pequena (digamos 1% a 2%).



Fig. 1 - Proveta graduada e moedas.

Se é fácil obter uma medida da massa de um conjunto de moedas com uma incerteza inferior a 1%, já o mesmo não é verdade para a medida do volume das moedas. Para um corpo com uma forma irregular (as moedas não são exactamente cilindros por causa do relevo) o método mais simples é o conhecido método da determinação do volume de um corpo sólido pela sua imersão num líquido. Esta é uma experiência que, em geral, pode ser realizada por alunos do ensino básico ou secundário, conduzindo normalmente a valores aproximados do volume do corpo. Nas escolas dispomos habitualmente de uma proveta graduada com diâmetro suficiente para a introdução de pequenos corpos, onde colocamos uma quantidade conhecida de um líquido, que em geral será água. De seguida, mergulhamos cuidadosamente o corpo, para evitar os salpicos de água e conseqüente perda de volume inicial, e medimos na escala da proveta o volume final obtido. A diferença entre os valores dos volumes final e inicial fornece-nos o valor do volume do corpo.

Esta é uma técnica simples, mas que tem limitações óbvias no que diz respeito à forma como são obtidos os valores dos volumes. A determinação do volume é feita a partir da leitura da posição do menisco formado na superfície do líquido. Se admitirmos que o volume inicial é conhecido com uma incerteza pequena – por exemplo, igual ou menor que metade da menor divisão da escala da proveta – dado que podemos acertar a posição do menisco com razoável rigor com um dos traços da escala, já o mesmo não se passa com o valor do volume final. Nesse caso, a posição do menisco ficará geralmente situada entre dois traços, dificultando a medição. A incerteza na medida do volume do corpo poderia diminuir de uma forma significativa se conseguíssemos obter uma melhor leitura do valor do volume final, o que seria conseguido se o menisco coinci-

disse com uma marca da proveta. E é este pequeno pormenor que nos propomos a melhorar. Vamos admitir que dispomos de uma pipeta graduada com um volume pelo menos igual ao volume correspondente à menor divisão da escala da proveta, e que a enchemos com um volume conhecido do mesmo líquido que se encontra na proveta. Se a posição do menisco na proveta se situar entre duas marcas da escala, poderemos descarregar um pouco do conteúdo da pipeta até que o menisco atinja a marca mais próxima, tornando a medida efectuada na proveta mais rigorosa. O volume que teremos que descontar ao valor final é-nos dado pela pipeta, onde temos uma incerteza menor. Podemos de certa forma dizer que acrescentámos uma escala secundária (uma espécie de nónio) à proveta. A incerteza sobre a medida do volume do corpo introduzido na proveta depende, no essencial, da incerteza na posição do menisco e que, numa medida efectuada de forma cuidadosa, admitiremos ser igual ou da ordem do valor do volume subentendido pela espessura do traço na proveta. Essa incerteza será contada duas vezes dado que colocamos o menisco sobre um traço da proveta no início e no final do procedimento (numa leitura vulgar seria contabilizado apenas uma vez, quando começamos por colocar o líquido na proveta).

Para testarmos o método escolhemos material de laboratório relativamente vulgar. Para medir a massa das moedas usámos uma balança digital com uma precisão de 0,01 g; para medir o volume, uma proveta de 50 ml, cuja menor divisão da escala era de 1 ml; e uma pipeta de 1 ml, cuja menor divisão da escala era de 0,01 ml. Reunimos um conjunto de 30 moedas de 2 cêntimos mais 15 moedas de 5 cêntimos, cuja massa total medida foi de $150,95 \pm 0,01$ g. Usando o método descrito, obtivemos para as moedas um volume medido de $19,2 \pm 0,2$ ml, onde admitimos que o volume correspondente à espessura do traço da proveta corresponde a 1/10 da menor divisão da escala, ou seja 0,1 ml. Conseguimos assim uma incerteza pelo menos três vezes menor do que o que seria expectável numa medida de volume com esta proveta. O valor obtido da densidade foi assim igual a $7,86 \pm 0,08$ g/cm³.

Comparando o valor obtido para a densidade com o valor da densidade de metais de uso corrente (Tabela 1), concluímos que ele é completamente compatível com o valor da densidade do ferro, ou da maioria dos aços. Claro que o revestimento em cobre é a forma de impedir que a moeda enferruje, permitindo que o relevo da moeda permaneça visível. Podemos contudo perguntar: por que não é então a moeda exclusivamente feita em cobre? A resposta parece ser meramente económica. Em Dezembro de 2010, o preço do cobre era aproximadamente de 6,9 euros por quilograma [3]. Por exemplo, uma moeda de 2 cêntimos em cobre, com uma massa aproximada

de 3,5 g, teria um preço de 2,4 cêntimos, maior que o valor facial da moeda.

Tabela 1 - Densidade (em g/cm³) de alguns metais de uso corrente.

Elemento	Densidade	Elemento	Densidade
Alumínio	2,70	Níquel	8,91
Zinco	7,13	Cobre	8,96
Estanho	7,23	Prata	10,49
Manganésio	7,44	Chumbo	11,35
Ferro	7,87	Tungsténio	19,25

No programa do ensino secundário uma das actividades práticas obrigatórias é o estudo das propriedades físicas das substâncias, em que a densidade é uma dessas propriedades analisadas [4].

No caso de corpos sólidos irregulares, são abordados diversos métodos para a determinação da densidade, como por exemplo a determinação com uma balança e uma proveta, a determinação com um picnómetro (para sólidos), e a determinação pelo método de Arquimedes usando a balança hidrostática.

O método mais simples e menos rigoroso é o da determinação com a balança e a proveta, sendo geralmente elevadas as incertezas obtidas nas medidas feitas pelos alunos. Relativamente aos picnómetros para sólidos, que permitem determinações mais rigorosas, os existentes nas escolas normalmente só permitem medir a densidade de pequenos corpos, o que limita o tipo de objecto que pode ser analisado.

Para verificarmos que o método proposto funciona em sala de aula, realizámos a actividade numa turma do 10º ano da Escola Secundária de Vendas Novas e numa turma do 10º ano da Escola Secundária de Casquilhos, Barreiro. Começou-se por colocar aos alunos a questão do que eram feitas as moedas de 1, 2 e 5 cêntimos de euro. Na maioria dos casos, a reacção foi a esperada: a resposta era óbvia, elas eram feitas de cobre. Assim, foi-lhes proposto que através da determinação da propriedade densidade (propriedade conhecida e tabelada), chegassem a uma conclusão quanto à constituição das moedas.



Fig. 2 - Grupo de alunas usando uma pipeta para ajustar a posição do menisco na proveta.

A primeira tarefa foi a de procurarem nas tabelas existentes *online* quais as densidades dos metais mais comuns, incluindo o cobre. Depois, as turmas foram divididas em grupos que utilizavam moedas de 1, 2 ou 5 cêntimos de euro e aplicavam a técnica anteriormente descrita para a determinação do seu volume e, posteriormente, a sua densidade. Utilizaram-se balanças com incertezas de 0,01 g, provetas em que a menor divisão da escala era 1 ml e pipetas cuja menor divisão da escala era de 0,01 ml. Os valores obtidos por vários grupos de alunos oscilaram entre 7,8 e 8,0 g/cm³ para a densidade das moedas, variação esta que mostra que, com este método, os alunos são capazes de extrair um resultado dentro da incerteza prevista. Confrontados com os resultados, os alunos verificavam que o valor obtido não correspondia ao valor da densidade do cobre, mas aproximava-se muito da densidade de um metal de uso corrente – o ferro. Só então lhes era explicado que as moedas são constituídas no seu interior por ferro e que depois são revestidas com uma fina camada de cobre.

Foi ainda proposto aos alunos que determinassem a densidade de moedas de 1 e 2 cêntimos utilizando o picnómetro para sólidos [5] com capacidade para 500 ml, instrumento que, teoricamente, permite obter um resultado com uma incerteza menor. Os resultados obtidos por vários grupos de alunos oscilaram entre 7,64 e 7,88 g/cm³ – na prática, uma variação da mesma ordem de grandeza que a obtida com o método proveta mais pipeta.

Concluimos assim que, do ponto de vista prático, em sala de aula, o método da medição da densidade com proveta mais pipeta é competitivo com o método mais rigoroso da medição da densidade através da utilização do picnómetro. Acresce ainda que, do ponto de vista pedagógico, o método da proveta mais pipeta apresenta vantagens adicionais. Desde logo, permite a determinação da densidade de objectos de uso corrente de maiores dimensões que as permitidas pelos picnómetros. O valor da densidade é directamente obtido a partir da sua definição, enquanto que com o picnómetro obtém-se uma densidade relativa. E, finalmente, não é menos importante a fácil manipulação pelos alunos dos instrumentos de medida.

Referências

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Euro_coins
- [2] http://www.incm.pt/site/area_euro_moedas.html
- [3] <http://www.metalprices.com/FreeSite/metals/cu/cu.asp>
- [4] H. Caldeira e I. P. Martins, Programa de Física e Química A, 10º ou 11º anos, Ministério da educação: Departamento do ensino secundário (2001) http://www.dgidec.min-edu.pt/recursos/Lists/Repositrio%0Recursos2/Attachments/224/fisica_quimica_A_10.pdf
- [5] Caderno de Actividades Laboratoriais, Jogo de Partículas, Química 10º ano, L.S. Mendonça, M.C. Dantas e M.D. Ramalho, Texto Editora (Lisboa, 2003)