Hidrostática: de Arquimedes a Jefferson

Michael Fowler

Detecção de Crimes de Alta Tecnologia, versão 1.0

Começamos este texto em Siracusa, Sicília, há 2200 anos, com Arquimedes e o seu amigo o rei Heiro. O texto seguinte é uma citação de Vitrúvio, um engenheiro e arquitecto Romano que viveu pouco antes de Cristo:

> *Heiro, depois de ganhar o poder real em Siracusa, resolveu, como consequência do sucesso das suas explorações, colocar num certo tempo uma coroa de ouro dedicada aos deuses imortais. Ele contratou o serviço a um preço fixo e forneceu o peso exacto de ouro ao fabricante. No prazo combinado, o fabricante entregou , para satisfação do rei, uma bela obra de arte com excelentes acabamentos, e o peso parecia corresponder à exacta quantidade de ouro fornecida.*
>
> *Mas posteriormente foi feita uma acusação de que uma parte do ouro tinha substituído por peso equivalente de prata. Heiro, sentindo-se ultrajado e enganado, e sem saber como detectar o roubo, pediu a Arquimedes para pensar no caso. Este último, enquanto pensava no assunto, foi tomar banho, e ao entrar na banheira observou que à medida que o seu corpo mergulhava na água, mais água transbordava. Vendo que aí residia a chave para a resolução do caso, Arquimedes saiu a correr para casa eufórico e nu, gritando em alta voz que tinha encontrado o que procurava; pois enquanto corria gritava repetidamente, "Eureka, Eureka.".*
>
> *Considerando este episódio o início da descoberta, diz-se que ele fez duas massas com o mesmo peso da coroa, uma de ouro e outra de prata. Depois de as fazer, encheu um grande recipiente com água quase até transbordar e mergulhou nele a coroa de prata. O volume de água que transbordou foi igual ao volume da coroa de prata. De seguida, voltou a encher o recipiente com um medidor até ao nível anterior. E assim encontrou a correspondência entre o peso da prata e o volume de água.*
>
> *Após esta experiência, repetiu o procedimento com a massa de ouro e descobriu que a quantidade de água vertida era inferior: tanto quanto a diferença de volumes entre iguais massas de prata e ouro. Finalmente, reenchendo o recipiente e introduzindo a própria coroa em questão, descobriu que o volume de água vertida era superior ao da massa de ouro. E assim concluiu de forma clara que o fabricante tinha misturado ouro com prata no fabrico da coroa do rei.*

O que se passa aqui é simplesmente uma medição da *densidade* – a massa por unidade de volume – da prata, do ouro e da coroa. Para medir as massas usa-se um tipo qualquer de balança, notando que no início foi dada uma quantidade precisa de ouro ao fabricante. Claro que se tivesse um bloco rectangular de ouro, e soubesse o seu peso, não valia a pena usar água para medir a densidade, bastava calcular o volume medindo a sua altura, comprimento e largura e dividir pela massa, ou peso, em quilogramas, para achar a densidade em quilogramas por metro cúbico, ou nas unidades convenientes. (De facto, as unidades originais de densidade eram gramas por centímetro cúbico, pois nessas unidades a densidade da água é exactamente 1, uma vez que é essa a definição de grama (a 4 graus Celsius e à pressão atmosférica, para ser mais exacto). Nestas unidades, a prata tem uma densidade de 10.5 e o ouro de 19.3. Usaremos as unidades SI, portanto a água tem densidade 1000 kg/m^3, a prata 10500 kg/m^3, etc.

A dificuldade na medição da densidade da coroa através do volume é que a coroa tem uma forma complicada, e apesar de podermos sem dúvida achar o seu volume bocadinho a bocadinho, demoraria muito tempo e seria difícil se realizar com precisão. Enquanto que mergulhando a coroa em água e medindo o deslocamento da água é um procedimento muito mais fácil. (Tens que considerar o volume da corda ou fio!). De qualquer modo, a conclusão é que se a coroa deslocar mais água que um bloco de ouro com o mesmo peso, então a coroa não é feita de ouro puro.

Na realidade, há um aspecto da história surpreendente na versão contada por Vitrúvio. Repara que eles tinham uma balança disponível, e um recipiente adequado para mergulhar a coroa. Por isso não era necessário medir o volume de água deslocado. Bastava pesar a coroa dentro e fora de água. Pelo Princípio de Arquimedes, a diferença dos pesos é igual ao peso do volume de água deslocado. Este é definitivamente um procedimento mais simples – não é necessário encher o recipiente até ao bordo, basta garantir que a coroa está completamente submergida e não está presa nas paredes durante a pesagem.

Claro que talvez Arquimedes ainda não conhecesse o seu Princípio quando o rei se começou a preocupar com a coroa, talvez tenha sido esta experiência que o conduziu à sua formulação. Parece haver alguma confusão sobre este ponto da história.

Voltamo-nos agora para uma discussão e derivação do Princípio de Arquimedes. Para começar, é essencial compreender claramente o conceito de *pressão* num fluido.

Pressão

Talvez o modo mais simples de começar a pensar na pressão seja considerar o enchimento de um pneu de bicicleta com uma bomba manual. Empurrar o manípulo comprime o ar dentro do cilindro da bomba, aumentado a pressão – torna-se mais difícil comprimir ainda mais. A um certo ponto, o ar fica tão comprimido que consegue passar através da válvula para o pneu. Se empurrarmos ainda mais o ar flui do cilindro da bomba para o pneu. O ar exterior entra para o cilindro da bomba porque há, com efeito, uma outra válvula – a empurrarmos o manípulo há uma membrana que é empurrada dentro do cilindro e que suga o ar do exterior. Esta membrana de borracha flexível tem um disco metálico por trás de modo que não se pode dobrar em sentido contrário o suficiente para deixar o ar sair. No processo de retorno, o disco está do lado errado em termos de impedir o fluxo de ar, e portanto a membrana dobra-se permitindo a entrada de ar para o cilindro. À medida que continua a encher o pneu, este torna-se mais duro. À medida que a pressão aumenta, torna-se mais difícil encher porque é necessário comprimir mais o ar para que este consiga entrar no pneu. Isto não é surpreendente, porque a pressão dentro do pneu está a aumentar, e a válvula não abrirá enquanto a pressão no cilindro da bomba for inferior.

Se olhar para um pneu de bicicleta, verá provavelmente escrito algures a pressão apropriada, em PSI (libras por polegada quadrada). Um gás, por exemplo o ar, sob pressão empurra as paredes que o contêm com uma força constante, força essa proporcional à área das paredes, daí as unidades. Um pneu de dez velocidades típico terá à volta de 8 psi. (Em unidades do sistema métrico, 1 psi é igual a 6900 Newton por metro quadrado. Um modo fácil de memorizar esta equivalência é saber que a pressão atmosférica é cerca de 15 psi e 10^5 Newton por metro quadrado.) Isto significa que, se a sua bomba tiver um cilindro com secção recta interior de um polegada quadrada, precisa de exercer uma força de pelo menos oito libras para introduzir mais ar quando está completamente cheio. Claro que uma bomba com um cilindro mais estreito (a maioria delas!) necessitará de uma força proporcionalmente inferior, mas terá menos ar fornecido em cada vez.

Pode medir a pressão do ar num pneu usando um manómetro. A ideia base do manómetro é que quando o encosta à válvula do pneu, a válvula abre-se e deixa o ar sair para um pequeno cilindro com uma extremidade movível, e essa extremidade sente uma força igual à pressão no pneu (que é igual à pressão no cilindro) multiplicada pela área. Essa extremidade movível pode empurrar uma mola, com um dispositivo qualquer que a prenda quando atinge o deslocamente máximo para uma leitura mais fácil.

Podemos construir um dispositivo para medir a pressão, mais primitivo mas de mais fácil compreensão, colocando água num tubo em U. Suponha que deixa uma das extremidades do tubo aberta ao ar e a outra inserida dentro de um balão parcialmente cheio. Vemos que a pressão do balão empurra a água para baixo nesse lado, fazendo com que suba no lado oposto. Suponha que a água desce 0.1 m no lado do balão, pelo que sobe 0.1 m do outro lado. Qual é a pressão no balão? É claramente suficiente para suportar uma coluna de água com 0.2 m de altura. Para encontrarmos o valor da pressão, precisamos de saber quanto pesa a água. Um metro cúbico de água pesa 1000 kg. Imagine este metro cúbico numa caixa cúbica, com base quadrada, um por metro por um metro. Isso significa que a base tem um metro quadrado de área, e essa área está a suportar 1000 kg, portanto a pressão na base é aproximadamente 10000 Newtons por metro quadrado. Agora, o nosso manómetro, com um uma diferença de altura das colunas de água de 0.2 m está a indicar uma pressão de 2000 Newtons. Claro que este manómetro não será muito útil para medir a pressão de um pneu!

À medida que enche o balão, o elástico estica e a tensão elástica compensa o excesso de pressão do ar dentro do balão. Pode sentir o correspondente aperto no seu corpo respirando fundo, e assim aumentando a pressão nos seus pulmões. Um outro modo de sentir o aumento de pressão é mergulhando em águas profundas. A pressão debaixo de água aumenta com a profundidade. Podemos demonstrar isto facilmente com uma membrana de borracha esticada sobre um funil na extremidade de uma mangueira de borracha flexível ligada a um manómetro. Assim que imergimos o fúnil na água e o empurramos para o fundo, vemos a pressão medida no manómetro a aumentar. De facto, seria de esperar que se o colocarmos 6 centímetros debaixo de água, a pressão extra medida será de 6 cm extra de diferença de alturas entre os braços do manómetro. Isso seria verdade se tivéssemos um instrumento de medida mais preciso, mas como o nosso primitivo dispositivo a tensão da membrana de borracha afecta ligeiramente a medição: à medida que a borracha é empurrada para dentro do funil, a sua própria contribuição elástica para a pressão no interior varia. Felizmente, acaba por ser um efeito pequeno comparado com as pressões com que estamos a trabalhar, pelo que podemos ignorá-lo.

O ponto principal a notar é que a pressão aumenta *linearmente* com a profundidade, tal como esperado, porque é o peso da água acima de si, empurrando-o para baixo, que causa a pressão. Mas é crucial ter a noção de que a *pressão num fluido*, ao contrário do peso de um sólido, *se exerce em todas as direcções*. Considere novamente a caixa de um metro cúbico cheia de água. A pressão no fundo era cerca de 1,5 psi. Se a água congelar transformando-se num bloco de gelo, o peso do gelo na base será o mesmo. Mas considera agora uma pequena área num das paredes, junto ao fundo. A água também exerce pressão aí. SE tem dúvidas, pense no que aconteceria se fosse feito um buraco nesse sítio. Mas se a água congelar, podes remover todas as paredes que o bloco permanecerá imóvel. Portanto os fluidos são realmente diferentes na medida em que exercem pressão contra os recipientes que os contêm, ou contra objectos imersos neles.

Uma impressão mais vívida do aumento da pressão com a profundidade, e do modo como se exerce em todas as direcções, é dada pelo visionamento de filmes com submarinos, como o alemão “O Barco”. O submarino é forçado a mergulhar fundo para evitar ataques. À medida que desce, os rebites começam a saltar e a água entra por esses pequenos orifícios. E entra tão vigorosamente por um buraco no chão como no tecto – de facto até um pouco mais no chão devido à profundidade extra. A pressão está realmente em toda a volta. Como é que os peixes conseguem sobreviver nestas condições? A principal diferença, deste ponto de vista, entre peixes e submarinos é que o submarino é oco, e a pressão no interior é mantida a um nível tolerável para os humanos. Os rebites começam a saltar devido à *diferença* de pressão entre os dois lados das placas de metal que formam o casco. No peixe, pelo contrário, os fluidos corporais estão à mesma pressão que a água exterior. Claro que um pedaço de “carne” do peixe sente toda esta pressão à sua volta, mas seria preciso uma pressão muito maior para danificar um pedaço sólido de “carne” (a qual é constituído por água quase na sua totalidade, e a água é incompressível). Para um mergulhador humano ir a grandes profundidades, o gás nos pulmões tem de se ajustar aproximadamente à pressão do exterior. Isto pode ser feito. O problema surge porque a altas pressões o azoto dissolve-se mais facilmente no sangue. Quando o mergulhador regressa à superfície, a pressão desce, e o azoto reaparece na corrente sanguínea sob a forma de pequenas bolhas – exactamente o mesmo fenómeno responsável pelas bolhas de gás nas bebidas. Essas bolhas podem interromper a circulação sanguínea, causando fortes dores e podendo causar a morte. Portanto a subida à superfície tem de ser gradual, para evitar o súbito aparecimento de um grande número de bolhas. Os peixes têm mais cuidado nas subidas e descidas, mas aparentemente peixes apanhados a grandes profundidades e trazidos rapidamente à superfície padecem do mesmo mal.

Flutuação

Considere agora um objecto totalmente imerso em água, por exemplo um submarino. A água exerce pressão na sua superfície por todos os lados, por cima e por baixo. Repare que a pressão por baixo do submarino (quem empurra para cime) será *maior* que no topo (que empurra para baixo) simplesmente porque a parte de baixo está a uma profundidade maior e, como já foi discutido, a pressão varia linearmente com a profundidade. Portanto o efeito resultante das forças de pressão tende e *elevar* o submarino. A isto chama-se *flutuação*.

Para vermos quão forte é esta força de flutuação, imagine substituir o submarino por um submarino *fantasma* – um grande saco plástico cheio de água, sendo desprezáveis a espessura e peso do plástico. O saco tem o mesmo tamanho e forma do submarino. Então o saco tem de sentir a mesma pressão em cada ponto da superfície que o submarino sentia, dado que a pressão depende apenas da profundidade, pelo que a *impulsão* total sentida pelo saco é a mesma que a sentida pelo submarino. Mas o saco não irá subir nem descer, porque ele é parte da água – o saco em si pode ser tão fino quanto quiseres, e até poderíamos escolher um plástico com a mesma densidade que a água. Uma vez que não se move, *a força de impulsão que o empurra para cima tem de ser compensada pelo peso da água dentro do saco*. Mas dissemos que o submarino sentia a mesma impulsão, portanto a força que o submarino sente (para cima) é *também* igual ao peso do volume de água igual ao volume do submarino.

E este é o famoso **Princípio de Arquimedes**:

Um corpo imerso, ou parcialmente imerso, num fluido é actuado por uma força de impulsão ascendente *igual ao peso do volume de fluido deslocado.*

Isto significa que o peso de um barco, por exemplo, tem de ser igual ao peso do volume de água igual ao volume do barco abaixo da linha de água.

Galileu e o Princípio de Arquimedes

Galileu apreciou na sua totalidade a importância do Princípio de Arquimedes na compreensão da queda de corpos com pesos diferentes em meios com diferentes densidades. De facto, ele usa-o para deitar por terra a afirmação de Aristóteles de que um corpo dez vezes mais pesado cairia dez vezes mais rápido, independentemente do meio (página 66 de "Diálogo sobre Duas Novas Ciências"). Claro que isto é um bocado injusto para Aristóteles, uma vez que Arquimedes só enunciou o seu princípio cerca de um século após a morte de Aristóteles. O ponto fulcral, que Galileu compreendeu perfeitamente, é que o *peso* de um corpo, que é a força que causa a constante aceleração descendente, *é reduzido pela força de impusão*, de modo que a força descendente *resultante* é o peso do corpo menos o peso de igual volume de fluido. Citando Galileu (página 67 do Diálogo):

Assim, por exemplo, um ovo feito de mármore descerá em água cem vezes mais rápido do que um ovo de galinha, enquanto que no ar caindo de uma altura de vinte cúbitos o primeiro cairá mais que o segundo por menos de quatro dedos.

Além disso, Galileu compreendeu que o mesmo se passava no ar, mas o efeito era muito menos dramático em geral, porque o ar (ao nível do mar) tem apenas 1/800 da densidade da água. (Galileu achava que era 1/400). Portanto para a maioria dos objectos a força de impulsão é minúscula comparada com o peso. As únicas excepções são as bexigas discutidas por Galileu, por outras palavras, balões.

Uma complicação adicional que se tem que ter em conta quando se pensa na força de impulsão em diferentes meios, e o seu efeito na velocidade de queda dos graves, é que diferentes meios também têm diferentes resistências ao movimento. Estes dois efeitos são bastante distintos. A força de impulsão actua no corpo mesmo que este esteja em repouso – é a força que mantêm os barcos a flutuar. A resistência do ar (ou da água), pelo contrário, tem um carácter essencialmente *dinâmico*, e não depende particularmente da densidade do fluido, embora, no entanto, os líquidos tenham obviamente uma resistência superior à dos gases. Mas dentro destes grupos há grandes variações. Por exemplo, uma pequena bola de aço a cair em azeite à temperatura ambiente encontrará uma resistência quase cem vezes mais forte do que caindo à mesma velocidade em água, apesar de o azeite ser mais leve que a água.

Voltando à impulsão no ar, uma vez que é cerca de 1/800 da na água, e a nossa densidade é praticamente a mesma que a da água, o seu peso medido numa balança de casa de banho é menor por uma parte em 800 relativamente ao seu peso real. Claro que isto é insignificante, mas dá-nos uma ideia do tamanho necessário para um balão cheio de um gás mais leve que o ar conseguir levantar meia dúzia de pessoas. O gás mais leve da natureza é o hidrogénio, cerca de 1/14 da densidade do ar. Infelizmente, é altamente inflamável, e as primeiras aeronaves que o usaram conheceram um triste fim. O gás mais leve seguinte é o hélio, duas vezes mais pesado que o hidrogénio, mas quimicamente inerte. É este o gás usado no boneco da Goodyear.

Uma alternativa extremamente barata é usar simplesmente ar quente – pegue num grande saco, aberto no fundo, e coloque um aquecedor por baixo da abertura. O truque é aqui é, quanto mais quente, melhor funciona, mas não queremos pegar fogo ao balão! O ar aquecido a uma temperatura de, digamos, 150 ºC, tem cerca de 1/3 da densidade a 21 ºC, pelo que a impulsão conseguida com ar quente é muito menor que a conseguida com hélio. Isso significa que o balão tem de ser muito maior para aguentar com o mesmo peso. Repara que também há um limite à altitude a que o balão consegue ir. A atmosfera torna-se mais fina com a altitude, o que significa que o volume de ar deslocado, e consequentemente a força de impulsão, diminui. Portanto um balão com uma dada densidade só consegue atingir uma dada altitude. Isto pode ser parcialmente compensado fazendo um balão com um material ligeiramente expandível, de modo que a pressão interior o expanda à medida que sobe, aumentando o volume de ar deslocado e aumentando a impulsão.

Viver num Oceano

Discutimos anteriormente como é que os peixes que vivem nas profundezas do oceano se adaptam à pressão exterior mantendo, essencialmente, uma pressão igual em todo o corpo, de modo a que não haja tensões como num submarino, cuja pressão interior é inferior e pode causar implosão. Os peixes não têm, sem dúvida, noção de que vivem num ambiente de grande pressão. Talvez os mais inteligentes comecem a supeitar disso depois de verem alguns submarinos a implodir. Os peixes controlam a profundidade a que se encontram variando ligeiramente a impulsão. Conseguem-no movendo gás para dentro e fora de um saco de ar, usando diversos mecanismos: por exemplo, variando a acidez da corrente sanguínea e consequentemente a solubilidade do oxigénio no sangue.

Há na realidade uma analogia com o nosso próprio meio ambiente. Nós vivemos no fundo de um grande oceano de ar que cobre todo o planeta. Apesar de a pressão aqui ser muito menor que no fundo do oceano Atlântico, não é de modo nenhum desprezável. Se bombearmos o ar para fora de uma lata de alumínio ela implodirá. A pressão é cerca de 15 psi. Se pensarmos em água num tubo em U, aberto à atmosfera em ambas as extremidades, a pressão é obviamente igual nos dois braços do tubo, e o nível da água é o mesmo. Se agora usarmos uma bomba para remover o ar sobre a água de um dos lados, a pressão na água diminui relativamente ao outro braço, e o nível começa a subir no braço com menos ar. Este é o fenómeno da sucção, o mesmo que beber de uma *palhinha*. O importante aqui é ver que é a pressão do ar *exterior* que força o líquido a subir a palhinha.

Estando claro que a sucção consiste simplesmente na remoção do ar, e que pressão exterior de 15 psi é a responsável pela ascensão do líquido, é claro também que há um limite ao que se pode fazer com a sucção. Á medida que a água sobe na palhinha, a pressão no fundo da palhinha aumenta porque a coluna de água fica maior. Eventualmente o peso da coluna de água compensará a pressão exterior, portanto mesmo que houvesse um vácuo perfeito, a água não subirá mais que isso. A altura de uma coluna de água necessária para produzir uma pressão de 15 psi na base é cerca de 9 metros.

Galileu estava bem ciente deste facto, mas não se apercebeu de que resultava de uma pressão exterior limitada, pensava que surgia por limitações da força de sucção. Na págia 16 do Diálogo,

> *Vi uma vez uma cisterna (um poço) que tinha sido apetrechado com uma bomba sob a falsa impressão de que a água poderia desse modo ser sugada com menos esforço e em maior quantidade do que com um balde normal. O suporte da bomba levava o aspirador na parte de cima, portanto a água era puxada por atracção e não por empurrão como no caso em que o aspirador é colocado por baixo. Esta bomba funcionava na perfeição desde que a água na cisterna de madeira se*

> *mantivesse acima de um certo nível; abaixo deste a bomba não funcionava. Quando observei este fenómeno pela primeira vez pensei que a máquina estivesse avariada; mas o operário que chamei para a reparar disse-me que o defeito não era da bomba mas na água cujo nível baixara demasiado para conseguir ser sugada para aquela altura; e acrescentou que não era possível, quer com uma bomba quer com qualquer outro dispositivo que funcionasse por atracção, elevar a água nem que fosse um fio de cabelo acima de dezoito cúbitos; quer a bomba fosse grande ou pequena este era o limite extremo de funcionamento. Até esta altura eu estiver tão distraído que, embora sabendo perfeitamente que um corda, ou uma barra de madeira ou ferro, se suficientemente longa, quebraria pelo seu próprio peso quando suspensa por uma ponta, nunca me ocorrera que o mesmo aconteceria muito mais facilmente com uma coluna de água.*

O problema desta explicação sobre o que mantêm os sólidos unidos, tal como Galileu acabou por admitir, era que um fio de cobre com dezenas de metros podia ficar suspenso na vertical sem partir, e é difícil ver como é que essa sucção poderia ser tão mais eficaz para o cobre. Nós agora sabemos que ele estava no caminho errado, aquilo que mantém os sólidos unidos são as forças eléctricas entre os átomos.

Barómetros

A pressão atmosférica de aproximadamente 15 psi é a pressão medida por um barómetro. Uma coluna de água com o ar removido do topo seria um óptimo barómetro, mas não muito prático pois a coluna teria que ter uma altura de cerca de 9 metros, como discutido acima. A maneira óbvia de melhorar estas situação é utilizando um líquido mais pesado que a água, que exercerá a mesma pressão com uma coluna menor. O líquido de eleição é o mercúrio, que é 13.6 vezes mais pesado que a água, pelo que basta uma coluna com menos de1 metro. O primeiro barómetro foi construído por um discípulo de Galileu, Evangelista Torricelli, que explicou o seu funcionamento numa carta escrita em 1944, dois anos após a morte de Galileu. Ele escreveu que o fluido subia no tubo devido “ao peso da atmosfera”, e que “nós vivemos no fundo de um mar de ar elementar, o qual pela experiência tem sem dúvida peso”.

A ideia de usar um barómetro para medir altitudes ocorreu pela primeira vez a um francês, Blaise Pascal, alguns anos mais tarde. Ele relatou em 1648 as suas medições com um barómetro subindo e descendo montanhas. Claro que isto é um bocado complicado porque a altura da coluna de mercúrio também varia com o estado do tempo.

Cerca de um século mais tarde, a 5 de Julho de 1776, para ser mais preciso, Thomas Jefferson comprou um barómetro feito em Londres em Sparhawk’s, uma loja em Filadélfia, que calhou de visitar. A 15 de Setembro de 1776, ele mediu 747 mm de mercúrio em Monticello, 764 nos campos de tabaco de Rivanna, e 740 no topo de Montalto. Ele usou uma tabela publicada em Londres em 1725 para traduzir estas diferenças de pressão para altitudes, e concluiu que Montalto estava a 85 metros acima de Monticello, e 222 metros acima de Rivanna.

Verificação do Princípio de Arquimedes

Encha três quartos de um copo com água e coloque-o numa balança. Anote a leitura. Agora mergulhe a mão na água, sem tocar no copo, até que a água atinja o topo do copo. Registe o aumento do peso.

Questão 1: Se em vez de meter a mão dentro do copo, tivesse simplesmente adicionado água até encher, a variação do peso medido seria a mesma, maior ou menor?

Questão 2: Suponha que em vez de mergulhar a mão, imergia um pedaço de ferro (novamente sem tocar no copo com o ferro, claro) até a água chegar ao topo. A leitura da balança seria diferente? E se tivesse usado um copo mais pequeno?

Considere um pedaço de metal suspenso num dinamómetro. Anote o seu peso, de seguida pese-o debaixo de água no copo. Registe. As duas medições estão relacionadas? Agora baixe o pedaço de metal até tocar no fundo do copo. O que medem a balança e o dinamómetro agora? O que aconteceu à impulsão? Suponha que havia uma pequena balança no fundo do copo, dentro de água, e que o pedaço de metal estava sobre ela. Que valor iria ler aí?

Mergulhadores cartesianos são essencialmente tubos de ensaio invertidos, ou outros pequenos recipientes, com ar preso no interior de modo que a sua densidade total é inferior à da água. Coloque-o dentro de um recipiente em que possa controlar a pressão, por exemplo uma garrafa de plástico com o topo amassado. Se aumentar a pressão, o mergulhador mergulha. Se agora deixar diminuir a pressão, o mergulhador volta a subir. Porquê?

Comentários adicionais: distinguir cuidadosamente massa e densidade não é trivial – afinal de contas, foi preciso Arquimedes para descobrir! Além disso, as unidades são um bocado confusas. (*Nota do Tradutor:* o parágrafo que se seguia discuti os sistemas de unidades métrico, imperial e internacional, alertando para as dificuldades que um aluno americano poderia sentir. Não nos pareceu adequado a um estudante português, pelo que a suprimimos).

Questão: Como deverá saber, por flutuar numa piscina, a densidade do corpo humano é próxima da da água. Sabe o seu próprio peso. Qual é o seu volume?

Referências

1. Vitrúvio, *Arquitectura IX,* Introdução 9-12, Publicações Dover, NY, 1960.

2. Galileu Galilei, *Diálogo sobre as Duas Novas Ciências*, Publicações Dover, NY, 1954.

3. Silvio Bedini, *Thomas Jefferson: estadista de Ciência*, Macmillan, NY, 1990.

Tradução/Adaptação **Casa das Ciências 2009**