

Carta do Editor

Os resultados do PISA (sigla em inglês para Program for International Student Assessment) tiveram enorme repercussão na imprensa que com ímpeto (justificado) cobrou dos órgãos de governo e autoridades educacionais explicações sobre o Brasil ocupar as últimas colocações nos testes de leitura, ciências e matemática. Na verdade, estamos levando pisa (ao dicionário, prezado leitor) nesta avaliação desde 2000, quando o Brasil participou pela primeira vez. O PISA possui alto grau de credibilidade e proporciona uma oportunidade única de avaliar o rendimento e a qualidade dos sistemas educacionais em um nível comparativo internacional. Convém ressaltar que o PISA não avalia apenas os conteúdos de conhecimento dos alunos em cada área (onde se concentra predominantemente o ensino no Brasil), mas também os processos e contextos em que estes conhecimentos são aplicados. É o que se convencionou chamar de letramento (*literacy*). Em ciências, significa “conhecimento científico e uso desse conhecimento para identificar questões, adquirir conhecimento novo, explicar fenômenos científicos e chegar a conclusões baseadas em evidências, sobre as questões relacionadas à ciência. Por exemplo, quando pessoas lêem sobre um tema relacionado à saúde, podem elas separar aspectos científicos dos não-científicos do texto e podem aplicar conhecimentos e justificar decisões pessoais?”.¹ É desejável que todos os professores conheçam melhor o PISA (<http://www.inep.gov.br/internacional/pisa>) para que possam participar ativamente de sua operacionalização (o pré-teste para a próxima avaliação em 2009 já será aplicado em maio de 2008).

O PISA tem confirmado apenas o que todos já sabem. No entanto, o resultado do PISA é importante porque chama a atenção da sociedade para o estado precário do sistema educacional brasileiro. E todos reconhecem que ações imediatas e de longo prazo devem ser implementadas com urgência. Falar essas coisas é chover no molhado. Em encontros com especialistas em educação científica e matemática (aliás, no Brasil,

assim como de futebol, todos entendem um pouco de educação), tenho notado que há pelo menos um consenso sobre um dos focos de qualquer política pública do setor: a valorização e formação (inicial e continuada) do professor de ciências e matemática da educação básica. O começo óbvio para mudanças significativas neste quadro, embora não seja único, seria estabelecer um piso salarial mínimo para os professores comparável ao de outras categorias equivalentes. De nossa parte, para quem concorda que quanto mais cedo ensinar ciências é melhor, torna-se imprescindível que a formação dos alunos dos cursos de Pedagogia contemple de modo mais intenso o ensino de ciências. Na avaliação de 2000, apenas 16,2% dos jovens brasileiros de 15 anos responderiam corretamente à questão da existência de dia e noite na Terra. Querem mais?

Há boas iniciativas já aprovadas pelo poder público nesta direção: criação da CAPES do B (inclusão da educação básica nas atribuições da atual CAPES); criação do programa institucional de bolsas de Iniciação à Docência para estudantes de licenciatura (uma reivindicação da SBF); bolsas para professores da rede pública de educação básica; incentivo à criação de cursos de mestrado profissional em ensino de ciências e matemática nas instituições públicas; aumento expressivo de recursos para difusão e popularização da ciência; implantação dos centros de referência em ensino de ciências; expansão de vagas de licenciatura nas universidades públicas; e a destinação da Universidade Aberta do Brasil para reforçar a formação, através de cursos superiores a distância, de professores em serviço.

* * * *

Este número contém artigos muito interessantes. Para comemorar os 50 anos do lançamento do Sputnik, trazemos um artigo sobre a fabricação de foguetes com garrafas PET movidos a água, contendo uma excelente discussão

sobre a física envolvida na propulsão e movimento do foguete. Explorar arte e ciência no ensino não é novidade, mas dois artigos neste número analisam as pinturas de Dalí e Vermeer no contexto da prática docente. Outro aborda o teatro de cordel como atividade lúdica na educação ambiental. Aprenda com Mikiya Muramatsu e seus colaboradores a construir e usar uma câmara escura de orifício para estudar óptica e os princípios da fotografia. Você saberia calcular a inclinação (ângulo com a horizontal) de ruas e estradas? Você se surpreenderá com o artigo de Fernando Lang que discute o tema e tira suas dúvidas. Os interessados em educação indígena, encontrarão aqui a descrição de uma experiência de ensino de física para professores-índios na fronteira do Brasil com Colômbia e Peru. Resgatamos um relato do prof. Marcelo Damy, um dos precursores da física no Brasil, que contém a história dos primeiros anos da pesquisa em física na USP e transmite bons conselhos aos jovens que pretendem seguir a carreira científica.

Uma boa leitura e um ano de 2008 repleto de paz e felicidade.

Nelson Stuard

¹PISA 2006: Science Competencies for Tomorrow's World, vol. 1, p. 33. OECD (2007).



Um foguete de garrafas PET

.....
James Alves de Souza

Departamento de Física, Universidade
 Federal de São Carlos, São Carlos, SP,
 Brasil

E-mail: jamesfisica@gmail.com

Neste trabalho descreve-se a construção de um foguete utilizando garrafas descartáveis de refrigerante (PET) de 2 l e a montagem de um sistema de propulsão que funciona com água e ar comprimido. Mostra-se também vários fatores que influenciam na estabilidade do foguete durante o voo, como a obtenção e relação entre centro de massa e centro de pressão. Apresenta-se ainda a teoria envolvida durante o lançamento por meio de algumas aproximações, mostrando a aplicabilidade de assuntos comuns no ensino médio como segunda e terceira leis de Newton, conceitos de momento linear e velocidade relativa, movimento de um fluido perfeito utilizando a equação de Bernoulli e a equação de continuidade e expansão adiabática de um gás ideal. Por fim, obtém-se a velocidade máxima que o foguete pode atingir aplicando-se uma pressão de 80 psi, sendo possível estimar a aceleração do mesmo durante o processo de ejeção de água, algo próximo a 25 g, um resultado surpreendente pela simplicidade da montagem.

Mostramos também que a medida de pressão é o psi - *pound-force per square inch*, significa libra por polegada quadrada -, porque esta é a unidade dos manômetros das bombas de encher pneus. A unidade pascal (Pa) é a utilizada no sistema internacional de unidades (SI).

Material utilizado

Os materiais citados abaixo não são os únicos que podem ser utilizados para a construção do foguete; a imaginação do construtor pode dar lugar a substituições. São necessários:

- 2 garrafas descartáveis de refrigerante (PET) de dois litros. Utilize somente PET, pois este material pode suportar altíssimas pressões internas
- placa pluma ou isopor de alta densidade (facilmente encontrada em supermercados na forma de bande-

jas para embalagem de alimentos)

- fita adesiva transparente
- 1 rolha de cortiça grande
- 1 válvula de pneu de bicicleta
- 1 tubo de caneta vazio
- 1 mangueira com até 6 mm de diâmetro
- 1 bomba de encher pneu de bicicleta

Procedimento

Foguete

As duas garrafas PET são os principais componentes do foguete, pois serão utilizadas para a construção da sua fuselagem, que é composta pela câmara de combustão (que chamaremos de câmara de compressão) e pelo nariz, região frontal do foguete.

Para a câmara de compressão utilizaremos uma garrafa inteira sem alterações. Esta é a parte do foguete em que estará contido o seu combustível (a água). Para o nariz, utilizaremos apenas a parte de cima da garrafa, cônica, como mostra a Fig. 1a. Essa peça tem a função de minimizar o atrito do ar durante o voo do foguete, fornecendo ao mesmo um formato mais aerodinâmico. Em seguida, fixe a parte cônica no fundo da outra garrafa inteira com a fita adesiva, conforme mostra a Fig. 1b. É importante que se tenha um bom alinhamento entre estas partes (Fig. 1c), para que não haja maiores complicações durante o voo.

O próximo passo é a construção das aletas do foguete; elas são fundamentais para sua estabilidade durante o voo. Pegue as bandejas de isopor de alta densidade e recorte-as no formato de trapézios, de modo que eles se encaixem na parte cônica da garrafa inteira (Fig. 2). O formato das aletas é arbitrário, mas sugerimos trapézios por conter somente retas e ser mais fácil de manipular durante o corte.

Utilizando a fita adesiva, fixe as quatro aletas na parte cônica da garrafa inte-

Propõe-se a construção de um pequeno foguete movido pela pressão d'água, de baixo custo, para ilustrar de forma lúdica o uso das leis de Newton e da equação de Bernoulli.

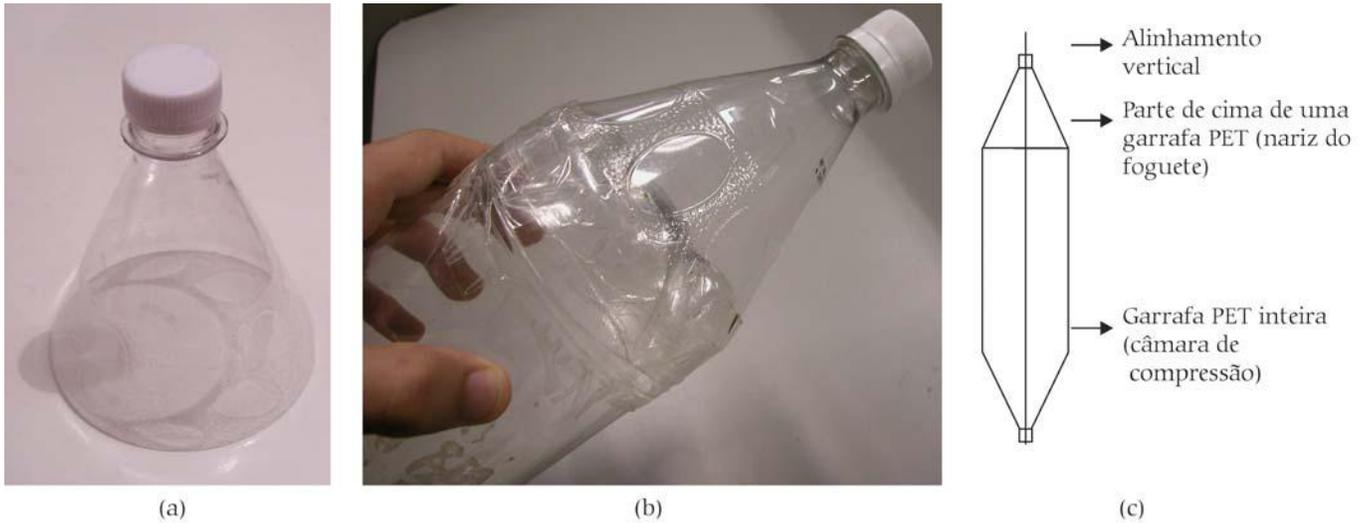


Figura 1. (a) Nariz do foguete obtido cortando-se a parte de cima de uma garrafa PET; (b) nariz fixado ao fundo da outra garrafa e (c) máximo alinhamento possível entre as partes.

ra, na região inferior do foguete, de modo que fiquem bem alinhadas duas a duas como se fossem imagens especulares (Fig. 3a).

Se os passos descritos até o momento forem bem sucedidos, o foguete estará pronto, como mostra a Fig. 3b. Nada impede a utilização de garrafas PET de outros formatos, mas optamos por garrafas de paredes retas por um motivo que descreveremos na seção sobre a estabilidade do foguete.

Sistema de propulsão

O sistema de propulsão consta da base de lançamento e o aparato de pressurização que será conectado à câmara de compressão do foguete.

Pegue a rolha de cortiça e faça um furo com diâmetro um pouco menor que o diâmetro externo da mangueira, para que a mesma passe pelo furo e fique bem justa (Fig. 4a). Deixe a mangueira com uma ponta sobrando e encaixe o tubo de caneta nesta ponta (Fig. 4b). Apesar de não ser essencial, esse tubo tem a função de evitar alguns incômodos, como não deixar entrar água na bomba ou evitar



Figura 3. (a) As aletas devem ser fixadas simetricamente duas a duas. (b) Foguete pronto sobre a base de lançamento.

que a mangueira escape da rolha, pois seu encaixe provoca um estrangulamento na ponta da mangueira. Esse conjunto será encaixado no bocal da garrafa e é importante que fique firme, pois será a parte do sistema de propulsão que suportará o aumento da pressão interna do foguete. Se não for possível conseguir

uma rolha grande que satisfaça essa condição, pode-se optar por uma rolha menor e revesti-la com uma capa de pé de cadeira, como fizemos neste trabalho (Fig. 4a).

Agora encaixe a válvula de pneu de bicicleta na outra extremidade da mangueira, de maneira que a mesma fique bem encaixada na bomba de encher pneus. Se a bomba não contiver o encaixe mostrado na Fig. 4c, será preciso retirar o pino da válvula de pneu, pois este impossibilitará o bombeamento de ar para câmara. Nesse caso o tubo de caneta é indispensável.

A construção da base de lançamentos fica por conta da criatividade do leitor, mas pode-se optar por fazer uma base simples com outra garrafa PET, como mostra a Fig. 5a. Pegue a parte inferior de uma garrafa e faça cortes em suas laterais na direção das aletas do foguete, para que o mes-

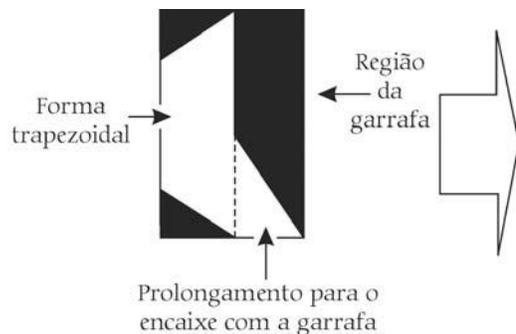
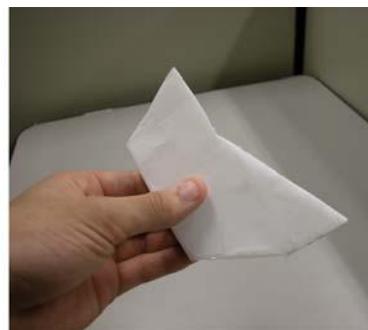


Figura 2. Formato das aletas do foguete.



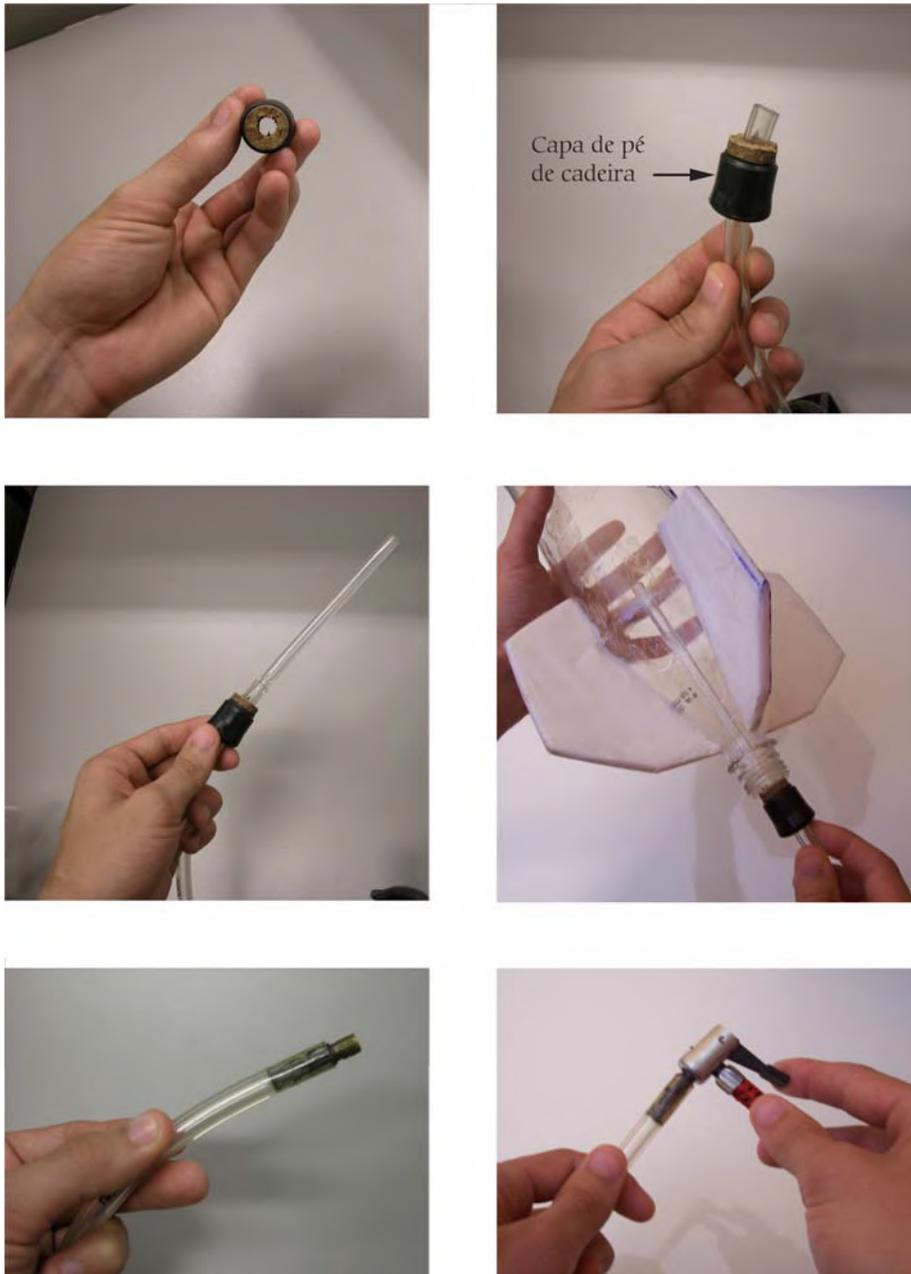


Figura 4. Sistema de propulsão do foguete. (a) Encaixe da mangueira na rolha. (b) Encaixe do tubo de caneta na ponta saliente da mangueira; esse sistema será colocado no bocal da garrafa inteira. (c) Encaixe da válvula de pneu de bicicleta na outra extremidade da mangueira, para uma boa fixação da bomba.

mo fique apoiado na vertical. Em seguida faça um furo na lateral inferior da garrafa para inserção da mangueira conectada à rolha e a base estará concluída. Outra opção é fazer uma base mais sofisticada com tubos e conexões de PVC na forma de tripé (Fig. 5b). Foram utilizados três cotovelos de 45° e duas junções em T, sendo que a da parte central, onde o foguete se apóia, foi perfurada para a passagem da mangueira com a rolha. Os canos são de 3/4"; essa medida proporciona o encaixe perfeito do bocal da garrafa na junção em T. É interessante não colar as

junções assinaladas na figura para que se tenha liberdade de ajuste da base em locais irregulares, fazendo com que o foguete fique na vertical e também permitindo diferentes inclinações para lançamentos oblíquos. Na verdade, todas as partes dessa base podem ser somente encaixadas, mas para garantir firmeza é bom colar as outras conexões. Utilize cola adesiva própria para PVC. A Fig. 5b é um aumento da Fig. 3b.

Estabilidade do foguete

Dois cuidados muito importantes para a estabilidade do foguete durante o



Figura 5. Opções para a construção da base de lançamentos. Em (a), base construída com uma garrafa PET. Em (b), base construída com tubos e conexões de PVC.

vô já foram tomados: utilizar uma garrafa cilíndrica, pelo fato de possuir simetria radial, e colar as aletas de maneira simétrica. Estes fatores nos proporcionam uma distribuição de massa razoavelmente homogênea em relação ao plano que passa pelo centro do foguete na vertical.

Diferentemente dos aviões que possuem asas e superfícies móveis de controle produzindo sustentação e permitindo a realização de vôos na horizontal, os foguetes são veículos projetados para se deslocar na direção vertical, ou o mais próximo possível desta, vencendo a força da gravidade. Então devemos nos atentar a dois pontos de equilíbrio de forças que são o centro de massa (CM) e o centro de pressão (CP), para que o foguete siga uma trajetória retilínea e reproduza de maneira satisfatória o vôo de um foguete real a combustão.

O CM é o ponto de equilíbrio das forças gravitacionais que agem sobre o foguete e está relacionado com a massa de cada parte que o compõe. Sua posição é bem definida e pode ser obtida pela seguinte expressão [1]

$$y_{CM} = \frac{\sum y_i m_i}{\sum m_i}, \quad (1)$$

onde y_i é a ordenada (ou altura) do CM da parte i (aleta, nariz, ...) do foguete e m_i sua massa correspondente. A soma das partes, $\sum m_i$, é a massa total do foguete.

Note que explicitamos somente a altura do CM, pois sabemos que o mesmo estará localizado no eixo central do foguete, devido à sua simetria radial. Como o CM é o ponto onde as forças gravitacionais se equilibram, podemos encontrá-lo de maneira mais simplificada sem a necessidade de utilizar a Eq. (1). Basta equilibrar o foguete (na horizontal) sobre uma régua e no momento em que o equilíbrio for estabelecido o CM estará no eixo central do foguete, acima do ponto de contato com a régua (Fig. 6).

Como a propulsão do foguete se dá em sua parte traseira, qualquer perturbação que possa ocorrer, seja por rajadas de vento ou má distribuição de massa, fará com que o foguete gire em torno de seu CM, como se esse ponto fosse um pivô. Uma maneira de perceber facilmente tal fato é tentar empurrar um objeto com o dedo indicador pela sua parte traseira. Observe que qualquer imperfeição da superfície em que o objeto estiver, ou se o ponto de contato entre seu dedo e o mesmo for diferente da reta que contém o CM, fará com que o objeto desvie de sua trajetória inicial em um movimento de rotação em torno de seu CM.

Já que tomamos cuidado com a distribuição de massa do foguete durante a sua montagem, o próximo problema serão os torques provocados pelas forças aerodinâmicas que agem sobre suas partes durante o vôo. Isso faz com que o foguete

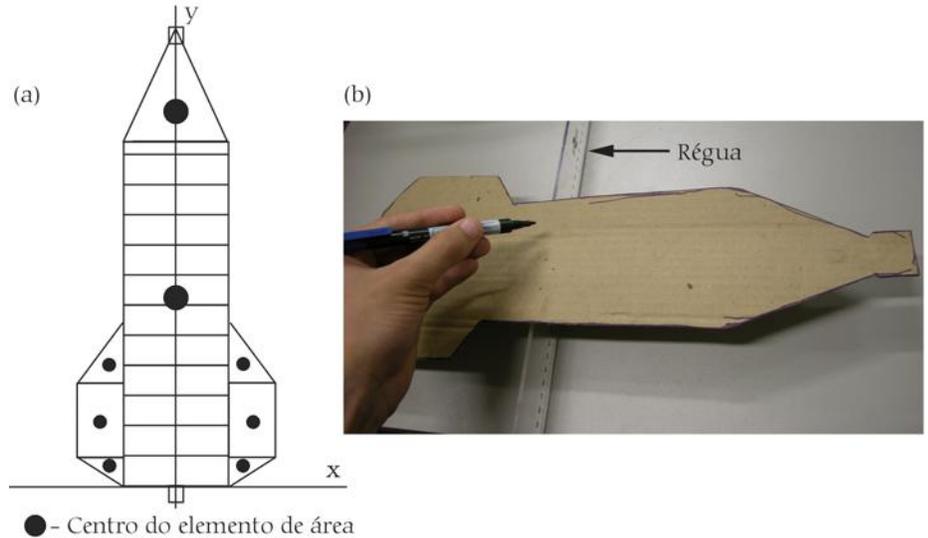


Figura 7. (a) Projete a silhueta do foguete em um papel e divida suas partes em regiões retangulares e triangulares para facilitar a obtenção do CP. (b) Projete a silhueta do foguete em um pedaço de papelão e encontre seu CM; isto fornecerá uma idéia da posição do CP do foguete, que neste caso coincide com o CM do papelão.

gire em uma dada direção, dependendo se a intensidade da pressão exercida pelo ar for maior ou menor na região acima ou abaixo do CM.

Sendo impossível eliminar todos os tipos de perturbações, precisamos fazer com que o foguete corrija sua trajetória retornando à posição vertical da melhor forma possível. Para resolver esse problema recorreremos ao centro de pressão do foguete. O CP é o ponto de equilíbrio das forças aerodinâmicas exercidas sobre as partes do foguete, e é importante por equilibrar os torques gerados por essas forças. Note a semelhança da definição do CM e CP; o que muda é a natureza das forças. O CP está relacionado às formas, textura e área das partes do foguete.

Para encontrar o CP podemos fazer

uma primeira aproximação projetando a silhueta (sombra) do foguete em um papel e dividindo suas partes em áreas retangulares e triangulares, já que as forças aerodinâmicas que definem tal ponto são proporcionadas pela pressão que o ar exerce sobre as áreas de suas diferentes partes. Esta é a vantagem de utilizarmos garrafas de paredes retas, pois áreas de triângulos e retângulos são facilmente obtidas. Uma maneira conveniente de situarmos o sistema de coordenadas sobre a projeção do foguete é mostrada na Fig. 7a. A coordenada y do CP é dada de maneira semelhante à do CM, ou seja [2]

$$y_{CP} = \frac{\sum y_i A_i}{\sum A_i}, \quad (2)$$

onde y_i é a coordenada do centro do elemento de área retangular ou triangular i , A_i sua área correspondente e $\sum A_i$ a soma das áreas dos elementos formados pela projeção do foguete no papel. Novamente utilizamos o argumento de simetria para justificar a ausência do cálculo da coordenada x do CP.

Assim como utilizamos um artifício para a obtenção do CM sem o uso da Eq. (1), podemos também fazer uma nova aproximação para obtermos o CP sem precisar utilizar a Eq. (2). Podemos projetar a silhueta do foguete em um pedaço de papelão e encontrar seu CM (veja a Fig. 7b), pois nesse caso o centro do elemento de área que corresponde ao CP do plano coincide com seu CM. Note que essas aproximações seriam mais satisfa-

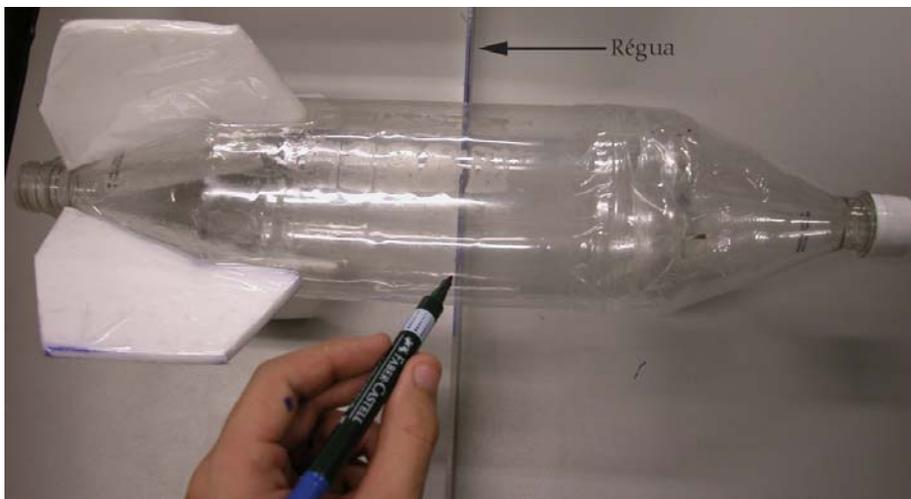


Figura 6. Obtenção simplificada do CM do foguete.

tórias se os materiais que constituem o foguete tivessem a mesma densidade, o que não é o caso, mas podemos utilizá-las para nos fornecer uma boa idéia da posição desse ponto de equilíbrio sem muito trabalho.

Para que haja boa estabilidade do foguete é preciso que o CM esteja a 1,5 cm [2], ou mais, acima do CP. Se durante a montagem não foi possível obter esta configuração, não é necessário refazer o foguete. Pode-se utilizar o nariz do mesmo como compartimento de carga, acrescentando pequenos pesos em seu interior e fazendo com que seu CM seja deslocado para cima. É importante que os pesos fiquem uniformemente distribuídos. Outra maneira é trocar as aletas do foguete por aletas mais largas ou alongadas, fazendo com que o CP se desloque para trás. Deve-se tomar cuidado nesse procedimento, pois se o material das aletas for pesado deslocaremos também o CM do foguete para trás, podendo acarretar uma não alteração da distância entre os pontos de equilíbrio (CM e CP). Não é interessante que a distância entre o CM e CP seja muito grande, $\gg 1,5$ cm, pois o foguete pode ficar oscilando sua parte traseira no ar, como se estivesse “rebolando” devido às rápidas correções que ele realiza tentando voltar para a posição vertical. Mas a que se devem estas correções durante o voo?

A força de impulsão do foguete é dada na direção vertical ascendente na linha que contém o seu CM, enquanto as forças aerodinâmicas (atrito do ar) agem no sentido contrário, para baixo, na posição de seu CP. Como já adiantamos anteriormente, qualquer perturbação pode fazer com que o foguete gire em torno de seu

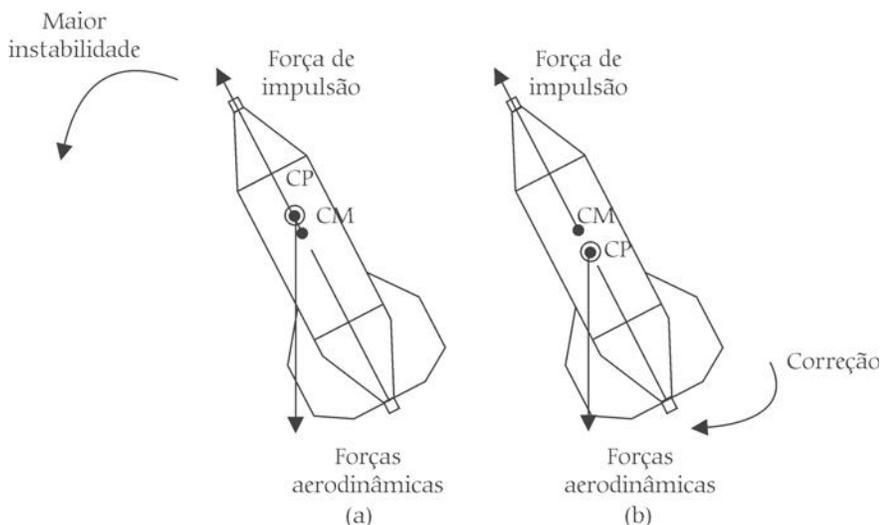


Figura 8. (a) Posição incorreta do CM em relação ao CP causando maior instabilidade no foguete durante o voo. (b) Posição correta entre CM e CP, causando a correção durante o voo.

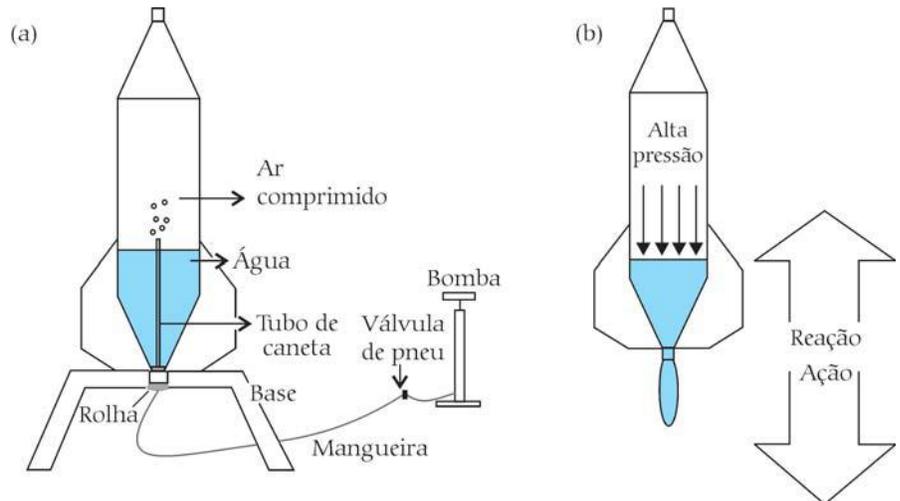


Figura 9. (a) Ilustração da montagem final do foguete para o lançamento. (b) Terceira lei de Newton durante a ascensão do foguete.

CM. Caso seu CP esteja posicionado acima do CM, as forças aerodinâmicas contribuirão para a rotação do foguete, desestabilizando completamente seu voo (Fig. 8a). Mas, pelo contrário, se o CP estiver abaixo do CM, as forças aerodinâmicas atuarão no foguete “puxando” sua parte traseira novamente para a vertical e fazendo a correção desejada, mantendo sua trajetória inicial (Fig. 8b).

Lançamento

O voo de um foguete real se dá pela queima de combustível. A explosão faz com que haja ejeção dos gases provenientes da combustão em sentido contrário ao do movimento do foguete, impulsionando-o para frente. Na nossa montagem, a água substitui os gases quentes e sua ejeção se dá pela compressão do ar em vez

de explosão. Para o lançamento do foguete siga os seguintes passos:

1° - Pegue o foguete e preencha-o com um pouco de água. Procure otimizar a quantidade para maior ascensão do foguete, pois acrescentando-se muita água ele ficará pesado, dificultando sua subida; com pouca água não haverá propulsão suficiente para subidas longas.

2° - Em seguida encaixe a rolha com o tubo de caneta no bocal da garrafa, vedando-a para que a água não derrame. A rolha deve ficar bem apertada, pois esse será um dos fatores mais importantes para maior ascensão do foguete.

3° - Feito isso é só bombear o ar para dentro da câmara de compressão até que o foguete seja lançado.

Um esquema final da montagem está ilustrado na Fig. 9a.

Mas qual a física envolvida no lançamento?

O que temos é uma aplicação direta da conhecida lei da ação e reação ou terceira lei de Newton. Ao bombearmos o ar para dentro da câmara de compressão, o mesmo vai se comprimindo e exercendo uma força (pressão) cada vez maior sobre a superfície da água ali contida. No momento em que essa força se torna maior que a força de atrito que mantém a rolha presa à garrafa, a rolha e a água saem com uma velocidade muito grande, ação, fornecendo ao foguete um impulso vertical em sentido contrário e possibilitando o seu voo, reação, ou seja, a água dá um “empurrão” no foguete (Fig. 9b). Em física dizemos que há uma transferência de momento linear da água para o foguete.

Você poderia perguntar: por que não lançar somente uma garrafa PET para reproduzir o voo de um foguete? A resposta é simples; uma garrafa sem as aletas

e o nariz seria lançada como um projétil seguindo uma trajetória parabólica e girando em torno de seu CM. Pode-se mostrar este fato para enfatizar a importância dos aparatos acrescentados para que se tenha estabilidade e reprodução do vôo de um foguete real.

A seguir, exploraremos um pouco mais a física para obtermos uma aproximação da aceleração que o foguete pode atingir durante a ejeção de água e sua velocidade ao final desse processo pelo cálculo da velocidade de escape da água.

Movimento do foguete durante a ejeção de água

Para os cálculos a seguir será preciso acrescentar um dispositivo à montagem, que é um manômetro (medidor de pressão) acoplado à bomba, pois precisaremos da magnitude desta grandeza para obtenção da velocidade de escape da água.

O movimento do foguete durante o lançamento pode ser entendido pela aplicação da segunda lei de Newton [3]

$$\sum F = \frac{\Delta p}{\Delta t}. \quad (3)$$

Para sua descrição, consideremos que a única força atuante sobre o foguete é a força gravitacional (desprezemos o atrito do ar). Imaginemos que o foguete está em movimento inicial uniforme, com velocidade constante v . Na realidade a velocidade é zero, pois o foguete está parado sobre a base de lançamentos, mas utilizaremos este artifício para manipulações matemáticas mais simples. O momento linear inicial do foguete será então $p_i = Mv$, onde M é sua massa inicial que é dada por $M = m_f + m_{H_2O}$, ou seja, a massa do foguete vazio (m_f) mais a massa de água contida em seu interior (m_{H_2O}), como mostra a Fig. 10a. No momento em que ocorre a ejeção de uma pequena quantidade de água Δm_{H_2O} a uma velocidade v_f , a velocidade do foguete é alterada de Δv (Fig. 10b). Logo, o sistema terá um momento final dado por [3]

$$p_f = (M - \Delta m_{H_2O}) \cdot (v + \Delta v) - \Delta m_{H_2O} v_f. \quad (4)$$

Se $\Sigma F = -Mg$, substituindo a Eq. (4) na Eq. (3) obtemos [3]

$$-Mg = \frac{(M - \Delta m_{H_2O})(v + \Delta v) - \Delta m_{H_2O} v_f - Mv}{\Delta t}. \quad (5)$$

Manipulando esta equação e desprezando o termo $\Delta m_{H_2O} \Delta v$ já que Δm_{H_2O} é muito pequeno, obtemos para a velocidade do foguete Δv [3]

$$\Delta v = -g\Delta t + \frac{\Delta m_{H_2O}}{M} u, \quad (6)$$

onde u é a velocidade de escape da água relativa ao foguete, $u = v + v_f$. Utilizando as quantidades $\Delta m_{H_2O} = \rho \Delta V$ e $M = \rho V_{H_2O} + m_f$, onde ρ é a densidade da água, ΔV a mudança no volume de ar dentro do foguete, V_{H_2O} o volume de água dentro do foguete e m_f a massa do foguete vazio, temos [3]

$$\Delta v = -g\Delta t + \left(\frac{\rho \Delta V}{\rho V_{H_2O} + m_f} \right) u. \quad (7)$$

Podemos obter a velocidade do foguete durante o tempo Δt de ejeção da água conhecendo-se a velocidade de escape da água u em relação ao foguete. Uma maneira de determinar Δt é lançar o foguete em frente a um anteparo como um muro ou pilastra, de modo que possamos estabelecer uma escala e utilizar uma câmera digital qualquer para filmar o momento do lançamento. Em seguida é só separar o filme em quadros (*frames*), utilizando algum programa de edição de vídeo (utilizamos o VirtualDub 1.3c, que pode ser encontrado gratuitamente na internet), desde o momento em que o foguete deixa a base até o momento em que ocorre toda ejeção de água. O intervalo de tempo de um quadro para outro é mostrado no programa e é da ordem de milésimos de segundo.

Para obtermos u , vamos considerar a água como um fluido perfeito e incompressível e seu escoamento pelo tubo (foguete) estacionário. Utilizando a equação

de Bernoulli, temos [4]

$$\frac{1}{2} \rho v_L^2 + P = \frac{1}{2} \rho u^2 + P_{atm}, \quad (8)$$

onde as quantidades apontadas no primeiro membro da Eq. (8) estão relacionadas à quantidade de água no interior do foguete, ou seja, sua densidade ρ e sua velocidade v_L , a pressão P em sua superfície. No segundo membro estão as quantidades relacionadas à porção de água que é ejetada do foguete, que são sua velocidade relativa u , a qual queremos encontrar, e a pressão atmosférica P_{atm} no bocal da garrafa. Note que estamos desprezando a parte da energia potencial gravitacional da equação de Bernoulli, pois sua magnitude é desprezível comparada com as outras grandezas envolvidas.

Ambas as velocidades u e v_L estão relacionadas com a taxa com que a água é ejetada, ou, equivalentemente, à taxa com que o volume de ar V dentro da câmara aumenta. Esta relação é dada pela equação de continuidade [3, 5]

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{1}{4} u \pi D_B^2 = \frac{1}{4} v_L \pi D_F^2, \quad (9)$$

sendo D_B e D_F os diâmetros do bocal e do corpo da garrafa, respectivamente. A Fig. 10c ilustra as grandezas apresentadas nas Eqs. (8) e (9).

A Eq. (9) mostra que a vazão na área dada pela parte interna da câmara de compressão, corpo do foguete, deve ser a mesma na área dada pelo bocal, pois estamos

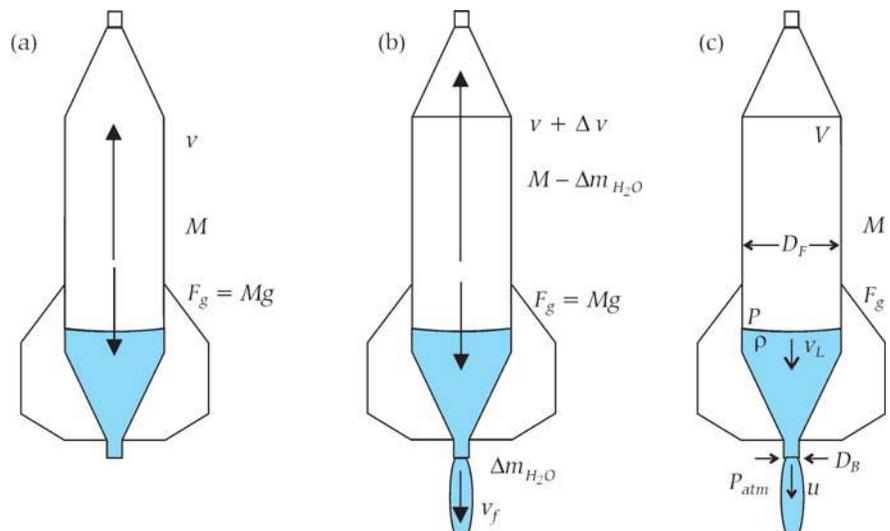


Figura 10. (a) Configuração do foguete no momento em que não é ejetada nenhuma quantidade de água; sua massa é M e sua velocidade é v . A única força atuante é a força gravitacional, F_g . (b) Configuração do foguete após a ejeção de uma pequena quantidade de água com massa Δm_{H_2O} e velocidade v_f . A massa do foguete muda para $M - \Delta m_{H_2O}$ e sua velocidade para $v + \Delta v$. (c) Mostra-se o volume V de ar dentro do foguete; P , a pressão sobre a superfície da água; D_F , o diâmetro do foguete; D_B , o diâmetro do bocal; ρ , a densidade da água; v_L , a velocidade da água dentro do foguete; u , a velocidade de escape da água em relação ao foguete e P_{atm} , a pressão atmosférica.

tratando a água como um fluido incompressível. Isso justifica o fato da velocidade da água no bocal da garrafa (menor área) ser bem maior que em seu interior (maior área). Este fato é interessante, pois é observado no dia a dia quando em um encanamento de uma residência a água flui de um cano de maior diâmetro para um de menor diâmetro. É comum ouvirmos que a água sai com maior pressão. O que ocorre realmente é que a água sai com maior velocidade, o que implica em uma menor pressão nas paredes do cano ou torneira em que a água sai. Este é o famoso fenômeno de Venturi. Essa confusão é comum pelo fato das pessoas associarem a maior transferência de momento da água que sai com maior velocidade sobre nossa mão. Quando colocado desta forma, podemos dizer que ocorre maior pressão, mas na superfície em que a água está colidindo, e não nas paredes do cano ou torneira por onde a água sai. Portanto, se alguém perguntar qual procedimento deveríamos tomar para aumentar a pressão da água na torneira de sua casa, não cometa o erro de dizer que é só diminuir o diâmetro do cano de saída. O que se deve fazer é aumentar a altura da caixa d'água, o que equivale a aumentar a coluna de água sobre o ponto de saída (torneira) e consequentemente a força aplicada sobre este ponto, mas esta já é outra história; vamos retornar ao foguete.

Da Eq. (9) observa-se que v_L é proporcional à razão D_B/D_F , que por sua vez é muito menor que 1, tornando-se menor ainda quando elevada à quarta potência na Eq. (8). Logo, podemos desprezar o primeiro termo da Eq. (8), o que nos permite obter a expressão para a velocidade de escape da água, que é dada por [3]

$$u = \sqrt{\frac{2(P - P_{atm})}{\rho}} \quad (10)$$

Quando a garrafa retorna ao solo observa-se que há vapor de água dentro da mesma, e isso implica que houve resfriamento do ar dentro da garrafa no momento de sua expansão. Como Δt é muito pequeno, significa que este processo de expansão pode ter ocorrido sem trocas de calor entre o sistema, câmara de compressão e a vizinhança. Portanto podemos supor que houve uma expansão adiabática. Admitindo que o ar seja um gás ideal, temos [3]

$$P = P_0 \left(\frac{V_0}{V} \right)^\gamma \quad (11)$$

onde P_0 é a pressão absoluta inicial dentro do foguete, V_0 o volume inicial de ar dentro do mesmo e V seu volume final, que é

o volume da garrafa. Como o ar pode ser considerado um gás diatômico, temos que $\gamma = 1,4$ [4]. Substituindo a Eq. (11) na Eq. (10), obtemos finalmente, para a velocidade de escape da água,

$$u = u_c \sqrt{\left(\frac{V_0}{V} \right)^\gamma - \frac{P_{atm}}{P_0}} \quad (12)$$

onde u_c é a velocidade característica dada por

$$u_c = \sqrt{\frac{2P_0}{\rho}} \quad (13)$$

Calculando u pela Eq. (12) e substituindo na Eq. (6), pode-se obter a velocidade do foguete no momento em que ocorre toda ejeção de água (Eq. (14)) e estimar sua aceleração durante o processo que, dependendo da pressão imposta, pode ser da ordem de dezenas de vezes a aceleração da gravidade; um resultado realmente incrível utilizando apenas garrafas PET, água e ar comprimido.

$$\Delta v = -g\Delta t + u_c \left[\left(\frac{\rho\Delta V}{\rho V_{H_2O} + m_f} \right) \cdot \sqrt{\left(\frac{V_0}{V} \right)^\gamma - \frac{P_{atm}}{P_0}} \right] \quad (14)$$

Nesta simples descrição, a pressão máxima que conseguimos colocar na câmara do foguete foi de aproximadamente $(5,5 \times 10^5)$ Pa ou 80 psi.

Para essa pressão e uma quantidade de água de 600 ml, o tempo de ejeção total foi de 80 ms, como pode ser observado na seqüência de quadros apresentados na Fig. 11. Note que a nitidez do foguete torna-se pequena pelo fato de não trabalharmos com uma câmera profissional e sua velocidade ser muito alta, mas é possível termos uma idéia de sua evolução. Realizamos o experimento em frente a uma torre cujas partições são de precisamente

2 m. A velocidade u calculada pela Eq. (12) foi obtida a partir dos dados a seguir:

- ρ = densidade da água (1000 kg/m^3)
- V_0 = volume inicial de ar dentro do foguete; como utilizamos 600 ml de água temos que $V_0 = 1,4 \text{ l}$. Conversão de unidades: $1 \text{ l} = 10^{-3} \text{ m}^3$
- V = volume total da câmara de compressão do foguete ($\approx 2 \text{ l}$)
- V_{H_2O} = volume de água ($\approx 600 \text{ ml}$)
- D_B = diâmetro do bocal da garrafa ($\approx 1,5 \text{ cm}$)
- D_F = diâmetro da câmara de compressão do foguete ($\approx 11,0 \text{ cm}$)
- m_f = massa do foguete vazio ($\approx 0,081 \text{ kg}$)
- P_{atm} = pressão atmosférica ($\approx 1,05 \times 10^5$ Pa ou 14,7 psi)
- P_0 = pressão absoluta inicial dentro do foguete ($5,5 \times 10^5$ Pa ou 80 psi)
- g = aceleração da gravidade, $9,81 \text{ m/s}^2$
- $\Delta t = 80 \text{ ms}$ ou $0,08 \text{ s}$.

O resultado obtido foi $u \approx 33 \text{ m/s}$ o que nos fornece uma velocidade para o foguete de $\Delta v \approx 20 \text{ m/s}$, que é a velocidade máxima que o foguete atinge durante todo processo de voo. A partir do momento em que a água é totalmente ejetada, o foguete fica sujeito às forças da gravidade e atrito do ar. Daí podemos estimar sua aceleração, que é $a \approx 25 \text{ g}$, um resultado realmente fascinante. Nessa configuração o foguete atingiu uma altura aproximada de 30 m, resultado estimado pela filmagem. Portanto deve-se tomar cuidado e realizar lançamentos em locais abertos como campos de futebol ou praças, onde não existam pessoas ou carros que possam ser atingidos pelo foguete na descida, uma vez que a velocidade com que o foguete chega ao solo também é muito grande. É interessante manter a tampa da garrafa no nariz do foguete, pois ela o protege no momento em que o mesmo choca-se com o solo.

O modelo para obtenção da velocidade

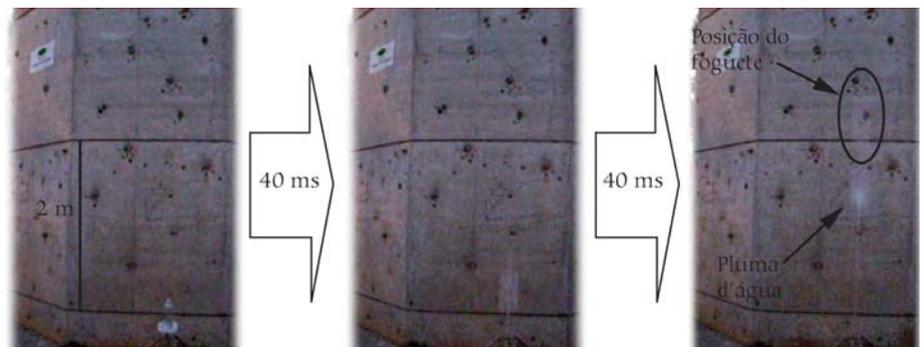


Figura 11. Tempo em que a água é totalmente ejetada do foguete $\Delta t = 80 \text{ ms}$, correspondendo a uma altura de aproximadamente 1,80 m que é o espaço em que o foguete é acelerado. Note a formação de uma pluma d'água ao final da ejeção e a difícil definição do formato do foguete (elipse), devido à sua altíssima velocidade, $\Delta v \approx 20 \text{ m/s}$ nessa posição, obtida pela Eq. (14).

do foguete não é tão ruim, pois na análise dos quadros mostrados na Fig. 11 o foguete percorreu uma distância de 1,8 m em 0,08 s o que dá uma velocidade média de $v_M = 22,5$ m/s (desprezando o atrito, a gravidade e até mesmo as dimensões do foguete, ou seja, é a velocidade média de um ponto material).

Pode-se otimizar os resultados obtidos fazendo um sistema de gatilho para possibilitar o aumento de pressão dentro da câmara do foguete e dispará-lo manualmente, à distância, é claro, ou pesquisar materiais que proporcionem um foguete mais leve fazendo com que

o mesmo voe a alturas bem maiores. Não foi verificado o limite de pressão que as garrafas PET podem suportar, mas é aconselhável não ultrapassar 130 psi, pois, apesar do material que constitui as garrafas ser de grande resistência, é aconselhável respeitar certos limites para evitar

O foguete de garrafa PET aborda uma grande quantidade de fenômenos físicos, e assim destacamos que o professor nunca deve desprezar a simplicidade e a importância de um experimento

eventuais acidentes. Vemos então que a física quando entendida e bem manipulada pode ser muito poderosa e divertida.

Conclusão

Note a quantidade de fenômenos físicos que foi possível abordar em uma simples brincadeira de baixíssimo custo levada a cabo em um final de semana, com resultados incrivelmente chocantes. É importante que nas aulas de física sejam trabalhadas ordens de grandezas de quantidades que pretende-se determinar para que os alunos tenham uma noção mais palpável da ciência.

Para isso não é necessário que se tenha precisão exata, basta ter-se uma idéia do que está acontecendo, e a experimentação é uma ferramenta essencial para estes fins. O professor de física nunca deve desprezar a simplicidade e a importância de um experimento, pois este pode despertar o

interesse de alunos que provavelmente farão história na ciência. Quem sabe, com esta brincadeira do foguete possam surgir futuros colaboradores para o programa espacial brasileiro.

Referências

- [1] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentos de Física - Mecânica* (Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro), v. 1, 4ª ed.
- [2] S.A. Widmark, *The Physics Teacher* **36**, 148 (1998).
- [3] D. Kagan, L. Buchholtz and L. Klein, *The Physics Teacher* **33**, 159 (1995).
- [4] H. Moysés Nussenzveig, *Curso de Física Básica - Fluidos, Oscilações, Ondas e Calor* (Editora Edgard Blücher LTDA, 2002), v. 2, 4ª ed.
- [5] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentos de Física - Gravitação, Ondas e Termodinâmica* (Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro), v. 2, 4ª ed.

Química Nova na Escola



Desde 1995 a revista Química Nova na Escola traz artigos abordando diversas áreas da química, dentre as quais ensino, experimentos de baixo custo, atualidades e história da química.

Os fascículos de 2007 trouxeram artigos sobre embalagem longa vida, chuva ácida, investigação dos componentes presentes no leite, maresia, formação de professores, identificação de íons ferro em medicamentos comerciais e muito mais.

Além dos fascículos periódicos, QNesc publica seus Cadernos Temáticos, fascículos abordando temas específicos em química. Em 2007 sairá o caderno Representação Estrutural em Química.

Conheça mais sobre as atividades da Divisão em Ensino de Química acessando a página da Sociedade Brasileira de Química em

<http://www.s bq.org.br>



.....
Aurélio W. Néspoli

Professor de física, consultor da
 Organização Geral dos Professores
 Ticunas Bilíngües

E-mail: awnespoli@gmail.com

A educação escolar indígena vem passando por muitas transformações desde os anos 80, quando ocorreu o fortalecimento de organizações e associações indígenas em busca de sua autonomia e autodeterminação. A Constituição Federal de 1988 traz mudanças importantes para a afirmação dos direitos indígenas. A Educação Escolar Indígena, que desde a colônia tinha característica integracionista, na qual processo de aculturação e assimilação tentava homogeneizar a sociedade brasileira, passou, com a LDB (1996), a ser reconhecida como comunitária, intercultural, bilíngüe, específica e diferenciada. Esses pressupostos vieram contemplar a aspiração e a luta dos 225 povos indígenas brasileiros que falam 180 línguas [1]. Destes, a etnia Ticuna, com cerca de 30000 membros, é uma das mais numerosas do país e se distribui na região do Alto Solimões, no Amazonas (Fig. 1).

O presente trabalho foi realizado em novembro de 2006 no Centro de Formação

de Professores Ticunas TORÜ NGUEPA-TAÜ, na Aldeia Filadélfia, em Benjamin Constant, região fronteira do Brasil com a Colômbia e o Peru, em uma continuidade do Projeto Educação Ticuna. Esta etapa do projeto - que teve por objetivo a formação de professores indígenas no nível de ensino médio - foi realizada pela Organização Geral dos Professores Ticunas Bilíngües (OGPTB) [2] com recursos do FNDE e SECAD/MEC. O curso tem periodicidade semestral e é composto por etapas presenciais e não-presenciais. Além dos ticunas, o curso também busca promover a formação de professores indígenas de outras etnias como caixanas e cocamas. Devido às características peculiares da educação indígena, os professores-cursistas são de diferentes faixas etárias, encontram-se em diferentes níveis de escolaridade na escola indígena de origem e muitos já freqüentaram outras etapas presenciais do referido curso.

Em consonância com o Referencial Curricular Nacional para a Educação Indí-



Figura 1. Mapa da região do Alto Solimões.

Este artigo relata esforços envolvendo educação escolar indígena, apresentando as diversas interpretações sobre tempo e espaço por parte dos Ticunas de diversas aldeias na região fronteira do Brasil com a Colômbia e o Peru.



Centro de formação dos professores.



Sala de aula.



Grupo testando um relógio de areia.

gena [3] e com a Proposta Curricular para as Escolas Ticunas [4], nessa etapa, em que pela primeira vez estudaram física, realizou-se uma abordagem sobre o tempo, o espaço e a velocidade. Levou-se em consideração para seu desenvolvimento as noções referidas por Terezinha Machado Maher [5] em educação indígena, que são os processos tradicionais de aprendizagem e aquisição de conhecimentos característicos de cada etnia, e a educação escolar indígena, processos de ensino-aprendizagem que visam complementar aqueles

conhecimentos com os códigos escolares não-indígenas e que facilitem o intercâmbio e o diálogo entre as diversas culturas, suas ciências e suas tecnologias. Também foram consultados artigos diversos que relatam experiências em educação escolar indígena em diferentes níveis de ensino, notadamente na área de ciências [6].

Assim, preliminarmente, o estudo de cada tema iniciou-se por uma investigação das noções e conceitos gerais que os professores-cursistas têm de suas experiências cotidianas e escolares. As discussões foram realizadas em grupos de discussão e as conclusões apresentadas em painéis orais, na língua ticuna e em língua portuguesa.

O tempo

O que é tempo?

Alguns exemplos recolhidos das narrativas:

"...tempo é o tempo de uma vida..."

"...tem passado, presente e futuro, do nascimento até a morte..."

"...é muito difícil dizer o que é tempo..."

"...é saber se vai chover ou fazer sol..."

"...é a duração do dia da noite e do ano..."

"...é o tempo de plantar depois de colher e da escola..."

"...na música tem o tempo..."

"Como medir o tempo?" (sem utilizar relógios)

"...para medir o tempo podemos usar a sombra do Sol na árvore, no galho, no chão ou na sombra da pessoa, a sombra vai mudando, quando não tem sombra é meio dia e assim até a noite..." (a maioria dos grupos também deu exemplos similares utilizando a sombra do Sol)

"...pela enchente do rio... quando esvazia passou o tempo das chuvas..."

"...pelas estações do ano..."

"...por exemplo, nosso tempo de viagem foi 3 dias e 2 noites até aqui..."

"...meu avô era experiente, ele acordava antes do Sol ia para a roça e quando sentia fome era hora do almoço e voltava quando o Sol se escondia..."

"...pelo cantar dos galos a noite, eles cantam três vezes, à meia-noite, às três horas e depois de manhã, então a gente sabe as horas..."

"...pela hora da plantação e da colheita..."

"...pelo tempo do amor..."

"...pela mudança da Lua..."

"...pelo tempo da escola, tem o sinal de manhã, na hora da merenda, no almoço..."

"...pelo carnaval, depois o tempo da chuva do pirarucu, do tracajá..."

"...o tempo da voadera (barco pequeno com motor potente) daqui até Benjamin Constant é 10 minutos e até Tabatinga é 25 minutos..."

"...pelo movimento..."

A seguir em exposição dialogada, foi discutido um texto com adaptação de artigos sobre tempo, espaço e matéria [7], sobre música, poesia e dança [8] e sobre os ritmos do tempo [9], que serviu para sintetizar a atividade anterior contextualizando-a com as diferentes noções de tempo existentes: o tempo físico, o tempo biológico e o tempo social, que aborda o "tempo da fábrica", o "tempo da natureza" (do plantar e do colher) e também o tempo das rotinas escolares.

A questão colocada de como medir a passagem do tempo ficou contemplada com a atividade de construção de marcadores de tempo, com destaque para o relógio de areia [10] utilizado para medição de diversos eventos. A atividade possibilitou discutir-se o que é medir, a necessidade de escalas em instrumentos de medidas, sua calibração e também discussão sobre a necessidade da padronização universal de medidas, exemplificada aqui pela sincronização dos relógios, para facilitar diversas atividades da vida cotidiana.

O espaço

"O que é espaço?"

"...é o espaço que vivemos e temos que conservar bom..."

"...o tamanho da aldeia..."

"...é o universo...os planetas..."

"...é o que vai da Terra até o Sol..."

"...é a distância entre dois pontos..."

"...professor, esse é o meu espaço, se eu estou aqui outro não pode estar, então isso é espaço..."

"...por exemplo a nossa escola, a nossa sala de aula tem espaço..."

"...é toda a matéria..."

"...também tem o espaço da floresta e da roça..."

"...é o todo em volta..."



Grupo de estudo apresentando trabalho.



Grupo construindo e utilizando o telefone de fio.

Podemos inferir das narrativas algumas construções conceituais: a questão ambiental; o cosmológico (o universo e o sistema solar); o da sobrevivência (a aldeia enquanto lugar demarcado, a floresta e a roça); o do conhecimento (a escola); o da matéria (a impenetrabilidade); o da física-matemática (a distância entre dois pontos).

“Como medir distâncias?” (sem utilizar escalas)

Surgiram inúmeros exemplos de padrões de medidas de comprimento: o pé, o palmo, o polegar, o punho, o braço, o passo, a folha de caderno e a corda tucum em que são feitos nós ao se efetuarem as medidas e depois se estabelecendo as proporções entre elas. Para retomar a discussão sobre a padronização de medidas, os grupos realizaram medidas do comprimento das bancadas. Os resultados foram bem diferentes porque cada um utilizou um padrão, o que já havia ocorrido no caso das medidas de tempo. Por outro lado, os resultados encontrados foram muito próximos entre si ao efetuarem novamente as mesmas medições utilizando agora a escala métrica. Isso evidenciou mais uma vez a conveniência de se estabelecer a padronização para medidas.

A velocidade

“O que é velocidade?”

“Quem tem mais velocidade, o tracajá ou o caracol?”

“O Batista e o Rogério, encostados na parede onde está a janela da sala de aula, saíram no mesmo instante e se dirigiram para a porta, quem teve velocidade maior?”

“Como medir velocidade?”

A noção intuitiva de rapidez se fez presente com a intervenção das dimensões espaço-tempo na maioria das respostas.

“O tracajá tem mais velocidade do que o caracol porque anda mais do que o caracol” (implícito na observação o mesmo intervalo de tempo, distância maior).

“O Batista, porque ele chegou primeiro” (implícita na observação, mesma distância, tempo menor).

No entanto, para a medida quantitativa da velocidade houve dificuldade na aplicação do código matemático – a relação entre espaço e tempo. Para a determinação matemática dos valores para a velocidade, foram criadas inúmeras situações-problemas. Os valores das distâncias percorridas e os respectivos tempos realizados foram

coletados em atividades experimentais.

Para englobar os temas estudados e aproveitando que os professores-cursistas vieram de localidades distantes até o Centro de Formação, viajando de barco pelo Solimões, foi pedido aos grupos para:

a) Determinar a distância, em quilômetros, que viajaram pelo rio, desde suas comunidades até o Centro de Formação (para a atividade utilizar uma cópia de mapa da região com definição da escala gráfica para o real, conforme a Fig. 1);

b) Elaborar uma tabela (Tabela 1) que contivesse essas distâncias, o tempo em horas que levaram na viagem de vinda, o tempo previsto para a viagem de retorno (pela experiência anterior que tinham) e determinar as velocidades de viagem tanto na vinda quanto na volta (velocidades médias);

c) Elaborar uma tabela (Tabela 2) que contivesse as distâncias entre as comunidades;

d) Explicar as diferenças entre os valores das velocidades de vinda e de retorno.

Para as medições pelo rio, devido às suas curvas e para a maior precisão do resultado final, os grupos necessitaram escolher trechos pequenos que se aproximassem de trechos retilíneos. Grosso modo, aplicaram um procedimento do cálculo

Tabela 1 – Distâncias das localidades Ticunas até Benjamin Constant; os tempos de viagem na vinda e de retorno; valores das velocidades médias.

Localidades	Distâncias (km)	Tempo de viagem (vinda) (h)	Tempo de viagem (retorno) (h)	Velocidade barco (vinda) (km/h)	Velocidade barco (retorno) (km/h)
Tonantins	382	60	21	6,37	18,20
Santo Antonio Içá	349	56	19	6,23	18,36
Amaturá	292	36	16	8,10	18,25
São Paulo de Olivença	213	25	12	8,52	17,75
São Leopoldo	26	4	1,5	6,50	17,30
Tabatinga	42	1,5	2,5	28,00	16,80

Tabela 2 – Distâncias aproximadas entre localidades (pelo rio), determinadas no mapa. Escala gráfica: 1 cm correspondendo a 17 km na Fig. 1 (Grupo 1 – Turma 1).

Localidades	Tonantins	Santo Antonio de Içá	Amaturá	São Paulo de Olivença	São Leopoldo	Benjamin Constant	Tabatinga
Tonantins	0	34	85	170	366	382	424
Santo Antonio Içá		0	51	136	331	349	391
Amaturá			0	85	280	292	336
São Paulo de Olivença				0	200	213	255
São Leopoldo					0	26	68
Benjamin Constant						0	42
Tabatinga							0

matemático infinitesimal.

Houve iniciativas originais, como deixar um barbante ao longo do rio no mapa e com ele ir seguindo seu curso, dar nós no barbante quando este “passava” pelas localidades e, depois de medir o comprimento entre nós, determinar as distâncias em quilômetros por meio da escala gráfica.

Por fim, as diferenças entre as velocidades de vinda e de retorno foram explicadas pela velocidade das águas. Quando chegam, o barco “sobe” o rio, viajam em sentido oposto ao fluxo das águas e quando retornam, o barco “desce” o rio, viajam no mesmo sentido do fluxo.

A velocidade da luz e do som

“Por que o som do trovão chega aos nossos ouvidos depois de observarmos o raio?”

“Onde caiu o raio?”

O que é luz, o que é som? Embora o foco da atividade não fosse desenvolver o estudo das ondas, tema conceitual para ser trabalhado em outra etapa do curso, foi oportuno explorar alguns aspectos de tempo e velocidade desses eventos. Foi explicado que a velocidade da luz é da ordem de um milhão de vezes maior do que a velocidade do som no ar e que o tempo requerido tanto para a luz quanto para o som chegarem ao observador depende da distância deste até o local da ocorrência. Foi explicado ainda que, no caso do raio, essa enorme diferença entre as velocidades faz com que a visão da faísca seja praticamente instantânea, o mesmo não acontecendo com o som do trovão. Assim, para o cálculo da distância do raio ao observador basta se conhecer o tempo que o som levou até este. Já para distâncias astronômicas o tempo de viagem da luz é considerável, sendo de aproximadamente 8 min o tempo requerido para a luz se deslocar do Sol até a Terra.

Outros exemplos relatados acerca do caráter instantâneo do movimento da luz foram os das comunicações de rádio, TV e

telefonia, onde as transmissões são feitas na velocidade da luz, possibilitando que sons e imagens cheguem aos receptores em tempo real (praticamente no mesmo instante que foram geradas).

Ondas geradas em uma mola plástica serviram de modelo explicativo de como o som se propaga no ar. Para aplicar e exemplificar a transmissão sonora em outros meios mecânicos, os grupos construíram telefones didáticos [11] utilizando copos e barbante. Os professores-cursistas lembraram a possibilidade de se utilizar nessa experiência cuias (feitas com as cascas de frutos) e a corda de tucum, que são materiais mais facilmente encontrados em suas comunidades, em lugar do barbante e dos copos plásticos.

Considerações

- Os temas foram desenvolvidos segundo as especificidades previstas na educação escolar indígena;

- As narrativas escritas ou orais sobre os diversos temas, apesar das dificuldades de muitos dos professores-cursistas com a língua portuguesa, demonstraram fortes componentes lógicos e abstratos;

- As atividades das aulas de física possibilitaram uma interação interdisciplinar com história (discussão sobre o tempo cronológico e o tempo da duração), geografia (mapas, escalas gráficas, relevo), matemática e a língua Ticuna, se considerarmos que os grupos apresentavam os painéis primeiro na língua da etnia;

- Para a avaliação foram considerados os trabalhos realizados em grupos de estudo, os materiais produzidos, a apresentação em painéis e os trabalhos individuais.

- A etapa não-presencial será cumprida pelos professores-cursistas em suas escolas de origem pela elaboração de um plano de curso que será aplicado junto a seus alunos. Os planos de curso, os resultados de sua aplicação e experimentos ou materiais desenvolvidos serão levados ao Centro de Formação na próxima etapa, para avaliação.

Nota

Fotos tiradas pelo Autor e autorizadas sua veiculação pela OGPTB.

Referências

- [1] Instituto Socio Ambiental - ISA. *Povos Indígenas no Brasil 2001-2005* (ISA, São Paulo, 2006).
- [2] OGPTB – www.ogptb.org.br.
- [3] Brasil, *Referencial Curricular Nacional para as Escolas Indígenas* (Brasília, MEC-SEE, 1998).
- [4] Organização Geral dos Professores Ticunas Bilingües (OGPTB), *Proposta Curricular das Escolas Ticunas. Projeto Educação Ticuna* (OGPTB, Benjamin Constant, 2001).
- [5] T.M. Maher, in: *Formação de Professores Indígenas: Repensando Trajetórias*, editado por L.D.B. Grupioni (MEC/SECAD, Brasília, 2006), p. 11-37.
- [6] C.A. Argüello, *Física na Escola* 5(1) 4 (2004).
- [7] J.L. Lopes, in: *Tempo e História*, editado por A. Novaes. (Cia. das Letras, São Paulo, 1992), p. 167-175.
- [8] A. Bosi, *Tempo e História*, editado por A. Novaes. (Cia. das Letras, São Paulo, 1992), p. 19-32.
- [9] BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais - História e Geografia, 1ª a 4ª séries* (MEC/SEE, Brasília, 2000), 2ª ed.
- [10] SBPC, *Ciência Hoje na Escola* 7, 18 (1999).
- [11] E.C. Valadares, *Física mais que divertida* (Editora da UFMG, Belo Horizonte, 2002).

Para saber mais

- Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF), *Física 1* (Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991).
- R. Moraes, (org). *Construtivismo e Ensino de Ciências: Reflexões Epistemológicas e Metodológicas* (EDIPUCRS, Porto Alegre, 2000).
- G.J. Whitrow, *O que é o Tempo?* (Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro, 2005).



.....
Fernando Lang da Silveira

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

E-mail: lang@if.ufrgs.br

Há anos temos discutido com nossos alunos sobre as inclinações das ruas e das estradas de rodagem. Ao inquirí-los sobre a maior inclinação de ruas ou estradas que conhecem, invariavelmente obtivemos como resposta ângulos com a horizontal superestimados. Por exemplo, em 36 sujeitos (alunos do curso de física que já cursaram as disciplinas de física geral, alunos do mestrado profissional em ensino de física e inclusive doutores em física) encontramos como resposta ângulos que variaram de 20° a 70° , ficando a média em 44° (mais de 80% dos respondentes indicaram ângulos maiores do que 30°). Ao avançarmos nessa discussão, questionando-os sobre onde poderiam encontrar inclinações de 20° , a resposta é que tal declividade é comum em estradas e ruas.

Em livros-texto de física geral costumamos encontrar planos inclinados com inclinações consistentes com as respostas de nossos alunos. As placas de sinalização em rodovias reforçam a idéia dos ângulos próximos ou maiores do que 30° em declives acentuados, conforme observa-se nas fotografias da Fig. 1.

A superestimativa da declividade das rampas está referida na interessante obra de Minnaert [1], constituindo-se em um

problema para a psicologia da percepção. O autor também nota que usualmente superavaliamos a elevação dos corpos celestes.

O objetivo deste artigo é o de demonstrar, por intermédio de algumas medidas realizadas a partir de fotografias, que a inclinação das ruas e das estradas é bem menor do que a avaliada pelos nossos alunos. Justificaremos teoricamente as razões pelas quais os aclives ou os declives com a declividade por eles imaginada são impraticáveis para automóveis e caminhões.

Medindo a inclinação

A medida da inclinação das ruas em uma cidade pode ser realizada sem dificuldade com auxílio de fotografias. Quando há construções no entorno de uma rua, é fácil se encontrar nas edificações linhas indicadoras da vertical e/ou da horizontal. A fotografia da Fig. 2 mostra uma das ruas muito inclinadas em Porto Alegre (nossos alunos costumam atribuir a esta rua - Lucas de Oliveira - inclinações superiores a 30° !).

A fotografia da Fig. 3 mostra outra rua com grande declividade no centro de Porto Alegre, interdita para a subida de caminhões por motivos de segurança. No dia em que a fotografia foi realizada, cho-

As inclinações máximas de ruas e estradas são bem menores do que aquelas imaginadas pela grande maioria dos nossos alunos. Inclinações em relação à horizontal superiores a 5° excepcionalmente são encontradas em rodovias. Ruas com inclinações próximas de 15° costumam ser raras e normalmente estão interditas para a subida de caminhões. O limite teórico para a inclinação da rampa que um automóvel com tração em duas rodas pode galgar situa-se abaixo de 30° com pista seca e abaixo de 20° com pista molhada.



Figura 1. Placas sinalizando os declives acentuados em rodovias.



Figura 2. Nas edificações no entorno da rua encontramos indicadores da vertical e/ou horizontal.

via e constatamos que os automóveis que por ali trafegavam costumavam patinar as rodas de tração.

Inclinações máximas das rampas

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, antigo DNER) dá recomendações para as inclinações máximas em estradas de rodagem [2]. Uma maneira mais esclarecedora de referir a inclinação de uma rampa em relação à horizontal é através de sua declividade, isto é, da tangente do seu ângulo de inclinação. Na verdade, as recomendações do DNIT para as rodovias são expressas desta forma, ao invés de especificar um ângulo. Uma rampa de 10° , por exemplo, é referida pela tangente de 10° , que é aproximadamente 0,18 ou 18%, sendo que na terminologia dos manuais técnicos esta declividade denomina-se como *inclinação percentual*. Encontramos a mesma nomenclatura também nas especificações técnicas para a capacidade máxima de subida de caminhões ou de outros veículos nos manuais dos fabricantes.

Em uma rampa inclinada por 10° , sobe-se cerca de 18 m para cada 100 m de deslocamento horizontal. Para ângulos pequenos sabe-se que a tangente e o seno do ângulo são aproximadamente iguais. Portanto também podemos interpretar esta declividade de 18% como subindo 18 m em cada 100 m de deslocamento sobre a



Figura 3. Rua muito inclinada no centro de Porto Alegre, interdita para a subida de caminhões.

rampa. Dar a informação desta forma auxilia a entender que não é usual nas ruas de uma cidade se encontrar rampas com tal declividade, pois implicaria que em uma extensão igual ao comprimento de um campo de futebol houvesse um desnível de mais de 4 andares!

Outro argumento sobre a inexistência das inclinações imaginadas pelos alunos diz respeito às escadas. É comum que os degraus tenham a altura igual a cerca da metade de sua largura. Se deitarmos uma prancha de madeira sobre a escada, estaremos constituindo uma rampa com declividade de 50% ou inclinação de 27° . A simples experiência de tentar subir por essa prancha é muito elucidativa, demonstrando que, se alguma rua tivesse essa inclinação, o passeio para pedestres deveria ser em forma de escada e não de rampa. Nas rampas de acesso para pedestres é notória a ocorrência de inclinações muito menores do que em escadas.

As declividades máximas recomendadas pelo DNIT dependem da classe da estrada de rodagem; em estradas de Classe 0 - vias expressas - onde o volume de tráfego é o mais alto, recomenda-se no máximo inclinações de 5% (cerca de 3°). Já nas rodovias de Classe IV (aquelas que possuem o mais baixo volume de tráfego) as inclinações máximas recomendadas são de 9% (cerca de 5°).

A principal razão subjacente a essas recomendações está na velocidade que os automóveis e, principalmente, os caminhões conseguem manter nos aclives. Rampas com inclinação de 3° não permitem que os caminhões pesados trafeguem com velocidades muito superiores a 20 km/h (vide a seção seguinte).

Em situações excepcionais, encontraremos estradas onde essas inclinações máximas excedem as recomendações. É o caso, por exemplo, da Rodovia SC 438 no trecho que sobe a belíssima Serra do Rio do Rastro. Em apenas 8 km a rodovia passa por um desnível de 670 m, o que significa uma subida com uma inclinação média de 5° . Em alguns trechos desses 8 km encontram-se rampas excepcionalmente inclinadas.

A fotografia da Fig. 4 mostra um desses trechos, onde ocorre a inclinação inusitada de cerca de 10° ou 18° .

Na Fig. 4 o poste foi tomado como indicador da vertical. As fissuras nas escarpas da montanha constituem outras linhas que indicam, aproximadamente, a vertical nesta bela paisagem. No detalhe ampliado do pavimento da estrada, observa-se que ele é constituído por placas de cimento com estrias. Devido à grande inclinação, faz-se necessário um pavimento antiderrapante para minimizar a possibilidade de deslizamento dos pneus sobre o cimento, principalmente quando a pista está molhada ou até congelada. Caso os pneus deslizem, perde-se em força de atrito, pois, como é bem sabido, o coeficiente de atrito cinético dos pneus com o pavimento é menor do que o coeficiente de atrito estático. Esta perda em força de atrito é indesejável tanto na descida - quando a força de atrito é utilizada para frear os veículos -, quanto na subida - neste caso a força de atrito nas rodas de tração é a força tratora ou motora do veículo.

A rua mais inclinada do mundo, segundo a Wikipedia¹, é a Baldwin Street, em Dunedin, Nova Zelândia. A sua inclinação é 19° ou 35%!

Força de tração e potência de tração nos veículos em subidas

Um veículo com massa M , que se desloque com velocidade constante v , ascendendo por uma rampa com inclinação θ com a horizontal, necessita que o seu motor desenvolva uma potência capaz de anular a potência das forças que resistem ao seu avanço. Além das forças de resistência exercidas pelo ar e pela pista de



Figura 4. Rampa com inclinação excepcionalmente grande (10° ou 18°) em um trecho da Rodovia SC 480 na Serra do Rio do Rastro.

rolamento no veículo, a componente do peso do veículo paralela à pista ($Mg\text{sen}\theta$) opõe-se ao seu movimento. Portanto, a potência desenvolvida pelo motor P_{Motor} nas rodas de tração deve satisfazer a seguinte condição

$$P_{\text{motor}} > Mg\text{sen}\theta v. \quad (1)$$

Para um caminhão pesado ($M = 40000$ kg) deslocando-se com velocidade constante de 36 km/h ou 10 m/s por um aclive com inclinação de 3° , resulta que a potência desenvolvida pelo motor é tal que

$$P_{\text{motor}} > 4000 \times 9,8 \times \text{sen } 3^\circ \times 10 = 205.000 \text{ W}, \quad (2)$$

ou ainda,

$$P_{\text{Motor}} > \frac{205000}{740} \text{ cv} = 277 \text{ cv}. \quad (3)$$

Ora, a potência mínima referida na expressão (3) é comparável à (ou até maior do que a) potência máxima nominal especificada pelos fabricantes de caminhões pesados e, portanto, a velocidade de 36 km/h suposta acima dificilmente poderá ser mantida por um caminhão em tal aclive. Desta forma, em aclives com 3° ou 5% de inclinação, um caminhão pesado jamais poderá se mover na velocidade usual do fluxo do tráfego, que é de 80 km/h.

Outro aspecto importante relativo ao tráfego de caminhões pesados diz respeito às descidas. Caso um caminhão pesado trafegue descendo por uma rampa com 3° de inclinação, a potência desenvolvida pela força gravitacional será uma potência motora! Ora, boa parte desta potência de algumas centenas de cavalos-vapor deverá então ser dissipada pelo sistema de frenagem do veículo (freios convencionais e freio-motor) sob pena da velocidade crescer (uma parte desta potência será dissipada pelas forças de resistência do ar e resistência ao rolamento). Por isto, junto às placas que sinalizam os declives prolongados há outras advertindo para o uso do freio-motor, sob pena de superaquecimento dos freios convencionais, não apenas nos caminhões, mas também nos automóveis.

A força que traciona os veículos rampa acima é a força de atrito entre os pneus e o pavimento nas rodas de tração (A_T). A Fig. 5 representa um automóvel com tração dianteira em um aclive. O módulo de A_T deve exceder o módulo da componente do peso na direção paralela à rampa ($Mg\text{sen}\theta$), para que o veículo trafegue com velocidade constante, pois há ainda outras forças que resistem ao avanço do veículo (estas outras forças de resistência não estão representadas na Fig. 5), conforme já notado anteriormente.

Portanto, temos

$$A_T > Mg\text{sen}\theta. \quad (4)$$

Caso as rodas de tração não deslizem (patinem) sobre a pista, o atrito entre os pneus e o pavimento será estático (isto é desejável, pois possibilita que a força tratora seja máxima). Neste caso, sendo μ_e o coeficiente de atrito estático entre os pneus e o pavimento e N_2 a força normal exercida pelo pavimento nas rodas de tração, obtém-se

$$A_T \leq \mu_e N_2. \quad (5)$$

Assim, das expressões (4) e (5), concluímos que

$$Mg\text{sen}\theta < A_T \leq \mu_e N_2. \quad (6)$$

As forças normais ao pavimento exercidas sobre todas as rodas devem anular a componente do peso perpendicular à pista de rolamento. Supondo que as rodas de tração estejam sob a ação de força normal com intensidade semelhante às outras rodas, podemos escrever

$$N_2 \cong \frac{Mg\text{cos}\theta}{2}, \quad (7)$$

que, após substituído na expressão (6), fornece

$$\text{tg } \theta < \frac{\mu_e}{2}, \quad (8)$$

e finalmente

$$\theta < \text{arctg} \left(\frac{\mu_e}{2} \right). \quad (9)$$

A expressão (9) nos permite estimar qual inclinação pode ser galgada por um veículo com tração em duas rodas.

Se admitirmos que, em situação excepcionalmente boa, o coeficiente de atrito estático seja aproximadamente igual à unidade, obtemos

$$\theta < \text{arctg} \left(\frac{1}{2} \right) \cong 27^\circ, \quad (10)$$

donde concluímos que a inclinação máxima possível de ser vencida por um veículo com tração simples, independentemente de qual seja o torque que o seu motor transmita às rodas motrizes, é inferior a 30° .

Caso suponhamos uma situação envolvendo pista de asfalto ou cimento molhado ($\mu_e \approx 0,7$), a inclinação máxima

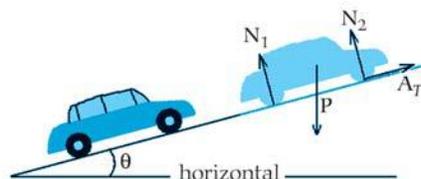


Figura 5. Veículo subindo a rampa.

possível se reduz para aproximadamente 20° ou 35% . Este resultado teórico é consistente com o fato relatado anteriormente de que para alguns automóveis que trafegavam por uma rua molhada, com inclinação de 16° ou 29% no centro de Porto Alegre, verificava-se o deslizamento dos pneus de tração sobre o asfalto.

Conclusão

Constatamos com os nossos alunos que o tema das inclinações das ruas e estradas é um assunto que lhes desperta o interesse não somente porque as suas avaliações sobre os ângulos estão em flagrante conflito com a realidade mas também porque o assunto se presta para uma profícua discussão sobre tração e potência de veículos automotores, bem como sobre o papel de força motora ou tratora desempenhado pela força de atrito entre os pneus de tração e a pista de rolamento.

Os cálculos relativamente simples que apresentamos, além de estabelecer a potência mínima necessária para que um veículo possa se deslocar com uma certa velocidade por um dado aclive, fixam um valor máximo para a inclinação de ruas e estradas em função do coeficiente de atrito estático entre os pneus e o pavimento. Tais resultados justificam a inexecutabilidade das inclinações superestimadas por aqueles que nunca foram esclarecidos com relação a este assunto, e confirmam as recomendações ditadas pelo DNIT para as inclinações máximas em estradas de rodagem.

Alguns de nossos discentes do mesotriênio profissional em ensino de física (professores de ensino médio em serviço) já envolveram seus alunos na feitura de fotografias com o objetivo de determinar as inclinações de ruas, promovendo uma competição entre eles para encontrar a rampa mais inclinada. Essa atividade simples fora da sala de aula, além de ter um caráter lúdico, mostra que a física pode ser ensinada de forma contextualizada.

Agradecimento

À profª Maria Cristina Varriale do IM-UFRGS pela leitura crítica deste artigo e pelas sugestões apresentadas.

Nota

¹http://en.wikipedia.org/wiki/Baldwin_Street,_Dunedin.

Referências

- [1] M. Minnaert, *The Nature of Light and Colour in the Open Air* (Dover, New York, 1954).
- [2] DNER. *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais* (IPR Publicações, Rio de Janeiro, 1999).



Fotografando com câmara escura de orifício: a óptica e o processo fotográfico na sala de aula

A fotografia é uma atividade com cerca de 150 anos que evoluiu rapidamente nos últimos anos, principalmente com o advento da fotografia digital, mas os princípios físicos envolvidos no processo de formação de imagens permanecem os mesmos desde o início.

Embora sua descoberta tenha utilizado diversas outras descobertas científicas que ocorreram em momentos distintos, atualmente podemos entender como funciona o processo fotográfico utilizando apenas dois princípios: o princípio da câmara escura de orifício, relacionado ao processo de formação de imagens, e o princípio da fotoquímica, que nos permite compreender como as imagens podem ser registradas.

Uma câmara escura é uma caixa ou outro recipiente qualquer com um orifício em uma face e uma janela revestida de material translúcido, como o papel vegetal, na face oposta (veja a Fig. 1).

Quando se aponta o orifício da câmara escura para um objeto bem iluminado, como por exemplo uma vela acesa, observa-se no anteparo fosco a projeção da imagem desse objeto.

A imagem formada pela câmara escura é invertida, e isso ocorre devido a uma

importante propriedade da luz, que é a propriedade de se propagar em linha reta. Sendo assim, o raio de luz que é emitido pela parte superior da vela passa pelo orifício da câmara escura e é projetado na parte inferior do anteparo. A imagem do objeto no anteparo é formada por todos os raios que partem da vela e atingem o anteparo (Fig. 2).

A câmara escura é o instrumento óptico mais simples que existe, pois forma imagens somente selecionando os raios de luz. Mas para se chegar à fotografia não bastava apenas o princípio da câmara escura, também era preciso saber como registrar as imagens.

A solução inicial para esse problema foi dada no final do século 18 com a descoberta da heliografia (gravura com a luz solar) pelo oficial da marinha francesa Joseph Nicéphore Niépce (1765-1833), posteriormente aprimorada por Louis Daguerre (1787-1851), cujo método ficou conhecido como Daguerreotípia, que foi sendo aperfeiçoado com o tempo até se chegar aos filmes que conhecemos hoje em dia.

Para se construir uma máquina fotográfica utiliza-se basicamente uma câmara escura de orifício para a formação de

O funcionamento do processo fotográfico utiliza apenas dois princípios: o da câmara escura de orifício, relacionado ao processo de formação de imagens, e o da fotoquímica, que nos permite compreender como as imagens podem ser registradas

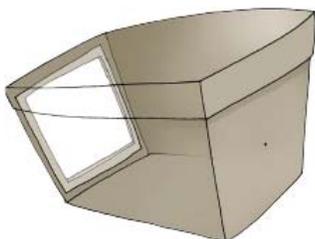


Figura 1. Câmara escura de orifício.

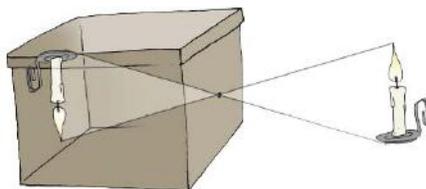


Figura 2. Imagem formada pela câmara escura.

.....
Carlos Eduardo Rossatti de Souza,
João Ricardo Neves e
Mikiya Muramatsu*

Laboratório de Óptica, Departamento de Física Geral, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

*E-mail: mmuramat@if.usp.br

.....

Nesse trabalho descrevemos de forma simples o procedimento adotado para montar um laboratório fotográfico de baixo custo utilizando princípios de óptica geométrica, em especial o princípio da câmara escura de orifício para formar e registrar imagens.

imagens, e o registro das imagens é feito através do processo fotoquímico, utilizando um filme ou um papel fotográfico. No nosso caso utilizamos papel fotográfico preto e branco.

O papel fotográfico preto e branco possui pequenos cristais de sais de prata (o mais utilizado é o brometo de prata), e eles são sensíveis à luz, ou seja, onde há incidência de luz ocorre uma reação de oxirredução, decompondo esse sal e fazendo com que a prata na forma iônica se transforme em prata metálica, que é escura, dando o contraste no papel fotográfico. Embora essa reação com a luz ocorra efetivamente, quando tiramos o papel fotográfico da câmara não se observa nenhuma imagem no papel, que é o que chamamos de imagem latente. Para que a imagem surja no papel fotográfico é necessário fazer a revelação, etapa na qual a imagem ficará evidenciada no papel formando o negativo fotográfico.

Agora vamos ver como é possível tirar uma foto utilizando uma câmara escura. A idéia é bem simples, já que temos um instrumento óptico que projeta imagens e temos meios de registrar essa imagem, seja com filme ou papel fotográfico.

Em uma máquina fotográfica convencional colocamos o filme para que a imagem seja registrada, enquanto a lente, que fica na frente do corpo da máquina, serve para projetar as imagens diretamente no filme. Com a câmara escura a idéia é a mesma, ou seja, ao invés de colocarmos um papel vegetal para a visualização da imagem, colocamos um papel fotográfico, e quando a imagem é projetada no papel fotográfico ela é registrada. Para entender como funciona o papel fotográfico, vamos imaginar que estamos tirando uma foto da zebra, como mostrado na Fig. 3a.

Em primeiro lugar, como o papel fotográfico é sensível à luz, o objeto a ser fotografado deve ser bem iluminado, e como a zebra da figura é bicolor, a parte clara refletirá muita luz, ou seja, sensibilizará o papel fotográfico. Já as partes escuras da zebra refletirão pouca luz, conforme mostra a figura. Após fotografarmos a zebra a foto ainda não está pronta, pois o filme deve ser revelado em um laboratório, e a imagem obtida no nosso caso é mostrada na Fig. 3b.

Essa imagem pode parecer estranha devido a inversão das cores e da posição da imagem, mas isso ocorre porque na primeira etapa do processo fotográfico o que obtemos é o negativo fotográfico. A imagem fica invertida, pois a imagem formada pela câmara escura é invertida, e a inversão das cores ocorre porque as regiões do papel fotográfico que são sensi-

bilizadas pela luz ficam escuras ao entrarem em contato com o revelador, enquanto as regiões que não foram sensibilizadas pela luz ficam claras. Por isso temos que fazer o positivo, ou seja, inverter a imagem obtida no negativo para voltarmos na imagem original do objeto que fotografamos (Fig. 3c).

Agora que temos o conhecimento teórico necessário, vamos montar o nosso laboratório.

Construindo a máquina fotográfica

Você vai precisar de:

- 1 lata qualquer, que pode ser de tinta ou de achocolatado
- fita isolante
- tesoura
- papel cartão ou offset preto
- 1 pedaço de lata de alumínio
- 1 alfinete
- cola

Instruções

1. Faça um furo grande, situado na meia altura da lata e entre as alças da mesma (Fig. 4a).
2. Encape-a internamente com papel

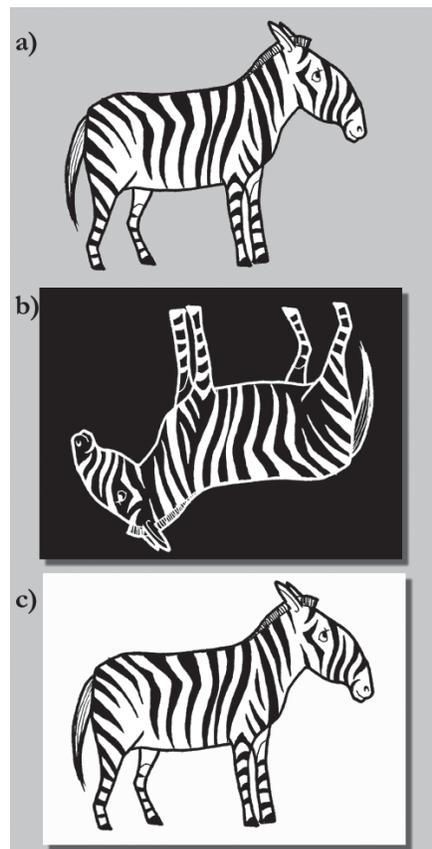


Figura 3. a) Objeto fotografado. b) Negativo do objeto fotografado. c) Positivo do objeto fotografado.

cartão preto, inclusive a parte interna da tampa (Fig. 4b).

3. Faça um furo no papel cartão que coincida com o feito anteriormente na lata. Com o alfinete, faça um furo bem pequeno no pedaço de alumínio. Você pode recortar um pequeno quadrado (1 cm²) de uma lata de refrigerante. O ideal mesmo é que esse furo seja feito com uma broca de 0,5 mm.

4. Cole o pequeno orifício sobre o furo da lata (Fig. 4c).

5. Fixe com fita isolante um pedaço de papel cartão sobre o pequeno orifício (Fig. 4d).

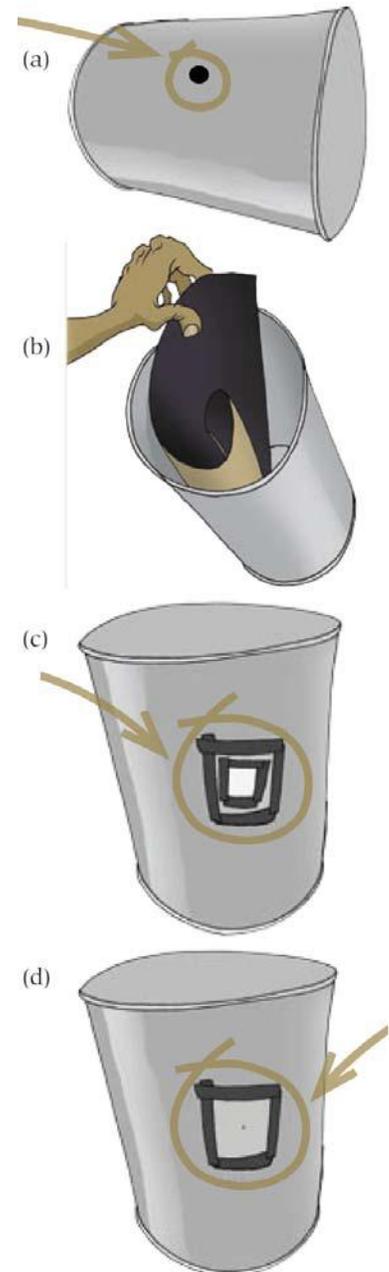


Figura 4. Instruções da construção da máquina fotográfica de lata.

6. Cole um pedaço de fita isolante na outra borda do papel cartão, dobrando a ponta da fita.

Extra: repita o processo com outra lata, mas faça um furo com prego em sua base e substitua a tampa por um papel vegetal. Está pronta uma câmara escura que pode ser utilizada para ver as imagens antes de fotografá-las.

Montando o laboratório

Você vai precisar de:

- 4 cubas para processamento (bacias)
- 4 pinças
- Revelador
- Fixador
- Papel fotográfico preto e branco
- Recipientes escuros
- Lâmpada vermelha de baixa intensidade (25 W ou menos) e de boa qualidade

Para fazer o revelador e o fixador deve-se seguir as instruções no verso das embalagens. É importante guardar esses líquidos em recipientes escuros, pois isso propicia a eles uma durabilidade maior.

Como preparar a máquina fotográfica

1. Em uma sala escura, utilizando apenas lâmpadas vermelhas, corte o papel em um tamanho adequado para a sua máquina.

2. Pegue um desses papéis e cole-o com fita adesiva na parede oposta ao orifício e tampe a lata.

É importante ressaltar que:

1. Qualquer manipulação com o papel fotográfico deverá ser feita no laboratório com somente com a lâmpada vermelha acesa.

2. A face brilhante do papel deve estar exposta dentro da lata, pois esta é a parte sensível à luz.

Fotografando

1. Escolha a paisagem a ser fotografada.

2. Mire a lata para o local a ser foto-

grafado.

3. Fixe bem a lata, para que a foto não fique tremida.

4. Abra o cartão, tomando cuidado para não mexer mais a lata, e deixe-o aberto pelo tempo necessário.

5. Feche o cartão para finalizar sua foto.

Vamos enumerar aqui alguns cuidados que você deve tomar ao tirar sua foto.

- Sempre tire uma foto para testar qual é o tempo de exposição ideal. Este tempo pode variar de segundos a minutos, e caso isso não seja feito você corre o risco de perder muitas fotos.

- As fotos devem ser tiradas com o objeto sendo iluminado pelo sol. Evite tirar fotografias com o orifício voltado para o sol.

- Jamais trema ou mexa a lata enquanto estiver tirando a foto.

- Após tirar sua foto, não abra a lata em hipótese alguma. Ela deve ser levada para o laboratório para ser processada.

Obs: Em um dia ensolarado, o tempo de exposição é de cerca de 20 segundos; em um dia nublado, esse tempo pode variar entre 2 e 3 minutos ou mais, para uma câmara escura construída com uma lata de 3,6 l e com o orifício de 0,5 mm.

Revelando a foto

Monte o laboratório colocando as bacias em uma ordem adequada (revelador, água, fixador). Use somente uma pinça para cada bacia, pois a mistura de fixador no revelador pode inutilizá-lo.

Para revelar a sua foto siga os seguintes procedimentos:

1. Utilizando somente a lâmpada vermelha, abra a lata e retire o papel fotográfico.

2. Coloque o papel primeiro no revelador.

3. Deixe o papel no revelador durante 2 minutos, passando-o em seguida para a água, onde ele deve ficar por 1 minuto.

4. Passe o negativo para o fixador e



Figura 6. Papel fotográfico colado na parte interna da lata, oposto ao pequeno orifício. Deve ser colocado na escuridão ou com luz ambiente vermelha, pois o papel só pode ser manipulado sob essa iluminação.

deixe-o por aproximadamente 2 minutos.

5. Lave o negativo, se possível em água corrente, para eliminar todos os resíduos químicos.

6. Seque a foto e ela estará pronta.

O que você obteve foi o negativo fotográfico, que é a primeira etapa do processo fotográfico. Para se obter o positivo, deve-se proceder conforme as instruções a seguir.

Fazendo o positivo

1. Dentro do laboratório, utilizando somente a lâmpada vermelha, pegue um papel que ainda não foi exposto à luz e coloque-o sobre a mesa com a face sensível à luz voltada para cima.

2. Coloque o negativo seco, com a face virada para baixo, por cima do papel que ainda não foi exposto à luz e cubra-os com uma placa de vidro ou de plástico transparente.

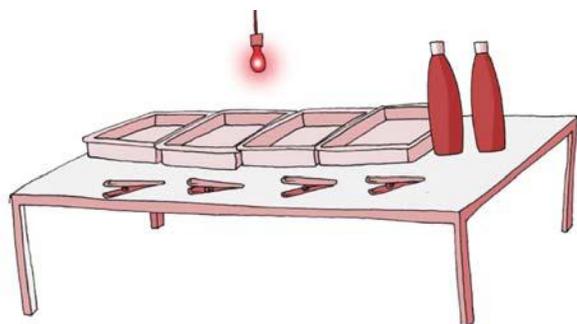


Figura 5. Montagem do laboratório.



Figura 7. Escolha da paisagem e fixação da máquina fotográfica.

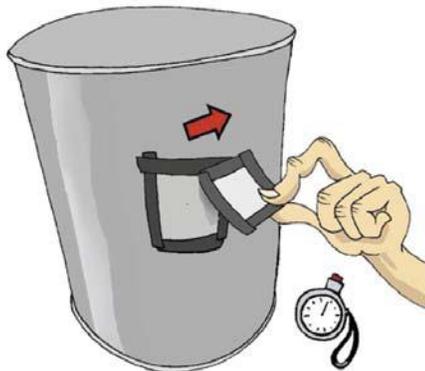


Figura 8. Abra o cartão para que o papel seja exposto à luz. Feche o cartão para finalizar a foto e evitar exposição excessiva.

3. Cubra a placa com papel vegetal.
4. Jogue um *flash* de luz incandescente sobre o aparato. Você pode utilizar um soquete e uma lâmpada incandescente de baixa potência (40 W). O tempo que a lâmpada deve permanecer acesa é, geralmente, menor que 1 segundo, por isso tome muito cuidado.
5. Retire o papel debaixo do negativo e revele-o da mesma forma que o negativo foi revelado para obter a foto da cena fotografada.

Uma outra forma de se obter o positivo é escanear o negativo e, através de um programa adequado, inverter as cores e a posição da imagem, obtendo dessa for-

ma a imagem do objeto fotografado.

Resultados

A seguir estão alguns dos resultados obtidos (negativo e positivo) utilizando essa técnica. As fotos foram feitas utilizando um galão de tinta de 3,6 l e com um orifício de 0,5 mm. Lembramos também que o papel fotográfico pode ser de qualquer marca e, ao ser comprado, o vendedor deve indicar qual o revelador e o fixador adequados.

Agradecimento

Os autores agradecem Paulo Ito pelas ilustrações do artigo.

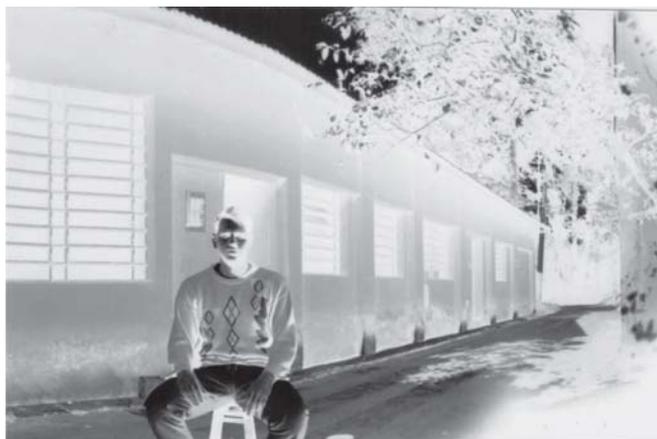


Foto tirada por João Ricardo Neves. Quem aparece na foto é um dos autores do artigo, Carlos Eduardo Rossatti de Souza.

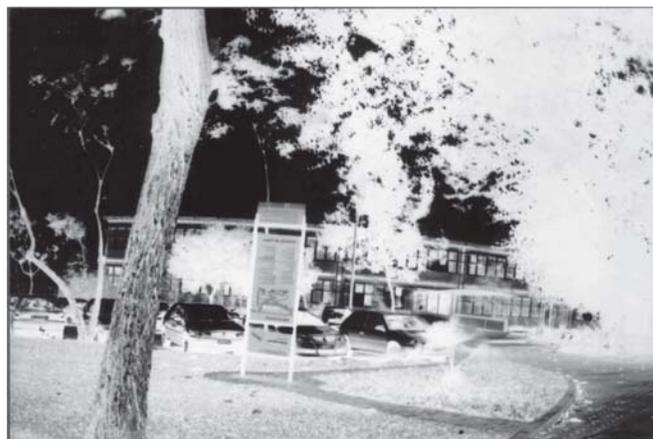


Foto da Ala I do IF-USP feita por Carlos Eduardo Rossatti de Souza.

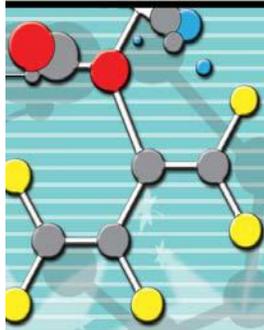
Para saber mais

- <http://www.cotianet.com.br/photo/>
http://en.wikipedia.org/wiki/Pinhole_camera
 M.A.V. Mazzini, Revista de Ensino de Ciências **5**, 35 (1982).
 R. Meineck e S.D. Arribas, Cad. Cat. Ens. Fis. **3**, 46 (1986).
 E. Hecht e A. Zajac, *Óptica* (Editora Calouste

- Gulbenkian, Lisboa, 2002), 2ª ed.
 P.G. Hewitt, *Física Conceitual* (Editora Bookman, Porto Alegre, 2002), 9ª ed.
 A. Gaspar, *Física 2: Ondas, Óptica, Termodinâmica* (Editora Ática, São Paulo, 2000), 1ª ed.
 M. Chiquetto, B. Valentim e E. Pagliari, *Aprendendo Física v. 2* (Editora Scipione, São Paulo, 1996), 1ª ed.
 F.M. Peruzo e E.L. do Canto, *Química na Abor-*

- dagem do Cotidiano v. 3* (Editora Moderna, São Paulo, 1998), 2ª ed.
 A.M. Salles, *Química Inorgânica 1* (Editora Sol, Coleção Objetivo, 1996), Livro 13.
 D.N. da Silva, *Física para o Ensino Médio* (Editora Ática, São Paulo, 1999).
 C.E.R. Souza e J.R. Neves, *Manual de Fotografia com Latas* (Cientec/USP, São Paulo, 2003), disponível em www.cientec.usp.br.

Salvador Dalí e a mecânica quântica



Cada vez mais elementos do mundo científico, sua linguagem e principalmente a visão de mundo que o traduz, estão presentes em um amplo conjunto de manifestações sociais. Isto pode ser entendido se levarmos em conta que a ciência, antes de ser um conhecimento desintegrado, é uma construção de homens que estão imersos em uma determinada realidade histórica e que tem afetividade, subjetividade e especulam filosoficamente. É importante perceber que além da ciência influenciar outros ramos do conhecimento, também recebe influências desses ramos [1].

Este processo de construção da ciência é entendido como de grande importância para a aprendizagem da física, como visto nos Parâmetros Curriculares Nacionais. As Orientações Educacionais Complementares [2] sugerem um ensino onde a física apresente uma contextualização sócio-cultural a fim de que o conhecimento científico e tecnológico seja compreendido como resultado de uma construção humana, inserido em um processo histórico e social e como parte integrante da cultura humana contemporânea, identificando sua presença em diferentes âmbitos e setores, como, por exemplo, nas manifestações artísticas ou literárias, em peças de teatro, letras de músicas etc., estando atento à contribuição da ciência para a cultura humana.

Este ensinar física deve levar ainda à compreensão das formas pelas quais a física e a tecnologia influenciam nossa interpretação do mundo atual, condicionando formas de pensar e interagir. Por exemplo, como a relatividade ou as idéias quânticas povoam o imaginário e a cultura contemporâneas. É necessário que se compreenda a física, e, de forma geral, qualquer ciência como parte da cultura [3].

O ensino de física deve levar à compreensão das formas pelas quais a física e a tecnologia influenciam nossa interpretação do mundo atual

Dessa forma, apresentamos algumas das obras do pintor espanhol Salvador Dalí (1904-1989) que se inserem neste contexto e que podem ilustrar muito bem este processo de influência das artes pela física.

Salvador Dalí

Salvador Felipe Jacinto Dalí e Domenech, nasceu em 11 de maio de 1904, na cidade catalã de Figueras, Espanha. Membro de uma família burguesa, seu pai, Salvador Dalí Cusí, sempre manifestou enorme interesse pelas artes, o que acabou influenciando o filho. Aos dez anos ele já desenhava e pintava retratos de membros de sua família e paisagens com muita regularidade.

Em 1922 foi aceito na Escola de Pintura e Escultura da Academia de São Fernando, em Madri. Experimenta o

Cubismo em 1925 e conhece Pablo Picasso no ano seguinte. Em 1929, junta-se em Paris ao grupo surrealista, liderado pelo antigo dadaísta André Breton. Logo, Dalí torna-se um líder do movimento surrealista e desenvolve o seu método "paranóico-crítico". A pintura *A Persistência de Memória*, de 1931, é considerada um dos melhores trabalhos do surrealismo. No ano de 1930 Dalí conheceu Gala¹, que se tornou sua amante e esposa, musa, gerente empresarial e sua principal inspiração.

Com a proximidade da guerra, em 1934, Dalí colidiu com os surrealistas e foi expulso do movimento surrealista, porém ele continuou expondo seus trabalhos em exposições surrealistas internacionais ao longo da década. Dalí e Gala escaparam da Europa durante a Segunda Guerra Mundial e passaram os anos de 1940 a 1948 nos Estados Unidos.

Em 1948, regressa à Espanha e se instala em Port Lligat. Três anos depois, publica o chamado *Manifesto Místico*, ensaio

Rodrigo Ronelli D. da Costa

Universidade Federal da Paraíba,
Bananeiras, PB, Brasil

E-mail: rodrigo_ronelli@yahoo.com.br

Robson S. dos Nascimento

Universidade Federal do Piauí, Bom
Jesus, PI, Brasil

E-mail: robnascimento2003@yahoo.com.br

Marcelo Gomes Germano

Universidade Estadual da Paraíba,
Campina Grande, PB, Brasil

E-mail: mggermano@ig.com.br

Contemporâneo das revoluções no campo da física do início do século XX, o pintor espanhol Salvador Dalí (1904-1989) procurou retratar o sentimento vivido pela humanidade daquela época diante dessas novas descobertas. Este trabalho apresenta pinturas de Dalí que ilustram a influência da física na arte no período mencionado.

onde explica sua nova atitude artística, com referências claras a alguns grandes mestres da pintura e a temas religiosos e científicos. Este período, denominado de *Misticismo-Nuclear* se estenderá até os anos 70.

Em 1974 fundou o Teatro Museu Dalí, em Figueras. Depois da morte de Gala, em 1982, sua saúde começou a fraquejar; ele veio a falecer em 23 de janeiro de 1989, em Figueras.

Dalí e a física

A obra de Salvador Dalí é enorme; calcula-se que mais de 700 telas tenham sido assinadas por ele. Em várias delas é clara a identificação de temas que tratam da ciência (física, matemática, biologia). Esta constatação pode ser feita através da simples observação de alguns títulos de seus quadros com palavras que fazem referência direta à ciência, como atômico(a) nuclear, partículas, desmaterialização, desintegração, microfísica, mésons-pi, quarta-dimensão e raios cósmicos.

As imagens dos quadros que aparecem a seguir foram obtidas no Salvador Dalí Art Gallery, cujo endereço eletrônico é www.dali-gallery.com.

A *Desmaterialização do Nariz de Nero* (Fig. 1) e *Equilíbrio Intra-Atômico de uma Pluma de Cisne* (Fig. 2), ambos de 1947, retratam bem o início do período denominado *Misticismo Nuclear* de Dalí, marcado pelo crescente interesse pela ciência, em especial a física atômica. Ele próprio afirmou que naquela época o átomo passou a ser o seu tema preferido de reflexão [4].

Em *A Desmaterialização do Nariz de Nero*, a imagem de uma grande romã é mostrada na parte central. A romã encontra-se dividida ao meio e suas sementes

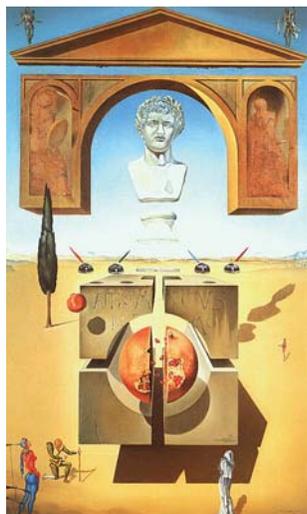


Figura 1. *A Desmaterialização do Nariz de Nero*. Salvador Dalí, 1947. Óleo sobre tela, 76,4 x 46 cm. Fundação Gala-Salvador Dalí, Figueras.



Figura 2. *Equilíbrio Intra-Atômico de uma Pluma de Cisne*. Salvador Dalí, 1947. Óleo sobre tela, 77,5 x 96,5 cm. Fundação Gala-Salvador Dalí, Figueras.

tra-se dividida ao meio e suas sementes aparecem flutuando no ar entre as duas metades. Na visão de Dalí, a romã representa o universo atômico, ou seja, o próprio átomo [4]. As sementes são vistas nessa representação como elétrons em constante movimento dentro do átomo. A figura da romã aparece novamente em outros trabalhos de Dalí, como em *Sonho Causado Pelo Vôo de uma Abelha em Torno de uma Romã um Minuto Antes de Despertar* (1941), *A Madona de Port Lligat*, (primeira versão, 1949) e em uma pintura sem título de 1948, onde Dalí retrata a mesma romã envolta em concreto, mas desta vez a romã aparece inteira e não dividida.

A estrutura de concreto que envolve a romã representando o domínio do átomo pela humanidade, fato demonstrado pela construção e utilização da bomba nuclear. Sobre esta estrutura, um busto de Nero encontra-se dividido em quatro partes e sobre ele um arco, todos suspensos no ar, representando as forças atômicas que mantêm o equilíbrio entre seus constituintes e a desintegração da realidade física em vários componentes. Sobre a realidade da matéria, Dalí se exprime da seguinte forma: “Sob essa aparência giram galáxias microscópicas de elétrons, agitados por uma onda impalpável, ela mesma fluído de uma energia quase imaterial” [4].

As forças que agem para manter a estabilidade atômica são temas no quadro *Equilíbrio Intra-Atômico de uma Pluma de Cisne* (Fig. 2). O próprio título apresenta essa idéia. Na imagem os diversos elementos encontram-se flutuando em equilíbrio, fazendo uma referência às partículas e forças intra-atômicas que encontram-se em equilíbrio na composição do átomo.

Ao fundo vê-se uma parede de pedra onde se encontra a pluma e a inscrição, que dão nome ao quadro.

Em diversos quadros do período atômico Dalí representa a realidade fragmentada, ora na forma de estruturas regulares e ordenadas, como esferas e cubos, ora por estruturas irregulares e desordenadas. Em *Galátea de Esferas* (Fig. 3), a imagem de sua esposa, Gala, é composta pela união de várias esferas. Estas esferas aparecem suspensas no ar e em equilíbrio, dispostas lado a lado, como átomos em um sólido, formando uma rede cristalina.

Dalí afirma que esta pintura sintetiza toda a sua nova ciência mística da pintura e sua técnica do realismo quantificado, “em que cada elemento do quadro existe por si mesmo, mas concorre para criar um conjunto cosmogônico que o trans-

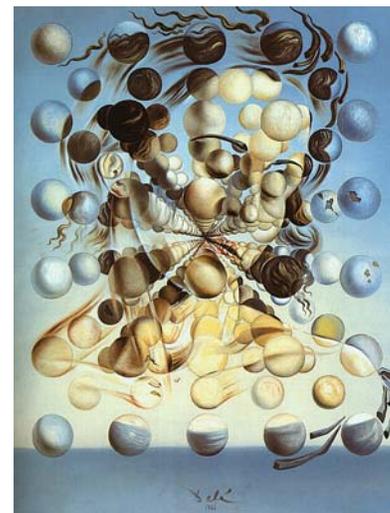


Figura 3. *Galátea de Esferas*. Salvador Dalí, 1952. Óleo sobre tela, 65 x 54 cm. Fundação Gala-Salvador Dalí, Figueras.

cente" [4]. Esta forma de representar a realidade pode ser vista ainda na pintura *Cruz Nuclear* (Fig. 4).

A *Desintegração da Persistência da Memória* (Fig. 6) é a reformulação de uma obra realizada 20 anos antes, *A Persistência da Memória* (Fig. 5). *A Persistência da Memória* talvez seja o trabalho de Salvador Dalí mais relacionado à teoria da relatividade de Einstein. Na nova versão, ele "quantifica" sua obra anterior. A planície, as rochas, a árvore, que se viam sólidas e compactas, agora aparecem fragmentadas, decompostas em várias partes. Esta fragmentação segue a linha do *Misticismo-Nuclear* anteriormente mencionado, onde a realidade física apresenta-se composta por átomos. Ao se tomar consciência desta realidade, passa-se a perceber outros aspectos antes não visíveis do mundo, aí representados pela visão da parte submersa de uma pedra e do peixe, que encontram-se dentro da água, da parte interior da rocha e da terra, onde vê-se agora um outro relógio mole.

O outro aspecto de representação da fase nuclear é a formação de imagens a partir de partículas não-uniformes e desordenadas, aparentando um movimento frenético. Muitas telas evidenciam esta fase de sua pintura, e dentre elas podemos citar *Oposição* (Fig. 7), *Cena Religiosa em Partículas* (Fig. 8) e *Santo Rodeado por Três Mésons-Pi* (Fig. 9). A natureza dual dos constituintes atômicos e o princípio da incerteza, apresentados pela física quântica, podem ser os responsáveis por esta tendência nas pinturas de Dalí.

Nas duas imagens, cada figura frag-

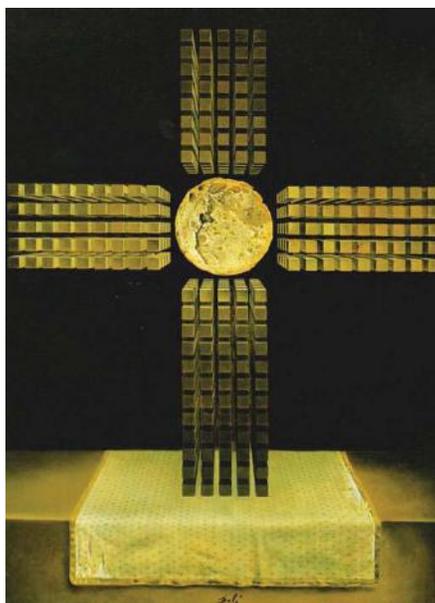


Figura 4. *Cruz Nuclear*. Salvador Dalí, 1952. Óleo sobre tela, 78 x 58 cm. Coleção privada.



Figura 5. *A Persistência da Memória*. Salvador Dalí, 1931. Óleo sobre tela, 24 x 33 cm. Museu de Arte Moderna, Nova Iorque.

mentada é composta por partículas de dois tipos, de tons contrastantes e opostos. Apesar desta constatação, não se pode delimitar a separação da figura, ela não é composta apenas pela parte escura nem composta apenas pela parte mais clara, mas pela destas duas partes, ao mesmo tempo.

A observação dos dois quadros anteriores e do *Santo Rodeado por Três Mésons-Pi* (Fig. 9), passa a impressão de indeterminação. As figuras são compostas por diversas partes menores de tal forma que ao se observar o quadro como um todo perde-se os detalhes das figuras menores; ao se ver as formas e detalhes de cada par-

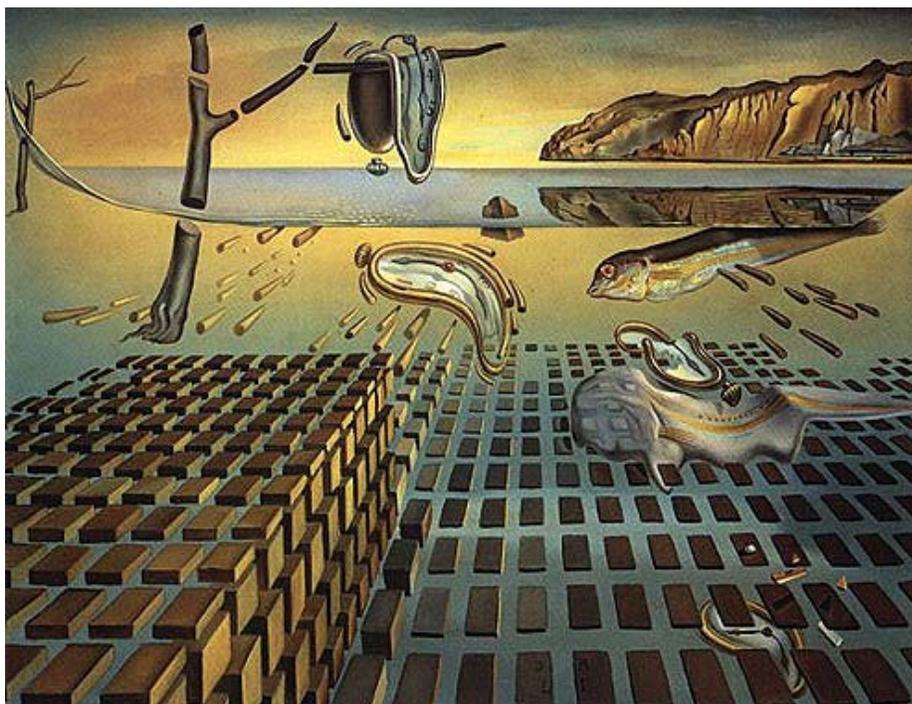


Figura 6. *A Desintegração da Persistência da Memória*. Salvador Dalí, 1952-1954. Óleo sobre tela, 25 x 33 cm. Museu Dalí de São Petersburgo, Flórida, Fundação Reynold Morse.



Figura 7. *Oposição*. Salvador Dalí, 1952. Aquarela e tinta, 43,18 x 30,48 cm.

tícula, perdem-se a visão geral da figura representada.

Segundo o próprio autor, “É com os mésons-pi e com os mais gelatinosos e indeterminados neutrinos que desejo pintar a beleza dos anjos e da realidade” [5]. Em *Santo Rodeado por Três Mésons-Pi*, a matéria que compõe o santo apresenta-se fragmentada em uma explosão e levitando, explosão esta provocada por três invisíveis mésons-pi. O único conceito concebível de Deus, segundo Dalí, é o de uma partícula infinitamente elementar e carregada de energia [6].

Esse aspecto “indeterminístico” nas



Figura 8. *Cena Religiosa em Partículas*. Salvador Dalí, 1958. Óleo sobre cartão, 26,7 x 18,2 cm. Coleção privada.

pinturas de Dalí pode ser observado em grande parte de sua obra, onde ele utiliza ilusões de óptica para compor seus trabalhos. Exemplo disso são *Espanha* (1938), *Mercado de Escravos com o Busto de Voltaire* (1940), *Dom Quixote* (1956-1957) e *Gala Nua Olhando o Mar que a uma Distância de 20 Metros Se Converte no Retrato de Abraham Lincoln* (1976).

Toda esta idéia de indeterminação nos quadros é apenas uma analogia, pois nos quadros de Dalí as figuras já estão lá, ao passo que o princípio de indeterminação de Heisenberg trata de uma realidade que não está dada a priori, mas que só se definirá a partir da medição. Entretanto, é uma analogia frutífera, pois podemos ilustrar através da obra de Dalí um princípio nada trivial da mecânica quântica [7].

Conclusão

O desenvolvimento das teorias físicas do início do século XX trouxe consigo uma nova forma de ver o mundo. Toda a humanidade passou a tomar consciência desta forma de perceber a realidade e os movimentos artísticos desta época foram bastante influenciados por essas teorias. Salvador Dalí, um representante do surrealismo, expressou bem essa tendência em suas obras. Ele procurou comunicar a nova realidade com uma linguagem pró-



Figura 9. *Santo Rodeado por Três Mesons-Pi*. Salvador Dalí, 1956. Óleo sobre tela, 42 x 31 cm. Fundação Gala-Salvador Dalí, Figueras.

pria, expressando conceitos como a descontinuidade e a quantização através de imagens.

A partir das pinturas de Dalí é possível realizar uma revisão histórica das descobertas da física quântica da época, como também aproximar ciência e arte, recuperando o entendimento da ciência como cultura humana, ao mesmo tempo que contribui para o desenvolvimento de um ensino interdisciplinar de física no nível médio e na formação de professores.

O surrealismo foi uma das respostas das artes às teorias físicas do início do século XX, que impunham às pessoas uma nova forma de ver o mundo

Nota

¹Hélène Dimitrovnie Diakonova, nasceu em Kazan, Rússia. Seu ex-marido, Paul Eluard, a apelidou de Gala.

Referências

- [1] A. Guerra, J. Freitas, J.C. Reis e M. Braga, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **15**, 32 (1998).
- [2] Ministério da Educação, *PCN+ Ensino Médio. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais* (MEC/SENTEC, Brasília, 2002).
- [3] J. Zanetic, *Física Também é Cultura*. Tese de Doutorado, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- [4] S. Dalí, *As Confissões Inconfessáveis de Salvador Dalí* (Livraria José Olympio Editora, Rio de Janeiro, 1976).
- [5] P. Ajame, *As Duas Vidas de Salvador Dalí* (Editora Brasiliense, São Paulo, 1986).
- [6] J.L. Giménez, *Obra del mes, octubre de 2000: Santo rodeado por tres pimesones*. 1994. Disponível em <http://www.salvador-dali.org>. Acesso em 24/3/2007.
- [7] A. Guerra, J.C. Reis e M. Braga, in *Atas do 15º Simpósio Nacional de Ensino de Física* (CEFET-PR, Curitiba, 2003), 1 CD-ROM.

Para saber mais

- Resumo biográfico de Salvador Dalí. Disponível em <http://www.gfpetrella.com/dalibogr03.htm>. Acesso em 10/11/2006.
- C. Ruiz, *Salvador Dalí y la Ciencia* (Centro de Estudios Dalímanos, Fundació Gala-Salvador Dalí). Disponível em <http://www.salvador-dali.org>. Acesso em 24/3/2007.
- Salvador Dalí. Disponível em <http://www.artehistoria.jcyl.es/historia/personajes/1697.htm>. Acesso em 23/3/2007.
- Salvador Dalí. Disponível em <http://www.salvador-dalimuseum.org>. Acesso em 23/3/2007.



Quando assistimos ao filme *A Moça com Brinco de Pérola*, que conta a história sobre como deve ter sido a criação do quadro homônimo, do holandês Johannes Vermeer, pintado na cidade de Delft entre os anos de 1665 e 1667, surgiu a idéia de buscarmos correspondências significativas entre o pensamento científico e o artístico em um aspecto cultural amplo, trazendo relações possíveis entre as duas áreas de conhecimento humano, a ciência e a arte.

Há tempos que estas atividades humanas costumam andar juntas, principalmente nos eventos que envolvem a luz, em um mundo repleto de sinais em constante mudança, seja na natureza ou nas obras de arte. No entanto, apesar de todos os procedimentos técnicos que cercam a criação artística, uma obra costuma merecer o título de 'arte' apenas quando a técnica torna-se como que 'invisível', permitindo ao expectador admirá-la sensorialmente.

Partindo da arte no século dourado, o XVII, na Holanda, percebemos que, paralelamente ao vigor artístico da produção de seus pintores, aconteceram avanços no estudo da luz, liderados por Christiaan Huygens. Encontramos ainda relatos sobre uma grande produção de lentes, havendo fortes indícios da utilização de instrumentos ópticos na arte lá desenvolvida, além do seu uso na astronomia e na microscopia.

Para estudarmos ciência e arte é fundamental que provoquemos um diálogo não apenas entre física e arte, mas também com a história, a história da arte, a história da ciência e a filosofia.

Um resumo do filme

Griet, uma jovem de família empobrecida,

depois de um acidente de trabalho que deixou seu pai - um artesão, pintor de azulejos, artesanato muito valorizado na época - inapto para o trabalho, foi contratada pelo casal Vermeer como criada.

A família de Griet era protestante, enquanto a família Vermeer era católica, o que já assinalava que algumas dificuldades de convivência poderiam surgir.

As tarefas da moça eram as vulgarmente delegadas às criadas: lavar, passar, limpar e fazer compras de víveres. Um dos ambientes que ficavam com a limpeza

sob sua responsabilidade era o estúdio do pintor, onde ninguém tinha permissão de entrar - com exceção dele próprio e dela.

Em meio às suas tarefas Griet conhece o mestre, havendo identificação entre os dois,

provocada pelo amor à arte. Assim ela acaba se tornando uma espécie de assistente, trabalhando na limpeza do local, na preparação das tintas e chegando a intervir nos cenários montados para os quadros.

Nos diálogos estabelecidos, perguntas são feitas, novidades são ensinadas até que

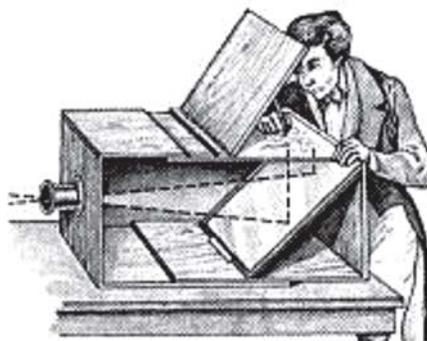


Figura 1. Câmara escura análoga a que aparece no filme.

.....
M.C. Barbosa-Lima

E-mail: mcablma@uol.com.br

G. Queiroz

E-mail: gloria@uerj.br

R. Santiago

E-mail: rosanab@uerj.br

Instituto de Física Armando Dias
 Tavares, Universidade do Estado do Rio
 de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

O presente artigo relata uma experiência educacional, realizada na perspectiva da Pedagogia por Projetos, com ênfase na questão da inovação do ensino universitário na formação de professores de Física. Nela considera-se necessário vincular a aprendizagem à construção e desenvolvimento de projetos de ação para que os futuros professores aprendam fazendo e desse modo construam a autonomia e a reflexão permanente características de um novo perfil profissional. Relacionando ciência e arte, nossa inspiração veio do filme *A moça com Brinco de Pérola*, que conta uma história romanceada da vida do pintor holandês Johannes Vermeer (1632-1675). No século XVII, século de ouro dos Países Baixos, os trabalhos do pintor Vermeer, do astrônomo, físico e matemático, Christiaan Huygens e do microscopista Von Leeuwenhoek se entrelaçam através de seus estudos sobre a luz. Os trabalhos desses homens, contextualizados historicamente, nos levaram à construção de uma exposição itinerante apoiada em réplicas e leitoras de quadros do pintor e na disponibilidade de instrumentos ópticos de baixo custo, incluindo uma câmara escura semelhante àquela utilizada por Kepler.



Figura 2. O quadro de Vermeer *A Moça com Brinco de Pérola*.

em certo momento Vermeer apresenta à criada uma câmara escura, termo cunhado por Kepler, que ele emprega como instrumento auxiliar de seu trabalho. É nesse momento que ao ser indagado de que forma o modelo foi parar dentro da caixa, ele responde se tratar de uma imagem, que é um retrato feito de luz.

A cumplicidade evolui a ponto de um dia, vendo-a limpar as janelas, Vermeer decide pintá-la. Na busca do melhor efeito de luz e sombra, manda que ela use um brinco de pérola – de Catarina, sua ciumenta e nada sensível esposa – para provocar o aparecimento de um ponto de luz, uma vez que o quadro estava muito escuro.

Meer, quem foi esse homem?

Quando a Guerra dos Trinta Anos já havia sido deflagrada há 14 anos e o nordeste brasileiro, mais especificamente a província de Pernambuco, já se tornara uma possessão holandesa há dois anos, Johannes Vermeer, algumas vezes grafado Johannes Van Der Meer, nascia em outu-

bro de 1632, em Delft, hoje cidade pertencente aos Países Baixos.

Vermeer teve contemporâneos e compatriotas ilustres, que trabalharam em várias áreas do conhecimento. Destes, destacaremos Constantijn e Christiaan Huygens, pai e filho, nascidos em Haia, sendo o primeiro um homem culto de destaque em sua época, um grande incentivador e impulsionador de seus contemporâneos. Seu filho Christiaan, tendo estudado em Leiden e convivido com a intelectualidade europeia na França e na Inglaterra, dedicou-se a estudos na física, na astronomia e na matemática, sendo até hoje um nome respeitado por suas realizações nessas áreas – o princípio de Huygens está presente nos manuais contemporâneos de física; Baruch d’Espinoza, nascido no mesmo ano que Jan Vermeer, na cidade de Amsterdã, foi um filósofo que alcançou grande reno-

me e Antony Van Leeuwenhoek, considerado o pai da microscopia, nascido também em Delft, no mesmo ano em que Vermeer. Além de contemporâneos do pintor, Huygens, Espinoza e Leeuwenhoek tinham em comum o ofício com o qual sustentavam suas vidas: trabalhavam polindo lentes, o que indica a relevância econômico-cultural atingida pela óptica na vida da região.

A década de 1650 é especialmente fértil para Huygens, que observou Titan, o maior satélite de Saturno, e descreveu os anéis deste longínquo planeta

Vermeer é considerado um dos maiores pintores dos Países Baixos; apesar de ter deixado poucas obras, cerca de trinta e quatro quadros, dos quais apenas três assinados

e datados. Era um pintor preocupado principalmente com a iluminação de suas obras que, em sua maioria, como hábito local, retratavam cenas de interiores e cotidianas. Precursor do realismo presente na fotografia que surgiria no século XIX, parece em princípio adotar um olhar neutro, desprovido de qualquer informação externa à cena pintada. Mostra-se assim independente de tradições renascentistas e, ao mesmo tempo, genial em capturar diferentes efeitos da luz, tais como tonalidades coloridas desfocadas, sombras e

pontos luminosos especiais.

Vermeer morreu aos 43 anos de idade, deixando onze filhos vivos.

Durante os 43 anos de Vermeer...

Muitas coisas aconteceram. Guerras. Tréguas. Invenções. Descobertas. Enfim, a vida seguiu seu rumo no século de ouro dos Países Baixos. Não pretendemos aqui esgotar a história, seja da arte ou da ciência, o que nos interessa é elaborar um esboço dos fatos científicos mais relevantes acontecidos àquela época com seus compatriotas, de modo a traçar o contexto para considerar as ligações entre a arte e a ciência.

A Guerra dos Trinta Anos, uma das mais violentas guerras religiosas da história da Humanidade, havia começado em 1618 e ainda estava longe de terminar, assim como a invasão holandesa no nordeste brasileiro, ainda sob o regime de capitânicas hereditárias.

Em nosso território, por influência holandesa, devemos a construção do primeiro observatório astronômico e meteorológico do Novo Mundo e de todo o hemisfério sul, onde se realizava, de forma sistemática, importantes medidas meteorológicas e astronômicas. Além disso, várias espécies de plantas e animais foram transferidas para a Holanda para serem mais bem estudadas. Isso demonstra não só a supremacia da Holanda em questões políticas e econômicas, mas também uma liderança no conhecimento da natureza no novo continente a partir das novidades aqui encontradas.

A década de 1650 é especialmente fértil para Christiaan Huygens que, entre estudos dos fundamentos da mecânica, da óptica e da astronomia, observa Titan, o maior satélite de Saturno em 1655, além de descrever os anéis deste longínquo planeta.



Figura 3. Titan, o maior satélite natural de Saturno.

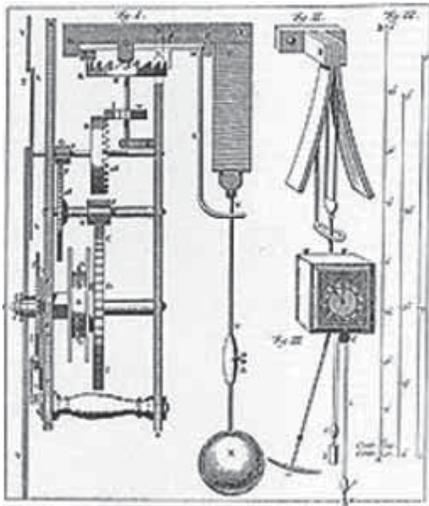


Figura 4. O relógio de pêndulo projetado por Huygens.

Envolvido no problema prático do cálculo da longitude no mar para permitir uma navegação mais precisa, em 1657 Huygens projetou o relógio de pêndulo que foi construído por Solomon Coster. Em 23 de janeiro de 1675 ele reclamou a primazia de outro invento - uma espiral reguladora - que possibilitou o surgimento dos primeiros e pouco precisos relógios de bolso, e no último ano daquela década ele observou que o dia de Marte tem aproximadamente a mesma duração que o dia da Terra. O reconhecimento à importância de Huygens para a astronomia é a atribuição de seu nome à sonda espacial que está decifrando o sistema solar.

No ano de 1665, Leeuwenhoek fez uma precisa descrição dos glóbulos vermelhos através de seu microscópio e em

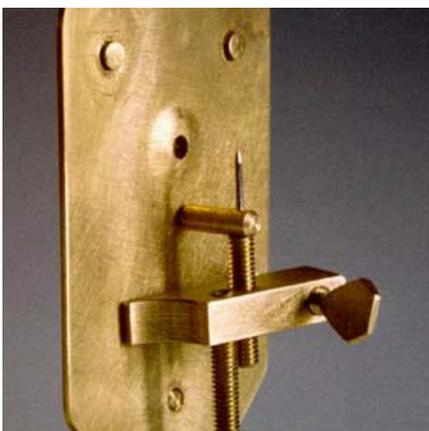


Figura 5. Modelo do microscópio criado por Leeuwenhoek.

1674, com o mesmo tipo de aparelho, descobriu a forma de pequenos animais invisíveis (os protozoários), reavivando as discussões sobre vitalismo e reprodução.

A óptica da época e sua utilização na pintura

As imagens estão diretamente ligadas ao avanço do conhecimento em geral no século XVII, em especial no norte da Europa. Diversos estudos mostram que artistas e cientistas passaram a se valer dos mesmos recursos técnicos para implementarem uma cultura de natureza particular, na qual as imagens desempenham um papel complementar. O cientista recorreu às imagens produzidas pelos artistas para registrar o que descobriu com o uso de microscópios ou telescópios, como por exemplo fez Kepler, que utilizou uma câmara escura para registrar em desenhos seus estudos. Enquanto isso os artistas faziam uso de sistemas de lentes e espelhos como auxiliares nos processos de composição pictórica, avançando em direção a um naturalismo cada vez mais aperfeiçoado. No entanto, ao usar aparatos ópticos, cientistas e artistas manipulavam a natureza, focando e desfocando componentes de suas obras, como no quadro *A Leiteira*, de Vermeer (Fig. 6), conferindo assim função capital à experimen-

tação na formação e validação das imagens produzidas.

Tendo tal ambiente cultural como cenário, na metade do século XVII a produção de pinturas com o auxílio de sistemas de lentes e espelhos se cons-

tituía em uma novidade que possibilitava aos artistas entrarem no mundo novo dos fenômenos ópticos, explorando formas possíveis de registrá-las em suas telas.

O problema epistemológico enfrentado por artistas e cientistas naquela época se refere à verdade de uma representação que faz uso de lentes, cujo funcionamento era pouco conhecido. Qual a visão “verdadeira”? Podemos confiar nos nossos olhos? E nas imagens produzidas pelas lentes? As lentes distorcem ou confundem a “verdadeira” visão? Perguntas como essas se tornaram cruciais com a introdução na Holanda da câmara escura.

Predecessora da câmara fotográfica, a câmara escura é um instrumento composto de uma caixa

com um pequeno orifício, pelo qual entram raios luminosos provenientes do exterior e que são projetados de forma invertida no lado oposto ao orifício. Assim falou sobre ela Constantijn Huygens, pai de Christiaan:

Toda a pintura é morta em comparação a essa, pois aqui é a própria vida, ou algo mais nobre, se a palavra para exprimi-la não faltasse. Figura, contorno e movimento encontram-se aí naturalmente, de um modo extremamente agradável.

Utilizando seu microscópio, em 1665 Leeuwenhoek fez uma precisa descrição dos glóbulos vermelhos. Em 1674 ele descobriu a forma de pequenos animais invisíveis (os protozoários), reavivando as discussões sobre vitalismo e reprodução

A confiança nos instrumentos ópticos é consolidada na Europa do século XVII. Para alcançá-la, a analogia, já conhecida pelo árabe Al-Hasan desde o século XI e difundida por Kepler, entre a câmara escura e o olho, foi fundamental. Ao tratar as imagens que vemos como *pinturas* do mundo projetadas sobre a tela retiniana, Kepler trouxe uma importante contribuição ao debate epistemológico entre verdade e aparência: o reconhecimento de que não se pode fugir da representação.

As imagens produzidas pelos pintores



Figura 6. *A Leiteira*, de Vermeer.

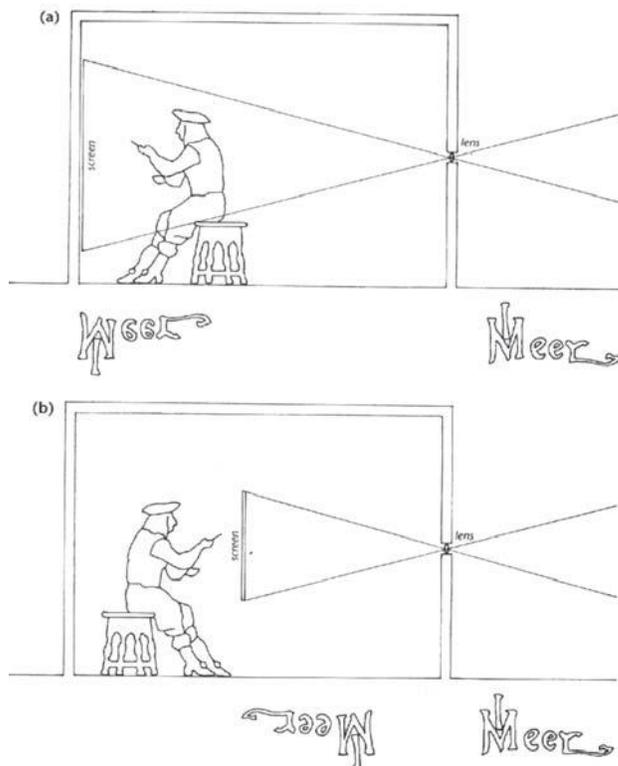


Figura 7. Desenho da época, explicando o funcionamento de uma câmara escura.

holandeses do século XVII estabeleceram um vínculo entre a pintura e o conhecimento natural baseado em observações, em experimentos e em seu resultado prático em campos como medicina, astronomia, cartografia e zoologia, construídas pela visão através de lentes nos telescópios de Huygens e nos microscópios de Leeuwenhoek. Tratava-se, pois, de um saber que gravava conhecimento novo colocado a serviço da melhoria das condições do homem em sociedade, que passou a se sentir em um novo mundo, como disse Constantijn Huygens:

Na verdade, objetos materiais que até agora eram classificados como átomos, uma vez que se subtraíam à vista humana, apresentavam-se tão nitidamente aos olhos do observador que, mesmo as pessoas totalmente inexperientes, que olham para coisas que nunca tinham visto, queixam-se, a princípio, de não estarem vendo nada, mas logo depois gritam que estão

vislumbrando, com seus olhos, objetos maravilhosos. Porque, de fato, tudo isso diz respeito a um novo teatro da natureza, a um outro mundo...

Nesse ambiente de novo mundo, tornou-se compreensível que, incentivado pelo pai, Christiaan Huygens, além de usar instrumentos ópticos, tenha decidido pesquisar sobre a verdadeira natureza da luz (Huygens, 1986), rompendo com a simples aplicação da geometria euclidiana à óptica e opondo-se às explicações dadas por Newton aos fenômenos relativos à luz. Seu trabalho foi de grande importância na discussão entre o caráter corpuscular ou ondulatório da luz.

Conclusão

Assim como os artistas holandeses, exemplificados por Vermeer, estavam interessados em explorar o mundo ao seu redor sem recorrer a regras de perspectiva pré-estabelecidas, rompendo com estilos e modelos clássicos, vemos surgir na ciência do século XVII novas formas de questionar a natureza que procuravam respos-

As imagens produzidas pelos pintores holandeses do século XVII estabeleceram um vínculo entre a pintura e o conhecimento natural pela visão através de lentes nos telescópios de Huygens e nos microscópios de Leeuwenhoek

tas na investigação ao estabelecerem modelos associados a imagens para representá-la capazes de serem testados empiricamente. Tal caminho inovador continua a ser trilhado até hoje. No exemplo da óptica, apesar de toda a evolução científico-tecnológica, a idéia primária da conjugação de lentes e espelhos está presente na construção do conhecimento científico, com muitas interações com o desenvolvimento que ocorre na arte, onde imagens fotográficas ou reproduções de quadros famosos, tratadas com programas de computador, produzem uma nova arte. Mantém-se desse modo presente em nossos dias a imbricação entre as duas áreas. Mostramos esta imbricação através da exposição *Luz, Ciência e Arte* – que se tornou itinerante¹, tendo sido mostrada no CEFET – Química, na cidade de Nilópolis, RJ; na Faculdade Santa Dorotéa, em Friburgo, também no Rio de Janeiro, e mais recentemente no XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, em São Luís, Maranhão e na sala de exposição Cândido Portinari, na Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Nota

¹Desejando receber a exposição em sua instituição entre em contato com uma das autoras deste trabalho.

Para saber mais

- S. Alpers, *A Arte de Descrever* (EDUSP, São Paulo, 1999).
- F. Azevedo (org), *As Ciências no Brasil* (Editora da UFRJ, Rio de Janeiro, 1994), 2ª ed.
- C.R. Boxer, *Os Holandeses no Brasil* (CEPE, Recife, 2004), 2ª ed.
- C.Z. Camanietzki, *A Cruz e a Luneta Ciência e Religião na Europa Moderna* (Access Editora, Rio de Janeiro, 2000).
- G. Cassegrain, C.C. Guégan, P. Le Chanu e O. Zeder, *L'ABCdaire de Vermeer* (Flammarion, Paris, 2003).
- T. Chevalier, *Moça com Brinco de Pérola* (Bertrand do Brasil, Rio de Janeiro, 2004), 6ª ed.
- C. Huygens, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* suplemento 4, 1 (1986).
- D.S. Landes, *L'Heure qu'il est: Lês Horloges, la Mesure du Temps et la Formation du Monde Moderne* (Gallimard, Paris, 1987).
- F. Ostrower, *A Sensibilidade do Intelecto: Visões Paralelas de Espaço e Tempo na Arte e na Ciência; a Beleza Essencial* (Editora Campus, Rio de Janeiro, 1998), 5ª ed.
- P. Steadman, *Vermeer's Camera – Uncovering the Truth Behind the Masterpieces* (Oxford University Press, Nova Iorque, 2001).

Produzindo ondas transversais em cordas de nylon

Para montar o presente experimento, é necessário um alto-falante com boa suspensão (recomenda-se o de uma caixa de som de computador). Na base de seu cone, cola-se um lápis. Deve-se observar que é o alto-falante o responsável pela geração das ondas na corda.

Toma-se uma linha de nylon 0,50 mm fixa em um ponto, tendo na outra extremidade uma roldana presa em um suporte de madeira no qual está uma massa que mantém a linha de nylon tensionada. A montagem (Fig. 1) foi escolhida pela simplicidade e também pela facilidade em mudar o comprimento do fio. É importante conhecer a massa presa na linha e, se possível, ter outras massas diferentes para obter-se tensões diferenciadas na corda.

Para fazer o alto-falante vibrar é necessário um gerador de frequência para observar os padrões de vibração da linha. Fazendo uma pesquisa na internet, o professor pode encontrar alguns programas que fazem o papel do gerador de áudio, uma vez que a maioria das escolas possui um computador e o custo de um gerador não é baixo. Sugere-se o *David's Audio Sweep Generator* – v. 2.2; interessados poderão baixá-lo no endereço (www.fisica.net/giovane/download/gerador.zip). O programa permite manipular o nível do sinal

na saída (Output Level) e o tipo de varredura nos valores das frequências (Sweep Mode); nesse caso, sugere-se a utilização no modo Linear. Para controlar os valores de frequências no Sweep Speed, seleciona-se Manual; isso permitirá usar o controle Manual Frequency. Também é permitido escolher o intervalo de frequência para varrer todos os valores desejados.

Como exemplo, utilizou-se uma linha de nylon que, entre as duas extremidades, media 2,62 m e iniciou-se com uma massa de 100,5 g para tensioná-la. Então, usando o gerador de sinais, começou-se a aumentar a frequência gradativamente, a fim de observar o primeiro modo de vibração fundamental da corda (Fig. 2).

Na Tabela 1 mostra-se os valores de frequência e os comprimentos de onda determinados a partir do modo fundamental e seus respectivos harmônicos observados na linha.

Analisando esses dados, (Fig. 2, pontos pretos) pode-se observar exatamente que quanto maior as frequências de vibração da linha de nylon, menor os comprimentos das ondas.

Com esses valores, é possível determinar um valor médio bem razoável para a velocidade de propagação da onda para a massa m_1 , usando a relação desenvolvida em aula pelo professor ($v = \lambda \cdot f$).

.....
Giovane Irribarem de Mello

Laboratório Itinerante de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Colégio São João La Salle

E-mail: giovane@fisica.net
.....

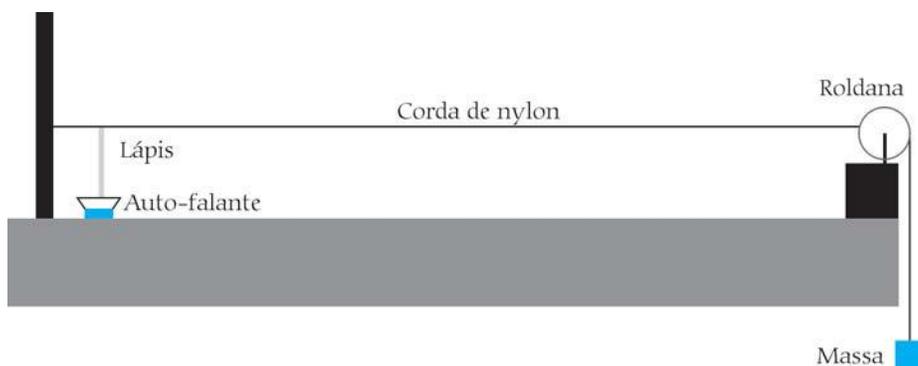


Figura 1. Aparato experimental.

O trabalho descrito neste artigo tem o objetivo de mostrar como é simples desenvolver uma atividade experimental envolvendo a propagação de ondas mecânicas transversais com materiais de baixo custo.

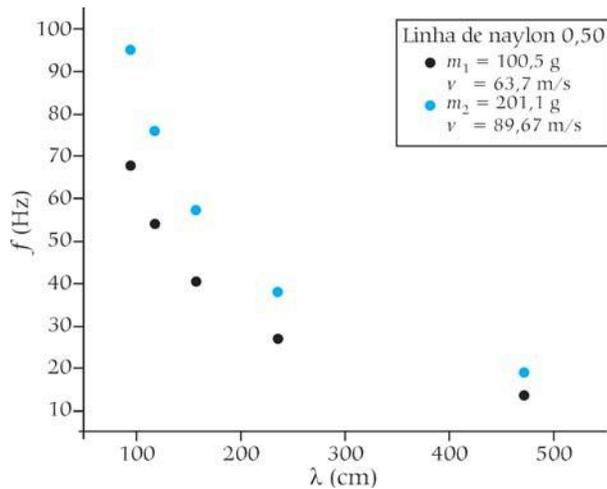


Figura 2. Os pontos pretos representam a primeira medida e os azuis a segunda, com uma massa maior.

Pode-se ainda, com esta montagem, explorar o fenômeno um pouco mais, aumentando-se a massa $m_1 = 100,5$ g, para uma nova massa $m_2 = 201,1$ g, que é praticamente o dobro da anterior. Esta alteração muda as frequências de resposta da corda, ou seja, a linha de nylon vai vibrar com valores de frequências diferentes da anterior.

Usando o mesmo processo para obter os novos padrões de vibração na linha, consegue-se os valores da Tabela 2.

Note-se pelo gráfico da Fig. 2 que pode-se observar um deslocamento da nova curva (azul) em relação à anterior (preta).

Os alunos perceberão que as frequências não serão as mesmas (pontos azuis) e que, quando aumentamos a tensão na linha, as frequências de vibração desta se alteram. Usando o mesmo processo, pode-se obter uma nova velocidade de propagação para a onda na linha. Este valor é interessante, pois com a massa m_1 tem-se

uma velocidade de $63,7$ m/s e quando praticamente dobra-se a massa, obtém-se um valor médio de $89,67$ m/s, valor que não é o dobro do anterior.

Nesta situação o professor pode lançar os conceitos de densidade linear e conferir os resultados através da relação de Taylor, a fim de verificar a velocidade de propagação da onda na corda nas situações demonstradas e verificar que, pela relação de Taylor, $v \propto \sqrt{F}$, onde F é a tensão na corda. A velocidade de propagação na corda aumenta com a raiz quadrada da tensão na corda e, portanto, ao dobrar-se a massa suspensa na corda, o aumento sofrido na velocidade é de um fator de aproximadamente $\sqrt{2}$.

Pela relação de Taylor, temos

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

onde v é a velocidade em m/s, F é a tensão

Tabela 1.

f (Hz)	λ (cm)
13,5	472
27	236
40,5	157,3
54	118
67,6	94,4

Tabela 2.

f (Hz)	λ (cm)
19	472
38	236
57	157,3
76	118
95	94,4

Tabela 3.

	Nylon 0.50	Nylon 0.40	Nylon 0.30
Velocidade [m_1] (m/s)	63,7	80,2	102,1
Densidade linear calculada (mg/m)	242,7	153,1	94,5
Densidade linear tabelada (mg/m)	235,2	153	85,3
Erro percentual entre as medidas	3%	2%	10%

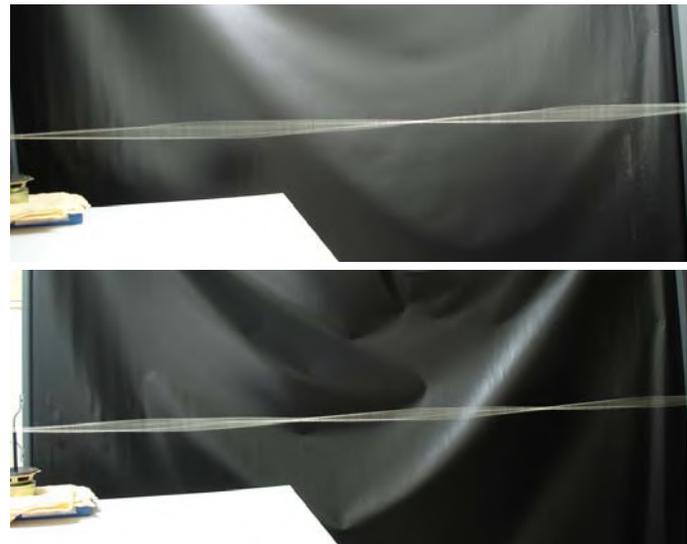


Figura 3. Os dois modos após o harmônico fundamental.

na corda em Newtons e μ é a densidade linear em kg/m

Usando uma câmera digital, registrou-se alguns modos de vibração da corda, pois as câmeras fotográficas comuns, em geral, não possuem controle do tempo de abertura do obturador.

Nas figuras a seguir, tem-se duas fotos tiradas dos modos de vibração da linha de nylon (os dois modos após o harmônico fundamental). Pode-se usar ainda outros dois tipos de espessuras de cordas de nylon, de $0,40$ mm e de $0,30$ mm, repetindo todo o processo e determinando-se pela relação de Taylor as densidades lineares de cada uma das linhas de nylon. Na Tabela 3 pode-se observar os valores encontrados pela experiência e os valores tabelados.

Verifica-se então que esse experimento de fácil montagem e baixo custo, permitindo trabalhar com a densidade linear e a equação da onda mecânica; mostra-se, ainda, que tal montagem permite mudar o comprimento da linha de nylon e refazer a atividade, verificando novamente as frequências de vibração da corda.

Bibliografia

- N.V. Bôas, R.H. Doca e G.J. Biscuola, *Tópicos de Física 2: Terminologia, Ondulatória e Óptica*, (Saraiva, São Paulo, 2001) 16ª ed. reform. e ampl.
- P.G. Hewitt, *Física Conceitual* (Brookman, Porto Alegre, 2002), 9ª ed.
- A.M.R. da Luz e B.A. Álvares, *Curso de Física v. 2* (Scipione, São Paulo, 2005).
- D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentals of Physics Extended*, 5. ed., New York, Copyright, 1997.
- Tabela de densidade linear acessado 9/3/2007 - <http://labdid.if.usp.br/~fg e 2 1 3 / tabelas / doc / DENSID~4.DOC>.



Este ano o prêmio Nobel de Física é oferecido para a tecnologia que é usada para ler dados nos discos rígidos. É graças a essa tecnologia que tem sido possível miniaturizar discos rígidos tão radicalmente em anos recentes.

Assim foi anunciado o prêmio Nobel de Física de 2007 pela Academia Real de Ciências da Suécia, no último 9 de outubro.

Essa miniaturização impressionante dos discos rígidos usados em computadores, i-pods, celulares e outros dispositivos eletrônicos tem sido uma consequência direta da descoberta do efeito chamado magnetoresistência gigante, GMR (do inglês *giant magnetoresistance*), descoberto pelo físico francês Albert Fert e pelo físico alemão Peter Grunberg há quase 20 anos, de maneira independente. Por tal descoberta, que já revolucionou a tecnologia de gravação magnética (e que po-

A magnetoresistência gigante é uma tecnologia padrão para discos rígidos, pois permitiu sua miniaturização em um grau sem precedentes até então

derá afetar outras áreas também no futuro), ambos foram contemplados com o Nobel de Física de 2007, dividindo um prêmio de 10 milhões de coroas suecas (cerca de 2,5 milhões de reais).

No início dos anos 80, a área de materiais magnéticos nanoestruturados experimentava um grande “boom” na Europa, Estados Unidos e Japão. Tanto Fert e seus colaboradores, na Universidade de Paris Sul, em Orsay, França, como Grünberg e seu grupo, no então Centro de Pesquisas Nucleares (KFA, do alemão *Kernforschungsanlage*), hoje Centro de Pesquisas de Jülich (FZJ), na Alemanha, dedicavam-se à física experimental na área do magnetismo de filmes finos e ultrafinos, e de multicamadas (estas, verdadeiros *big-macs*, feitos com o empilhamento de camadas finíssimas de diferentes metais, magnéticos e não-magnéticos).

Fert investigava o efeito da aplicação de um campo magnético na corrente elétrica através de multicamadas de ferro e cromo (amostras com várias camadas

alternadas de Fe e Cr, cada uma com espessura de poucos átomos), e Grünberg estudava efeitos semelhantes no mesmo sistema Fe/Cr, mas utilizando amostras com apenas duas camadas de ferro separadas por uma fina camada de cromo (tricamadas). De maneira independente, ambos os grupos obtiveram resultados experimentais que evidenciavam uma mudança enorme na resistência elétrica em função do campo magnético aplicado. Os valores observados chegavam a variações de até 50%, muito superiores aos valores conhecidos da magnetoresistência tradicional, apresentada por metais e conhecida há muito tempo, que é de no máximo 2%. Vale destacar que o trabalho realizado no laboratório do prof. Fert

contou com a colaboração fundamental de um pesquisador brasileiro, Mário N. Baibich, atualmente docente do Instituto de Física da

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O impacto de tal artigo foi tal que o mesmo está hoje entre os dez artigos mais citados entre todos os trabalhos já publicados na revista *Physical Review Letters*, uma das mais prestigiosas revistas da física (3.580 citações até novembro de 2007).

O imenso potencial da magnetoresistência gigante para aplicações tecnológicas foi imediatamente percebido tanto pelos descobridores e demais pesquisadores da área quanto pela indústria de gravação magnética. Poucos anos depois, em 1997, a IBM já lançava no mercado o primeiro disco rígido com cabeça de leitura de dados baseada no efeito GMR. Tal tecnologia tornou-se padrão para discos rígidos, e o tamanho físico dos mesmos não parou de encolher desde então, enquanto a capacidade de armazenamento de dados (densidade de informação superficial gravada, normalmente medida em bits/polegada²) crescia continuamente. A razão para essa revolução tecnológica é discutida brevemente a seguir.

.....
Marcelo Knobel

Instituto de Física ‘Gleb Wataghin’,
 Universidade Estadual de Campinas,
 Campinas, SP, Brasil

Waldemar A.A. Macedo

Laboratório de Física Aplicada, Centro
 de Desenvolvimento da Tecnologia
 Nuclear (CDTN)
 Belo Horizonte, MG, Brasil

Os vencedores do Prêmio Nobel deste ano propulsionaram a capacidade de armazenamento dos discos rígidos através de suas pesquisas em magnetoresistência. Outra área correlata, a spintrônica, representa o próximo passo de um avanço que trará a nova revolução da informática.



Albert Fert, nascido a 7 de março de 1938, concluiu sua graduação em 1962 na Escola Normal Superior de Paris. Recebeu seu título de mestre em 1963, na Universidade de Paris, e se doutorou em 1970, na Universidade de Paris Sul, em Orsay, onde se tornou professor. Foi agraciado com vários prêmios importantes ao longo de sua carreira, e em 2004 foi eleito para a Academia de Ciências da França.



Peter Grünberg nasceu em 18 de maio de 1939 em Pilsen, na então Boêmia (hoje parte da República Tcheca), e chegou à Alemanha logo após a Segunda Guerra Mundial, quando a população de língua alemã, a maioria, foi expulsa pelo governo local. Graduou-se em física em 1962, na Universidade Johann Wolfgang Goethe, em Frankfurt, e fez pós-graduação na Universidade Técnica de Darmstadt (mestre em 1966; doutor em 1969). Entrou para o KFA no início dos anos 70, onde permanece até hoje, embora aposentado desde 2004.

Gravação magnética e GMR

O princípio da gravação e leitura magnética é relativamente simples. Na gravação magnética convencional, um cabeçote magnético indutivo é usado para “escrever” a informação em um meio de gravação magnética (fita ou disco). Esse meio se move com relação ao cabeçote, e assim os *bits* (transições entre regiões magnetizadas em sentidos opostos) são gravados ao aplicar pulsos de correntes positivas ou negativas à bobina. O mesmo cabeçote pode ser utilizado para ler a informação, pois seu movimento em relação ao meio magnético induz pequeníssimas correntes na bobina sensora, que são detectadas após uma cuidadosa amplificação e processamento. O sinal obtido está diretamente relacionado com a velocidade relativa do cabeçote e com o tamanho do *bit*.

Em estruturas formadas por sanduíches de ferro “recheados” com uma camada de três átomos de cromo, os pesquisadores mediram a resistência elétrica do sistema, para diferentes campos magnéticos aplicados. Quando as camadas de fora do sanduíche estão com alinhamento magnético contrário um ao outro, o dispositivo tem resistência elétrica alta. Entretanto, quando o alinhamento é paralelo (gerado pelo campo magnético externo), a resistência é menor, da ordem da metade da confi-

guração anterior (50%). A surpresa residia no fato de que até então uma variação máxima de cerca de 2% era conhecida, e portanto o fenômeno ganhou o adjetivo “gigante”. A explicação do efeito é razoavelmente complexa, e está fortemente relacionada com a mobilidade eletrônica em materiais magnéticos. De fato, o efeito GMR só foi descoberto graças ao impressionante desenvolvimento de diversas áreas da física da matéria condensada, em particular o crescimento de filmes finos. Em meados dos anos 1980 era finalmente possível crescer filmes ultra-finos e controlar isso de uma maneira adequada. Variando sistematicamente a espessura da camada de Cr, foi possível encontrar diferentes espessuras para as quais as camadas externas de Fe possuíam momentos magnéticos apontando em sentidos contrários. Nesse caso, a aplicação do campo leva a uma configuração onde os momentos magnéticos de ambas camadas se alinham. Essa mudança é fundamental para entender o fenômeno físico. O que ocorre é que os elétrons de condução dos materiais não possuem apenas a carga, mas também uma outra propriedade denominada spin, que pode ter essencialmente dois valores: “para cima” e “para baixo”. Pode-se considerar que a corrente elétrica é o resultado de duas correntes paralelas, uma devida aos elétrons com spin para cima, e outra aos elétrons com spins para baixo. O que leva à magnetoresistência é o fato da resistividade elétrica depender da orientação relativa entre o spin do elétron e a magnetização do material. Quando os sentidos são iguais, a resistividade é baixa, e quando eles são opostos, a resistividade é alta. Assim, ao ter um sistema com orientações anti-para-

lelas, ambos canais de spin terão resistividades equivalentes, e a resistividade total do sistema será elevada. Por outro lado, quando pelo menos um dos canais tem resistividade baixa, a resistividade do sistema será baixa também.

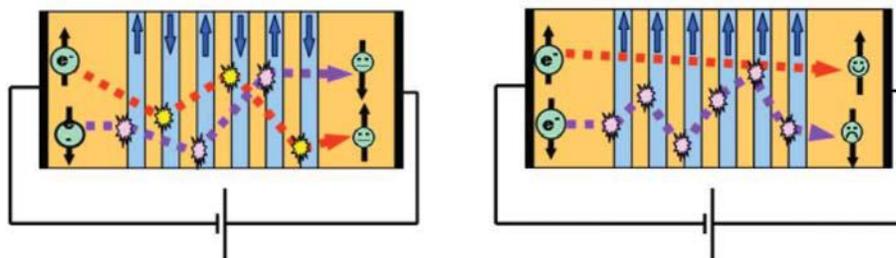


Figura 1. Esquema que representa os dois canais independentes de corrente elétrica, um com “spin para cima” e outro com “spin para baixo”. Quando as camadas magnéticas encontram-se no estado chamado anti-ferromagnético, ou seja, com momentos magnéticos alternados, cada canal de elétrons encontra regiões onde a probabilidade de espalhamento é alta, e assim ambos canais têm uma resistência similar, e a resistência total do sistema é alta. O esquema da direita ilustra a configuração ferromagnética, onde todos os momentos das camadas magnéticas apontam no mesmo sentido graças à presença de um campo magnético. Nessa configuração, apesar de um dos canais de elétrons ter uma resistência bem alta, o outro canal tem uma probabilidade de espalhamento bem baixa, e a resistência elétrica desse canal torna-se bem baixa. Assim como ocorre em um sistema de resistores em paralelo, a resistência total do sistema é bem menor do que a resistência da configuração antiferromagnética. É o chamado “efeito curto-circuito”

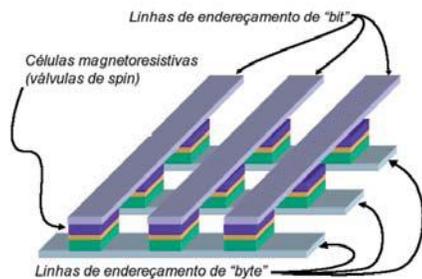


Figura 2. Esquema de possível dispositivo spintrônico, denominado "memória magnética de acesso aleatório", em inglês MRAM. Linhas de corrente elétrica formam uma espécie de tecido, onde duas matrizes perpendiculares, conectadas por junções, apresentam magnetoresistência gigante. É possível controlar a leitura de cada linha dessa complicada matriz e, assim, descobrir se a resistência da junção é alta ou baixa, o que indica o estado magnético de suas camadas, que assim representam zeros e uns, onde a informação é armazenada. Esse dispositivo é não-volátil, ou seja, a informação armazenada não é perdida mesmo que a energia elétrica seja desligada. Há já protótipos bem interessantes de MRAMs no mercado.

A descoberta da magnetoresistência gigante rapidamente entusiasmou a indústria da informática, que vivia de ler campos magnéticos muito pequenos nos discos rígidos ou flexíveis. Ter um efeito maior significava poder ler coisas menores e com mais precisão. A utilização da magnetoresistência gigante na construção de cabeçotes de leitura permitiu que se convertessem alterações mínimas de campos magnéticos

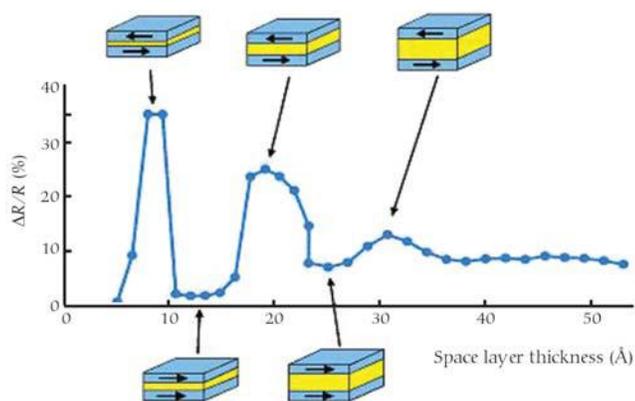


Figura 3. Ilustração do fenômeno do acoplamento magnético oscilatório entre camadas, descoberto por Grunberg. O acoplamento entre as camadas magnéticas depende da espessura da camada não-magnética de modo oscilatório, ou seja, a configuração varia entre ferromagnética e antiferromagnética conforme a espessura da camada não-magnética vai sendo aumentada. Assim foi possível escolher uma configuração ideal para estudar o fenômeno da magnetoresistência, onde o acoplamento fosse antiferromagnético.

em diferenças significativas na resistência elétrica e, por sua vez, em diferenças de sinal elétrico "facilmente" observáveis pelo cabeçote de leitura. Assim, após essa descoberta, uma nova tecnologia tem crescido continuamente nestes últimos anos, os chamados cabeçotes ativos, quase sempre baseados no fenômeno da magnetoresistência. Um cabeçote magnetoresistivo pode detectar um bit de informação ao passar por ele, pois este muda a sua resistência elétrica pela presença do campo magnético. Além disso, os cabeçotes magnetoresistivos não precisam ter uma geometria complicada, e eles podem ajudar a aumentar a densidade de informação contida nos discos magnéticos atuais, já que são capazes de ler as informações mesmo em maior densidade. Na realidade, os mais modernos cabeçotes de seu disco rígido usam um efeito conhecido como "válvula de spin", que é uma adaptação inteligente do efeito originalmente descoberto. O efeito válvula de spin foi amplamente estudado, otimizado e implementado pelo grupo do dr. Stuart Parkin, nos laboratórios da IBM em Almaden, nos Estados Unidos. O uso da tecnologia de válvulas de spin nos cabeçotes de leitura possibilitou um aumento de mais de 100 vezes da densidade de armazenamento de informação dos discos rígidos de 1998 até hoje.

Os discos magnéticos comerciais podem guardar mais de cinquenta megabits por centímetro quadrado (Mbits/cm²), e espera-se muito brevemente atingir densidades de até mais um gigabit por centímetro quadrado (ou seja, para ter um disco rígido de 40 Gbits bastaria um disquinho de pouco mais de 3,5 cm de raio). A tecnologia envolvida nesse desenvolvimento é muito delicada, pois altas densidades de bits requerem que as cabeças de leitura e gravação sejam muito sensíveis e estejam muito próximas ao disco. Ao buscar aumentar a densidade de bits, há novos desafios a vencer para fabricar o material magnético do qual o disco é produzido (que deverá manter a informação gravada ao longo dos anos), para fabricar o material magnético do cabeçote de gravação (que fará o processo de escrever e ler a informação) e também no desenho geral do sistema, onde os atritos devem ser

minimizadas e as colisões, evitadas. Hoje em dia, a maioria dos discos de computador é feita de filmes finos metálicos, de espessura inferior a 100 nanômetros, quase sempre de ligas a base de cobalto.

Apesar de ser uma descoberta de menos de vinte anos, hoje em dia o fenômeno da GMR é utilizado na enorme maioria dos cabeçotes de leitura dos discos rígidos, e toda uma nova área da física, conhecida como eletrônica de spin, ou spintrônica, tem se desenvolvido a partir dessa descoberta.

Spintrônica

Além dos avanços na tecnologia relacionada com a leitura e gravação magnética, no que se refere a avanços na mídia de gravação e nas cabeças de leitura, há todo um campo novo que vem surgindo nos últimos anos, que promete literalmente revolucionar o nosso conceito de armazenamento e leitura de dados no computador. Até hoje, todos os componentes eletrônicos utilizavam somente uma propriedade dos elétrons: a sua carga. E mesmo assim maravilhas como o transistor foram desenvolvidas e aprimoradas. Mas após a descoberta da magnetoresistência gigante em 1988, vislumbrou-se a possibilidade de poder também controlar outra propriedade eletrônica, o spin. Com isso, vem surgindo uma série de idéias e protótipos que utilizam as incríveis propriedades de correntes elétricas com elétrons com apenas uma direção de spin bem definida, que atualmente podem ser bem controlados. Essa nova área de tecnologia de ponta vem sendo conhecida como *eletrônica de spin*, ou simplesmente *spintrônica*. Já existem protótipos de transistores de spin e até memórias comerciais não-voláteis que utilizam essa tecnologia.

Ninguém sabe ao certo aonde essas pesquisas irão levar, mas sabe-se que certamente irão revolucionar o futuro da eletrônica, da informática e até mesmo dos eletrodomésticos convencionais, com a massificação da incorporação de discos rígidos, microprocessadores e outros dispositivos nos mesmos. Vale a pena destacar que toda essa atividade de pesquisa iniciou-se e teve continuidade com a presença importante de pesquisadores brasileiros, que têm contribuído enormemente para fazer desta área uma das mais ativas no mundo da tecnologia, apesar das enormes dificuldades de fazer pesquisa de ponta no Brasil.

Para saber mais

- M. Knobel, *Ciência Hoje* **159** (2000).
- M. Knobel, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **22**, 387, (2000).



.....
Alessandro Frederico da Silveira
 Departamento de Física, Universidade
 Estadual da Paraíba,
 E-mail: alessandrofred@yahoo.com.br

Karine dos Santos
 Mestranda em Desenvolvimento e
 Meio Ambiente
 E-mail: karinest@gmail.com

No intuito de apresentar novas alternativas e a necessidade de abordagens metodológicas inovadoras para o ensino de ciências, mais especificamente de física, este trabalho enfatiza a importância de vincular ciência com arte. Trabalhamos a temática do ciclo da água em uma perspectiva do uso racional deste recurso, dentro do contexto da realidade do aluno, através de uma abordagem lúdica, utilizando o teatro como recurso pedagógico. Direcionado ao público integrante do ensino fundamental, composto por 62 crianças da 5ª série, a abordagem da temática supracitada valorizou os aspectos cognitivos das mesmas no processo de construção do conhecimento. Através da dialogicidade dos conceitos ali inseridos, desenvolveu-se também uma oficina pedagógica com materiais de custo acessível, esta intencionada à averiguação da construção do conhecimento. Percebemos que a ciência vinculada a arte proporciona uma aprendizagem significativamente maior de seus conceitos. Tal percepção deu-se pela representação ilustrativa que as crianças fizeram em cartazes, bem como em depoimentos dos próprios alunos e de suas professoras acerca da temática em questão.

Mesmo sendo a física uma ciência tão fascinante e capaz de explicar os mais diversos fenômenos naturais, é notório o desinteresse por parte dos alunos do ensino fundamental e médio por esta ciência. Sabe-se que vários são os fatores que contribuem para este quadro e, entre eles, a prática docente também tem sua parcela de responsabilidade neste triste panorama. Alguns professores insistem em práticas tradicionais, resistindo às mudanças e preferindo continuar com um modelo há muito arraigado da prática de ensino, onde a ciência, especificamente a física, é apresentada como um emaranhado de equações matemáticas descontextualizadas das vivências dos alunos.

O factual desinteresse dos alunos pela ciência, bem como pelas questões ambientais, preocupa e ao mesmo tempo incentiva a busca de novas alternativas no intuito de reverter esta realidade educacional, visto que os Parâmetros Curriculares Nacionais - PCN - sugerem que o tema meio ambiente seja de cunho transversal.

No intuito de apresentar alternativas, e dada a necessidade de abordagens metodológicas inovadoras do ensino de física enfocando a educação ambiental, este trabalho busca verificar a importância de vincular ciência com arte, atentando para a utilização desta relação como abordagem metodológica para o ensino de ciências. Especificamente trabalhou-se a temática do ciclo da água em uma perspectiva do seu uso racional, dentro do contexto da realidade do aluno, através de uma abordagem lúdica, utilizando o teatro como recurso pedagógico, e valendo-se das linguagens verbal, corporal e musical para produzir, expressar e comunicar conhecimentos e idéias acerca do ciclo da

água, a fim de proporcionar, através do lúdico (teatro e oficinas), a construção do conhecimento científico. Buscou-se averiguar o nível de compreensão e aceitação de um grupo de crianças, alunas do ensino fundamental, e de suas respectivas professoras acerca do tema em estudo.

A relação arte-ciência como uma proposta interdisciplinar

Segundo os PCN, “a arte em termos de comunicação e expressão se manifesta melhor através do teatro, pois nele as pessoas se doam por total, utilizando o corpo, a fala, o gesto, para representar algo” [1]. Para Matos [2], o teatro é um meio que busca comunicar a ciência e a cultura de forma lúdica, agradável e de fácil compreensão.

Nós, responsáveis pela formação de cidadãos, devemos “ousar para criarmos e recriarmos o conhecimento”, como defendem Freire e Shor [3, p. 48]. O educador, ao fazer uso desta relação entre a ciência e a arte no ensino, se dispõe, com muito mais facilidade, a entrar em uma relação de troca, por oposição ao que Freire [4] chamaria de uma educação bancária, em que

O factual desinteresse dos alunos pela ciência preocupa e ao mesmo tempo incentiva a busca de novas alternativas no intuito de reverter esta realidade educacional

ao aluno caberia apenas o papel de depósito de conteúdos, sem entendê-los. A relação de poder é revista e passa a ser mútua, porque será construído na base da troca.

É como nos diz Zambodini [5], que como uma moeda que tem duas faces, a ciência e a arte são faces do conhecimento, se complementam buscando se aprofundar no entendimento das coisas, sendo regidas por um único cérebro humano. Ainda conforme Zambodini, há um fio que percorre continuamente todas as culturas humanas que conhecemos e que é feito de dois cordões. Esse fio é o da ciência e o da arte. Para este autor, deve haver

alguma coisa profundamente enterrada no espírito humano – mais precisamente na imaginação humana – que se exprime naturalmente em qualquer cultura social tanto na ciência quanto na arte.

Sendo assim, tanto a ciência quanto a arte acabam sempre assumindo um certo caráter didático na nossa compreensão do mundo. A arte nos faz entender de forma elementar a ciência.

Nestas condições, o ensino para tornar-se mais instigante deve ser, antes de tudo, prático e ativo, realizador e construtivo, com fundamentos na matemática e na experiência, para através de recursos técnicos vincularem-se, nos seus processos, a realidade do momento. Aranha [6] faz uma afirmativa muito relevante sobre este tema ao dizer que o mito e a ciência são modos de organização da experiência humana – o primeiro baseado na emoção e o segundo na razão – também a arte vai aparecer no mundo humano como forma de organização, como modo de transformar a experiência vivida em objeto de conhecimento, desta vez através do sentimento.

Teatro didático: uma abordagem interativa e lúdica para o ensino

A atividade lúdica é compreendida como alavanca para o processo de desenvolvimento infantil. De acordo com Falkenback [7], Harres [8], Fortuna [9], Rick [10] e Silva [11], através da atividade lúdica a assimilação infantil adapta-se facilmente à realidade.

Rick [10] considera que a livre expressão lingüística (todas as formas de linguagem), assim como os sentimentos e as emoções liberadas através do teatro – atividade lúdica – são fundamentais para o desenvolvimento potencial das crianças. O teatro é uma representação humana da sua história de forma palpável, o que para Palhano [12] é uma linguagem que atinge os sentidos de quem assiste.

A cultura hegemônica geralmente nega a pluralidade de conhecimentos. Entretanto,

...o processo de conhecimento forma-se também utilizando os sentimentos, as emoções, os desejos, os sonhos, e estes não devem ser reprimidos em detrimento de uma ditadura racionalista, todos os sentidos agem completando-se, combinando e reforçando significados... a aprendizagem re-

sulta de uma ação coordenada de todos os sentidos, que combinam o tato, o toque, a pele, o movimento, o corpo, o olhar, o escutar. [12, p. 42-43]

Palhano [12] acredita no teatro como um instrumental importante que pode contribuir para o processo de resgate da valorização sensorial como também auxilia a interpretar e a ler as imagens que circulam na sociedade e, por fim, contribui para que conteúdos sejam vistos, sentidos e aprendidos de forma mais prazerosa.

As relações teatro/educação têm um largo potencial, podendo ser desenvolvidas em diferentes contextos, através das mais diversas abordagens e com objetivos específicos. “Há muito tempo a pedagogia se serve do teatro. Aritófanos já o fazia em 414 a.C. quando lançou *As Aves*, peças com críticas ainda hoje atuais aos jovens e ao sistema educacional” [13].

Segundo Koudela [14], Brecht partiu rumo a uma concepção de teatro cujo conteúdo lidasse com os problemas de sua época e através do qual os espectadores pudessem colher elementos para compreendê-los, possibilitando-os assim a elaboração de estratégias de intervenção na realidade.

Conforme afirma Koudela [14, p. 50], o professor Brecht, afirma que “saber o que se passa na cabeça de quem canta é pelo menos tão importante como saber o que se passa na cabeça de quem escuta”.

Desta forma, o teatro didático foi inicialmente concebido como um exercício de preparação, estética e política, dos atores.

Palhano [12] afirma que o jogo dramático desenvolve a capacidade de fazer perguntas, de encontrar respostas, de descobrir novas soluções, questionar situações, encontrar e reestruturar novas relações. Para a autora, “observar atentamente o que acontece no mundo, ver, sentir e perceber, constrói um repertório exclusivo de conhecimento, como também informa o intercâmbio pessoal com o mundo e com os outros seres” [12, p. 52].

Metodologia

Esta pesquisa é de natureza qualitativa e teve-se como campo de investigação um dos pólos da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia¹, instalado no Centro

de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, no ano de 2005. Para aquele ano, o tema proposto estava relacionado à água, o que justifica a escolha deste tema. As atividades foram desenvolvidas em algumas etapas:

Construção da proposta - “O ciclo da água”

A proposta foi construída e fundamentada na perspectiva de ensino dialógico, em que o aluno é sujeito ativo no processo de construção de seu conhecimento, em que a abordagem lúdica foi supervalorizada. Direcionado ao público integrante do ensino fundamental I (alunos da 5ª série), onde trabalhou-se com um total de 62 crianças, a abordagem da temática supracitada valorizou os aspectos cognitivos das mesmas neste processo de construção do conhecimento. Dentre os procedimentos metodológicos para esta construção, tem-se:

Introdução do conteúdo

A temática foi problematizada antes da apresentação da peça teatral, a fim de averiguar as concepções dos alunos (veja Fig. 1) acerca do tema a ser abordado. Neste momento, de forma oral, os alunos responderam bem aos questionamentos feitos durante a problematização.

Dramaturgia

O teatro foi elaborado por alunos e professores do Departamento de Física da Universidade Estadual da Paraíba, a partir de um texto (veja o boxe). Para esta etapa, algumas atividades foram desenvolvidas: ensaios, confecção do cenário e figurino. Como o tema em estudo abordava a água, optou-se pela valorização e enfoque de aspectos regionais, desde o repente até o



Figura 1. Ilustrações da problematização inicial sobre a água.

Repente

Zé da Fonte:

O meu nome é Zé da Fonte vim aqui pra lhes contar
Uma história muito triste que avistei no meu lugar
Veja agora meus amigos o que eu vou lhes falar
A água é um bem precioso que está pra se acabar
Em vim lá do meu sertão só lhes alertar
Que o desperdício d'água pode lhe prejudicar
Na minha terra querida tinha muito era fartura
Muita terra, muita água e um mundo de candura
Agora minha vida é só lamento e solidão
Pro mode eu acabei com a água o maior bem do sertão
Gastei água, gastei tudo não liguei pro meu futuro,
Agora eu estou vendo o mal que eu fiz pro mundo
Não cuidei da minha riqueza o meu bem mais precioso
Até o gado que eu tinha foi embora no almoço
Tudo isso aconteceu porque não liguei
Que era importante e o culpado era eu
Na *escurdez* que eu tava uma luz me apareceu
Foi Maria Benedita que meu coração encheu
A cabrita me ensinou muita coisa eu aprendi
A cuidar do bem querido que um dia eu ferí
Me mostrou o que era bem e tudo sobre a água
Que matava minha sede e saciava minha alma
Essa *muié* era tihosa e muito da inteligente
Ela abriu meus *oios* e expandiu a minha mente

Maria:

A energia solar faz a água esquentar
Desse esquento em o vapor que faz as nuvens formar
E *pro mode* que eu lhe diga o que essa chuva é
É um *mundarel* de gotas que serve pra nos *moiar*
Moia gado, *moia* pranta, *moia* tudo que quiser
E é lavada pelo vento que faz ela se *espaíá*
A água dos oceanos evapora facilmente
Quando o sol está bem quente fazendo as nuvens formar
Por meio da transpiração também posso explicar
Que as plantas e a terra podem até nuvens formar
A água subterrânea também vai pra atmosfera
E ajuda a formação das nuvens de Deus do céu

Zé da Fonte:

Ainda bem que ela me disse tudo o que eu lhes contei
Só depois que eu fiz pro mal que eu fiz pra esse bem
Mas agora aqui
Querendo me redimir
Mostrando pra vocês o que não deveis fazer
Venho cá agradecer a todos que me escutaram
Entenda esta mensagem e nunca mais vai sofrer
Procure fazer o que eu te digo mas não faça o que eu já fiz
Pois o preço é muito caro só agora eu aprendi
Vou embora pra minha terra minha parte eu já cumpri
Agora é com você não fazer o que eu fiz.

Rafaela Luiz e Indianara Silva

cenário e figurino utilizados para a apresentação, conforme apresentado na Fig. 2.

Oficina pedagógica

Após a apresentação da peça teatral, as crianças em grupos (Fig. 3) receberam materiais (lápiz, papel, cola e tinta) e através da representação ilustrativa em cartazes apresentaram o que compreenderam

acerca daquela aula.

Análise dos dados coletados

Nesta última etapa, foram desenvolvidas as análises dos dados obtidos na pesquisa de campo, bem como foram delineadas as considerações e conclusões acerca da proposta da pesquisa.

Resultados e discussões

Com o desenvolvimento desta proposta, percebemos que a ciência assim comunicada proporciona um melhor nível de envolvimento dos alunos e conseqüentemente uma melhoria na relação professor-aluno, o que ficou bem evidenciado com a participação das crianças durante as discussões e problematizações sugeridas propositalmente na fala dos personagens da peça teatral, tirando os partícipes de uma posição de sujeitos passivos, predominante de uma pedagogia de caráter liberal-tradicional, em que o ensino está plenamente centrado no professor [15], para uma posição de sujeitos ativos, proposta na pedagogia progressista libertadora de Paulo Freire [3, 4].

Com a atividade atingimos um número de 62 crianças, todas de escolas municipais da rede pública. Esta proposta trouxe resultados satisfatórios no que concerne ao desenvolvimento cognitivo das crianças, bem como fica evidenciada a importância da dialogicidade dos conceitos apresentados, para uma melhor construção do conhecimento.

A seguir temos algumas das concepções dos alunos, que também evidenciam a sua satisfação pela abordagem, além de nos assegurar que o tema trabalhado foi apreendido pelos mesmos.

Nós gostamos muito da música que Zé da fonte cantou para nós (sic), foi um dia especial, nós aprendemos muito.

A água é muito importante



Figura 2. Ilustração da peça *O Ciclo da Água*.

para nossa vida por isso que nós do grupo coloquemos (sic) o tema 'água é vida'.

...não só a água mas a luz do sol também é importante para nós.

Ao analisarmos as concepções dos alunos acerca do estudo, verificamos que os mesmos conseguiram interpretar e compreender o tema, descrevendo a água como fundamental para a vida na Terra, bem como a importância do Sol nesta relação. Também destacamos como positivo a consciência das crianças quanto à importância que é atribuída para a água, assim como ao uso racional deste composto da natureza.

A seguir (Fig. 4) apresentamos algumas das ilustrações feitas pelos grupos e em seguida a descrição de uma das crianças acerca do tema em estudo.

Eu nunca tive uma aula assim, aprendi que a água é muito importante na nossa vida, que este ciclo todo que ela faz é muito útil para vida na Terra, que devemos saber usar ela de maneira mais consciente, sem gastar. Porque um dia ainda talvez muito distante, ela pode acabar.

É notório destacar-se o nível de satisfação e compreensão desta criança por este tipo de abordagem da ciência, o que se



Figura 3. Crianças realizando atividades na oficina.



Figura 4. Cartazes produzidos pelas crianças na oficina pedagógica.

acredita que esteja relacionado ao fato das crianças, quando se encontram na escola, não costumam vivenciar este tipo de aula no seu cotidiano. Também destaca-se como positivo a consciência desta criança quanto à importância que é atribuída para a água, assim como ao uso racional deste elemento da natureza.

Outro aspecto a se considerar como satisfatório com a realização das atividades foi o posicionamento de uma das professoras² das crianças com esta forma de comunicação da ciência através da atividade lúdica, o teatro científico, em que esta menciona:

Eu gostei muito dessa forma de trabalhar a ciência, e o mais importante para mim é que passei a perceber que dá para realizar este tipo de aula em qualquer conteúdo; este envolvimento do assunto com a arte, seja teatro, música ou oficina, traz realmente resultados bons.

Verifica-se que este fazer pedagógico interdisciplinar despertou a curiosidade e o interesse das professoras presentes. Como percebe-se na fala da professora, ela reflete sobre sua prática e desperta uma possibilidade de utilizar estas abordagens em suas aulas.

Conforme nos diz Silva [11], o papel do professor é considerado como de fundamental importância nestas manifestações, interagindo como facilitador da aprendizagem, repensando e adequando a prática, propondo sempre novas atividades, procurando manter sempre os desafios e a motivação. Carvalho [16] afirma que “é importante a vivência de propostas inovadoras, uma vez que o exemplo vivo é muito mais eficaz que qualquer explicação”.

Considerações finais

No processo de criação e execução da abordagem lúdica vislumbramos uma prática inovadora, uma vez que o aprendizado não se restringe a um ambiente escolar, podendo tornar-se um momento prazeroso e

instigante. Percebemos isso no contentamento presente nos rostos das crianças ao realizar tarefas e ao mesmo tempo ao se descontraiem. Embora conscientes da complexidade que tal tipo de trabalho demanda, e da dificuldade que enfrentam os professores da rede pública, acreditamos que os resultados são compensadores, considerando os aspectos sociais, didáticos e cognitivos.

A ciência pode e deve ser ensinada também com artifícios populares; por isso tiramos nosso aluno de sala de aula e a construímos em um outro espaço onde esperamos que tanto alunos quanto professores, quando envolvidos no trabalho, possam experimentar e apreender conceitos científicos que eles desejam de fato ensinar.

É importante enfatizarmos a viabilidade da abordagem da aula a considerar que o aluno passa a ser um sujeito ativo no processo de construção do conhecimento, pois foram retirados de uma “aula tradicional” para uma “aula divertida e diferente”, como comentado pelas próprias professoras das crianças. Portanto, o uso do teatro como um instrumento pedagógico é um recurso que estimula e motiva o aluno, tornando o processo de ensino-aprendizagem em ciências mais significativo. Conforme os próprios PCN preconizam sobre Arte, a atividade artística contribui para melhorar a qualidade de vida e é assim que a dramaturgia atua.

A relação entre conteúdos escolares, o prazer e a alegria pelo desenvolvimento da atividade proposta favoreceu o processo de ensino e aprendizagem, motivando os alunos.

De um modo geral, esperamos que os resultados deste estudo possam contribuir de certa maneira para a reflexão constante que professores precisam sempre fazer acerca de suas práticas de ensino e das possibilidades de transformá-las. A relação entre conteúdos escolares, o prazer e a alegria pelo desenvolvimento da atividade proposta favoreceu o processo de ensino e aprendizagem, motivando os alunos.

Notas

¹A Semana Nacional de Ciências e Tecnologia é um evento que anualmente é programado pelo Ministério de Ciências e Tecnologia.

²As professoras acompanharam as crianças durante estas mostras de teatro no Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba.

Referências

- [1] Brasil, Secretaria de Educação Fundamental, Parâmetros Curriculares Nacionais: Arte, 3ª ed., v. 6, Brasília, 2001, 130 p.
- [2] C. Matos, *Ciência e Arte: Imaginário e Descoberta* (Terceira Margem, São Paulo, 2002).
- [3] P. Freire e I. Shor, *Medo e Ousadia: O Cotidiano do Professor* (Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1986).
- [4] P. Freire, *Pedagogia do Oprimido* (Paz e Terra, São Paulo, 1984).
- [5] S. Zamboni, *A Pesquisa em Arte: Um Paralelo entre Arte e Ciência - Coleção Polêmica do Nosso Tempo* n. 59 (Autores Associados, Campinas, 2001), 2ª ed.
- [6] M.L. de A. Aranha e M.H.P. Martins, *Filosofando. Introdução à Filosofia* (Editora Moderna, São Paulo, 1993), 2ª ed.
- [7] A.P. Falkenbach, in *A Ludicidade como Ciência*, organizado por S.M.P. dos Santos (Vozes, Petrópolis, 2001), p. 63-67.
- [8] J.S. Harres, in *A Ludicidade como Ciência*, organizado por S.M.P. dos Santos (Vozes, Petrópolis, 2001), p. 78-84.
- [9] T.R. Fortuna, in *A Ludicidade como Ciência*, organizado por S.M.P. dos Santos (Vozes, Petrópolis, 2001), p. 115-119.
- [10] C.F. Rick, I. Altíssimo, S.H.G. Bandeira, L. Koeche, C. Andrade, E. Bisognin, L.I.P. Marquezan e V.L. Stefanello, in *A Ludicidade como Ciência*, organizado por S.M.P. dos Santos (Vozes, Petrópolis, 2001), p. 168-175.
- [11] M.C. da Silva, in *A Ludicidade como Ciência*, organizado por S.M.P. dos Santos (Vozes, Petrópolis, 2001), p. 141-156.
- [12] P.R. Palhano, *O Movimento de Ordem e Desordem na Linguagem Artística: As Vivências Contidas no Exercício do Fazer Teatral*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, 2005.
- [13] B. Montenegro, A.L.P. Freitas, P.J.C. Magalhães, A.A. dos Santos e M.R. Vale, *Ciência e Educação* **57**, 31 (2000).
- [14] I.D. Koudela, *Brecht: Um Jogo de Aprendizagem* (Edusp, São Paulo, 1991).
- [15] J.C. Libâneo, *Didática* (Ed. Cortez, São Paulo, 1994).
- [16] A.M.P. Carvalho, *Em Aberto* **12**, 4 (1992).



.....
Ary de Araújo Rodrigues Júnior
 Laboratório de Física Nuclear Aplicada,
 Departamento de Física, Universidade
 Estadual de Londrina
 E-mail: aryarj@ig.com.br

Quando há um acidente com material radioativo ouvimos do apresentador do noticiário expressões do seguinte tipo: “a área está extremamente radioativa” ou “a região está com altos níveis de radiação” e outras expressões que nem o público nem o locutor e, provavelmente, nem o redator do texto têm a mínima noção do que significam, pois elas, de fato, são desprovidas de significado; são expressões totalmente vagas.

O que realmente ocorre quando há um acidente com material radioativo? Apenas dois eventos: o material radioativo irradiará ou contaminará o meio ambiente. O que acontece para ocorrer tais eventos e o que vem a ser uma irradiação ou uma contaminação radioativa?

Em geral, o material radioativo possui duas embalagens: o recipiente interno que o contém e o recipiente externo, que é uma blindagem. A função da blindagem é atenuar a radiação emitida por esse material. Portanto, se o recipiente externo romper em decorrência de um acidente, a radiação não será mais atenuada e os objetos e os seres vivos que estiverem nas proximidades estarão expostos à radiação emitida pelo material.

Então, irradiação é a energia característica emitida por uma fonte radioativa. O objeto ou ser vivo que recebe esta energia está sendo irradiado. No caso em questão, a fonte emissora de energia é um material radioativo e a energia emitida é a radiação. Mas no nosso cotidiano há vários exemplos de outras situações de emissão de radiação, como por exemplo o calor de uma fogueira, a luz de um poste ou uma fonte sonora, como a buzina de um carro. E todas elas diminuem de intensi-

dade com o quadrado da distância, ou seja, se estivermos a uma certa distância destas fontes, por exemplo a um metro, e nos afastarmos o dobro desta distância, dois metros, a intensidade da energia que chega até nós diminuirá quatro vezes, e não pela metade, como poderíamos esperar intuitivamente. Se nos afastarmos o triplo da distância, a intensidade diminuirá nove vezes; se nos afastarmos o quádruplo da distância, a intensidade diminuirá 16 vezes e assim por diante. Ou seja, a intensidade da energia diminuirá

com o quadrado da distância, obedecendo a expressão

$$I = \frac{I_{1m}}{d^2}$$

onde I é a intensidade da energia a uma distância qualquer, I_{1m} é a intensidade da energia emitida a uma distância de 1 m e d a distância entre a fonte emissora e o receptor. Visualizando esta expressão em um gráfico, obtemos a curva mostrada pela Fig. 1.

Claro que o contrário também é verdadeiro, ou seja, se caminharmos em direção a fonte, a intensidade crescerá com o

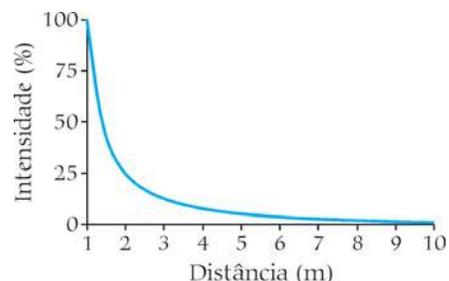


Figura 1. Intensidade da energia emitida por uma fonte em função da distância.

Em todas as áreas da atividade humana ocorrem acidentes; batidas de veículos, descarrilamentos de trens, vazamentos de produtos químicos, queda de aviões, incêndios, etc., aos quais dispensamos maior ou menor atenção dependendo da gravidade. Mas os que ocorrem com materiais radioativos, independente do grau (desde o vazamento de uma usina nuclear até o extravio de um radiofármaco de vida curta) tem o poder de provocar um alto nível de preocupação na população. Isto ocorre por causa dos mitos sobre a radiação que permeiam o imaginário popular e são amplificados pela mídia, e que neste artigo tentaremos elucidar.

quadrado da distância. Isto significa que no caso de um acidente com material radioativo, onde há apenas irradiação, a forma adotada de proteção da população local pelas autoridades competentes é isolar uma área em torno do material radioativo a uma distância cujo raio seja grande o suficiente para garantir que fora dessa área o nível de irradiação seja insignificante.

Este comportamento aplica-se a fontes que emitem radiação eletromagnética, como a radiação gama, representada pela letra grega γ , emitida por vários tipos de materiais radioativos. A radiação γ é uma onda eletromagnética como o som, por exemplo, as ondas de rádio, TV, microondas e a luz visível; a diferença está no fato de sua energia (e , conseqüentemente, a sua frequência) ser muito maior, como pode ser visto na Fig. 2. Além da radiação eletromagnética γ , os materiais radioativos também emitem radiação em forma de partículas, como a radiação α (alfa) e a radiação β (beta), mas estas radiações têm um alcance muito menor do que a radiação γ . A radiação α não consegue penetrar na pele humana, portanto materiais que emitem somente este tipo de radiação não oferecem perigo em caso de uma exposição, mas podem oferecer se forem ingeridos ou inalados. A radiação β tem um poder de penetração maior do que o da radiação α , entrando alguns milímetros na pele, o que pode acarretar o aparecimento de câncer de pele e sérios problemas aos olhos, mas esta radiação não consegue atravessar alguns milímetros de alumínio ou o tecido das roupas que vestimos normalmente.

Mas será que um objeto ou um ser vivo que esteve próximo ao material radioativo e foi irradiado fica com um pouco de radiação dentro dele e vai liberando essa radiação aos poucos? A resposta é não, pois não há como estocar qualquer tipo de radiação, seja ela proveniente de materiais radioativos ou não. Por exemplo, quando você desliga a luz da sala, quanto tempo ela leva para ficar escura? Ela vai ficando escura aos poucos ou imediatamente? A resposta é imediatamente. Você consegue guardar luz dentro de um saco de papel? Ou ondas de rádio e TV (para ouvir ou ver um programa mais tarde)? A resposta é não. Analogamente, ao se afastar da luz emitida por um poste você estará sendo cada vez menos iluminado e o fato de ter sido iluminado não fará você emitir luz.

A radiação γ emitida por materiais radioativos difere das outras formas de radiação eletromagnética citadas devido a esta apresentar maior energia, mas, como

os outros tipos de radiação, não é possível armazená-la. Esta alta energia (acima da frequência da luz ultravioleta, inclusive) emitida pelos materiais radioativos é suficiente para quebrar as ligações químicas entre os átomos que formam as moléculas. Estas ligações são estabelecidas pelo compartilhamento dos elétrons presentes nas coroas eletrosféricas dos átomos que compõem a molécula. O que a radiação com alta energia faz é expurgar os elétrons das coroas eletrosféricas e deste modo inviabilizar a ligação entre os átomos. Este fenômeno recebe o nome de ionização, e as radiações

com energia suficiente para produzi-la são chamadas de ionizantes. A luz visível, as ondas de rádio e TV e as microondas, por exemplo, também são tipos de radiação, mas não são ionizantes.

Esta quebra das ligações químicas pode acarretar a desativação da molécula afetada, ou seja, ela não consegue desempenhar mais a sua função, ou pode acarretar a formação de novas moléculas. Se estes fenômenos ocorrerem dentro de uma célula, que é a unidade básica da vida, ela tem mecanismos internos de reparo destes danos provocados pela radiação ionizante. Se os danos

A radiação α não consegue penetrar na pele humana, portanto só oferece perigo se um material contaminado for ingerido ou inalado. Já a radiação β tem um poder de penetração maior, entrando alguns milímetros na pele, o que pode acarretar o aparecimento de câncer de pele e sérios problemas aos olhos

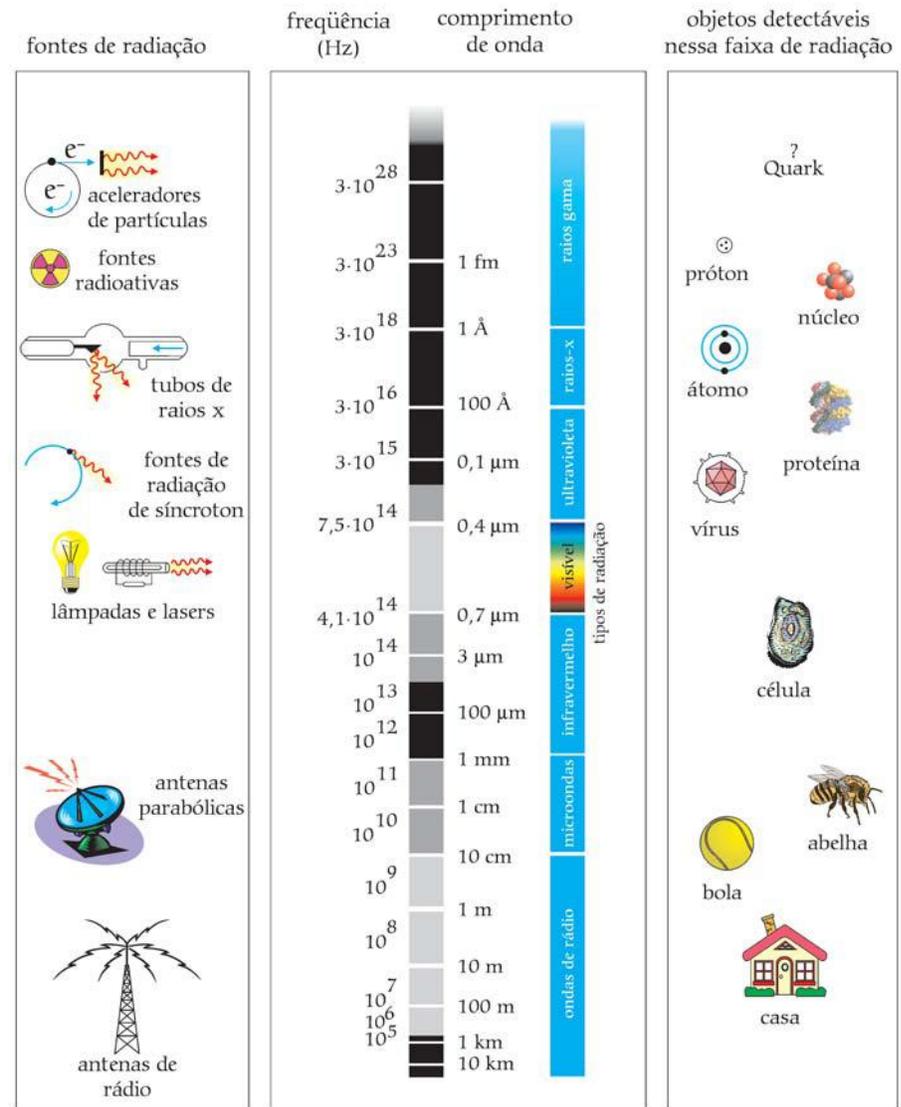


Figura 2. Espectro das radiações eletromagnéticas (FnE, v. 1, n. 1).

forem muito extensos, a célula pode não ser capaz de se reparar adequadamente, o que pode levá-la à morte ou a mudar as suas funções e ser o início de uma doença degenerativa como o câncer, caso o organismo como um todo não consiga eliminá-la.

Portanto, um corpo está sendo irradiado e sofrendo os efeitos causados pela radiação enquanto ele estiver exposto a uma fonte. Ao se afastar dessa fonte ele estará recebendo cada vez menos radiação e diminuindo os seus efeitos, até chegar a uma distância segura, onde o nível de radiação recebido pode ser considerado desprezível.

Concluindo: a irradiação não torna objetos ou seres vivos radioativos ou portadores de radiação; portanto, depois da exposição, podemos tocá-los ou manuseá-los sem receio.

Não se está considerando nesta conclusão a ativação por processos de irradiação, o que somente é possível em condições de laboratório. Neste processo, elementos químicos tornam-se significativamente radiativos após serem submetidos a altas intensidades de radiação ionizante com altas energias por longos períodos de tempo.

Se além do recipiente externo, que é a blindagem, o recipiente interno também se romper, o material radioativo poderá vaziar para o meio ambiente e ocasionar uma contaminação radioativa. Então dizemos que ocorre a contaminação radioativa quando um objeto ou um ser vivo se impregna com o material radioativo que vazou para o meio ambiente devido à ocorrência de um acidente. Deste modo, ele contém material radioativo em sua estrutura e carregará este material para onde quer que vá. Ou seja, ele conterà uma fonte radioativa, que o estará irradiando assim como tudo e todos por onde quer que ele passe. Claro que esta irradiação também decresce com o quadrado da distância.

Outra dúvida muito comum: no caso da contaminação radioativa, um objeto ou ser vivo impregnado com material radioativo, não fica todo ele radioativo depois de algum tempo? A palavra 'contaminação' significa que um objeto ou um ser contém algo; assim ela é usada em medicina para indicar que uma pessoa contém algo indesejável em seu organismo (por exemplo metais pesados como o chumbo ou microorganismos que provocam

doenças, como hepatite, AIDS ou doença de Chagas). A contaminação por microorganismos é o conceito mais conhecido pela população e a partir dele ela deduz que a contaminação radioativa também poderia proliferar no organismo, passar para outros seres vivos e provocar uma epidemia. Não é isto o que acontece.

Os materiais radioativos não são seres vivos e, portanto, não têm como se reproduzir e causar uma epidemia. Pessoas que se contaminam com material radioativo ou com metais pesados (como mercúrio ou chumbo) devem procurar ajuda médica especializada para se livrarem da mesma. Se for uma contaminação externa, as roupas que estavam sendo usadas no momento da contaminação serão retiradas e separadas, e a pessoa deverá tomar um banho de água corrente para retirar o restante da contaminação.

Se houver contaminação interna, o caso é um pouco mais complicado. Dependendo do nível de contaminação, além do acompanhamento médico, a pessoa deverá ficar internada para receber tratamento adequado, que vise estimular a saída mais rápida da contaminação pelas fezes e pela urina, e assim reduzi-la a níveis desprezíveis. Deve-se então coletar e guardar os excrementos (e deste modo não contaminar o meio ambiente), administrar medicação adequada, que reduza os efeitos da radiação ionizante no organismo e não irradiar outras pessoas. O importante a notar é que a contaminação tende a diminuir, tanto que não se volte a ter contato direto com o material radioativo.

Uma pessoa contaminada externamente pode contaminar outras pessoas direta ou indiretamente. Diretamente, por exemplo, se suas mãos estiverem impregnadas; a cada aperto de mão ela passará um pouco de material radioativo para a mão da outra pessoa. Indiretamente, por exemplo, se suas roupas estiverem contaminadas; ao sentar em um banco ela deixará um pouco de material

radioativo, que impregnará a roupa de uma ou mais pessoas que se sentarão naquele local. O importante a notar é que o mecanismo de transmissão da contaminação radioativa é o mesmo da que costumamos chamar, genericamente, de sujeira! E que conforme a contaminação

vai se espalhando ela também e vai se diluindo no ambiente, e não aumentando como no caso de uma epidemia causada por microorganismos.

Concluindo: a contaminação radioativa não se multiplica com o tempo, aumentando a sua quantidade em um objeto ou ser vivo contaminados.

Qual é o nível de redução que pode ser considerado desprezível para uma irradiação ou para uma contaminação radio-

ativa proveniente de um acidente? Primeiro, qual é a resposta a esta questão: Cristovão Colombo descobriu ou inventou a América? Pode parecer estranho uma pergunta de história em um texto de física nuclear, mas ela tem relevância. A resposta é: ele descobriu a América, portanto ela já existia independente de Colombo ou de qualquer outro navegador a encontrar ou não (se ele tivesse inventado a América, ele teria chegado em algum ponto do Atlântico, pego uma pá, retirado a terra do fundo do oceano e construído todo o continente americano!). E a radiação? Ela foi descoberta ou foi inventada? A radiação também foi descoberta, ou seja, ela já existia (e continua existindo) na natureza.

Essa radiação natural tem várias componentes e origens; ela vem do espaço (raios cósmicos), está presente na forma de átomos radioativos (os radionuclídeos), no ar que respiramos (por exemplo o carbono-14), na nossa comida (do potássio presente nos alimentos, como o leite, o feijão, a batata e a banana; 0,0118% é de potássio-40, que é radioativo), na água (gás radônio), na crosta terrestre e nos materiais que usamos para construir nossas moradias (urânio, tório e gás radônio). Portanto, independente da profissão ou da localização onde vive, todo ser humano recebe uma certa quantidade de radiação, tanto interna quanto externamente, que é chamada "radiação de fundo" e esta varia de acordo com a localização geográfica e com a altitude. Existem lugares na crosta terrestre onde há maiores concentrações de materiais radioativos do que em outras, e quanto maior a altitude, maior a contribuição da radiação cósmica.

No caso de um acidente onde ocorra apenas irradiação, as autoridades responsáveis pela segurança radiológica devem isolar o local do acidente até um raio de distância em que a contribuição do nível de irradiação proveniente deste acidente acrescente apenas uma pequena fração à radiação de fundo já existente na região. No caso de um acidente em que também

A irradiação não torna objetos ou seres vivos radioativos ou portadores de radiação; portanto, depois da exposição, podemos tocá-los ou manuseá-los sem receio

A contaminação por microorganismos, conceito mais conhecido pela população, nos induz à falsa conclusão de que a contaminação radioativa também poderia proliferar em nosso organismo e passar para outros seres vivos, provocando uma epidemia

haja contaminação, o mesmo raciocínio é aplicado à descontaminação da região ou das pessoas contaminadas.

Com relação aos noticiários, seria interessante que os chefes de redação adotassem a utilização de sentenças dentro do contexto de irradiação e de contaminação radioativa para informar com maior precisão o seu público. Tomemos esta notícia fictícia: “Hoje de manhã houve um acidente durante o transporte de material radioativo. As autoridades informaram que não houve vazamento e que a área ficará isolada em um raio de tantos metros, até que os técnicos procedam ao resgate do material”, ou “...que houve vazamento e que a área ficará isolada em um raio de tantos metros por tantos dias, até a completa descontaminação do local pelos técnicos e que as pessoas que tiveram

Uma companhia aérea negou-se a transportar material médico cuja esterelização fora feita através da irradiação, alegando que o material tornara-se radioativo. O cliente trocou de fornecedor. Resultado: negócio perdido pela falta de conhecimento básico sobre o tema...

ou possam ter tido contato direto ou indireto com o material radioativo estão passando por detectores de radiação, com o objetivo de verificar se elas se impregnaram com material radioativo e, se for o caso, encaminhá-las aos agentes de saúde, para serem descontaminadas”. Se for interessante fornecer uma ordem de grandeza da intensidade da radiação, pode-se utilizar uma sentença como: “Segundo as autoridades, a tantos metros do local do acidente, o nível de radiação decresce para um nível igual ao da radiação natural”. Concordo que estas expressões são um tanto longas, mas passam um retrato mais próximo da realidade do que “a área está altamente radioativa” ou a “a região está com altos níveis de radiação”.

Durante muitos anos eu trabalhei em uma empresa que, entre outras linhas de trabalho, esterilizava materiais por irradiação. Estes materiais eram da linha médica e farmacêutica (luvas cirúrgicas, drenos, próteses, frascos de colírio, fios cirúrgicos, etc.). Um cliente era do Rio de Janeiro e enviava para São Paulo, por via aérea, a matéria-prima de um dos seus medicamentos para ser esterilizada por irradiação. Uma vez ele mudou de companhia aérea, que tinha (ou ainda tem) por política não transportar material radioativo. Na vinda deste material não houve

qualquer problema, mas quando foi feita a remessa de volta, esta companhia não queria embarcar o material, devido a este portar um certificado de irradiação. Por telefone explicamos a diferença entre irradiação e contaminação radioativa, mas não houve como

convencê-los. Tivemos que enviar via fax uma declaração de que o material não havia se tornado radioativo por ter sido irradiado. Para ser coerente com a sua política, esta companhia aérea, que também faz o transporte de pessoas, deveria entregar um questionário a cada passageiro perguntando se alguma vez ele foi submetido a radioterapia. Em caso afirmativo, o passageiro deveria anexar uma declaração do hospital onde o tratamento foi feito, informando que ele não está radioativo por ter sido irradiado. Este é um pequeno exemplo do que pode ocorrer quando as pessoas não estão informadas da diferença e do significado entre irradiação e contaminação radioativa. O nosso cliente resolveu rápido este empe-

ciho: voltou a transportar o seu material pela companhia aérea anterior.

Agradecimentos

Agradeço aos seguintes colegas pela leitura crítica deste artigo e pelas sugestões apresentadas: prof. Carlos R. Apolloni (DF-UEL), profa. Linda V.E. Caldas (IPEN/CNEN-SP) e prof. Gian M.A.A. Sordi (IPEN/CNEN-SP).

Para saber mais

- E. Okuno, *Radiação: Efeitos, Riscos e Benefícios* (Harbra, São Paulo, 1998), 82 p.
- A.R. Biral, *Radiações Ionizantes para Médicos, Físicos e Leigos* (Insular, Florianópolis, 2002), 230 p.
- L.A.M. Scaff, *Mitos e Verdades, Perguntas e Respostas - Radiações* (Barcarola, São Paulo, 2002), 118 p.
- E.M. Cardoso, *Apostila Educativa: Aplicações da Energia Nuclear* (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro), 18 p. Disponível em www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp. Acesso em 23/2/2006.
- E.M. Cardoso, *Apostila Educativa: Energia Nuclear* (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro), 29 p. Disponível em www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp. Acesso em 23/2/2006.
- E.M. Cardoso, *Apostila Educativa: Radioatividade* (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro), 19 p. Disponível em www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp. Acesso em 23/2/2006.
- Y. Nouailhetas, *Apostila Educativa: Radiações Ionizantes e a Vida* (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro), 42 p. Disponível em www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp. Acesso em 23/2/2006.



.....
M.J. Menon

Instituto de Física 'Gleb Wataghin',
 Universidade Estadual de Campinas,
 Campinas, SP, Brasil
 E-mail: menon@ifi.unicamp.br

.....

O número de Avogadro, também chamado mol, é igual ao número de moléculas contidas em 22,4 litros [1] de qualquer gás nas condições normais de temperatura e pressão ($T = 0^\circ\text{C} = 273\text{ K}$ e $P = 1\text{ atm} = 760\text{ mm Hg}$). Um mol é também o número de átomos (ou moléculas) existentes em 1 átomo-grama (ou molécula-grama) [2] de qualquer substância [3]. Esse número é $6,02252 \times 10^{23}$, em geral aproximado para $N_A = 1\text{ mol} \approx 6,02 \times 10^{23}$.

Uma idéia precisa de quão grande é essa potência, 10^{23} , nem sempre é algo simples de ser assimilado por muitos alunos. Sendo o futebol um esporte de tradição em nossa cultura, vamos buscar na bola de futebol um exemplo que ilustre a grandeza desse número.

A idéia é responder à seguinte pergunta: o volume ocupado pela Terra no espaço é equivalente ao volume de quantas bolas de futebol?

Para respondê-la, devemos dividir o volume da Terra pelo volume de uma bola de futebol. Representando por V_T o volume da Terra e V_b o da bola de futebol, o número N de vezes que V_T é maior que V_b é dado pela razão

$$N = \frac{V_T}{V_b}$$

Uma bola de futebol, em boas condições, é esférica e embora a Terra seja achatada nos pólos, podemos, com boa aproximação, considerá-la também esférica (discutiremos isso a seguir). Nessas condições, sendo o volume de uma esfera igual a quatro terços de π vezes o raio ao cubo, a equação anterior fica

$$N = \left[\frac{R_T}{R_b} \right]^3,$$

onde R_T é o raio da Terra e R_b o da bola

de futebol. Assim, basta estimar essas duas grandezas. Vamos aos dados numéricos.

De acordo com o INMETRO [4] as dimensões exigidas para uma bola de futebol oficial são limitadas a uma circunferência máxima de 70 cm e mínima de 68 cm. Desse modo, sendo o raio igual ao perímetro (circunferência) dividido por duas vezes π , podemos estimar o raio como

$$R_b \approx \frac{69\text{ cm}}{2\pi} \approx 11\text{ cm}.$$

Com relação à Terra, os dados geográficos indicam [5]: diâmetro equatorial de 12.756,3 km e diâmetro polar de 12.713,5 km. Vemos que a diferença desses diâmetros, 42,8 km, representa apenas 3,4% do valor médio, e portanto podemos aproximar a Terra por uma esfera com raio médio $R_T \approx 6.370\text{ km} = 6,37 \times 10^8\text{ cm}$.

Com essas aproximações a Eq. (1) fornece

$$N \approx \left[\frac{6,37 \times 10^8}{11} \right]^3 \approx 0,1942 \times 10^{24}$$

ou, arredondando, $N \approx 1,94 \times 10^{23}$. Ou seja, aproximadamente um terço do número de Avogadro. Isso significa que N_A é, aproximadamente, o número

de bolas de futebol cujo volume equivale ao volume de três planetas Terra no espaço!

É interessante notar que, mesmo aproximando o raio da Terra pelo valor equatorial ou polar, ou a bola por seu diâmetro mínimo ou máximo, a ordem de grandeza não se altera. Vejamos alguns resultados numéricos extremos, com os raios mínimos e máximos.

Para a bola:

Neste artigo mostramos que o volume ocupado pelo planeta Terra no espaço é equivalente, em ordem de grandeza, ao volume de dez a vinte e três bolas de futebol. O cálculo, que é simples, é feito considerando-se todas as aproximações fisicamente justificáveis. Essa coincidência curiosa fornece uma idéia a respeito de quão grande é o número de Avogadro.

A idéia precisa de quão grande é a potência 10^{23} nem sempre é simples de ser assimilada pelos alunos; já o futebol, de grande tradição em nossa cultura, pode ajudar-nos a entendê-la

$$R_b^{\max} \approx \frac{70 \text{ cm}}{2\pi} \approx 11,1408 \text{ cm}$$

$$R_b^{\min} \approx \frac{68 \text{ cm}}{2\pi} \approx 10,8225 \text{ cm}$$

Para a Terra:

$$R_T^{\max} \approx \frac{12.756,3 \text{ km}}{2\pi} \approx 6.3785 \times 10^8 \text{ cm}$$

$$R_T^{\min} \approx \frac{12.713,5 \text{ km}}{2\pi} \approx 6.3568 \times 10^8 \text{ cm}$$

Podemos estimar o número máximo considerando o raio máximo da Terra (equatorial) e o raio mínimo da bola; do mesmo modo, o número mínimo é obtido considerando o raio mínimo da Terra (polar) e o raio máximo da bola. Nesse caso o número máximo é dado por

$$N_{\max} = \left[\frac{R_T^{\max}}{R_b^{\min}} \right]^3 \approx 2,05 \times 10^{23},$$

e o número mínimo por

$$N_{\min} = \left[\frac{R_T^{\min}}{R_b^{\max}} \right]^3 \approx 1,86 \times 10^{23},$$

sendo todos, portanto, da mesma ordem de grandeza. Dessa forma, dentro de toda estimativa justificável, a ordem de grandeza não se altera.

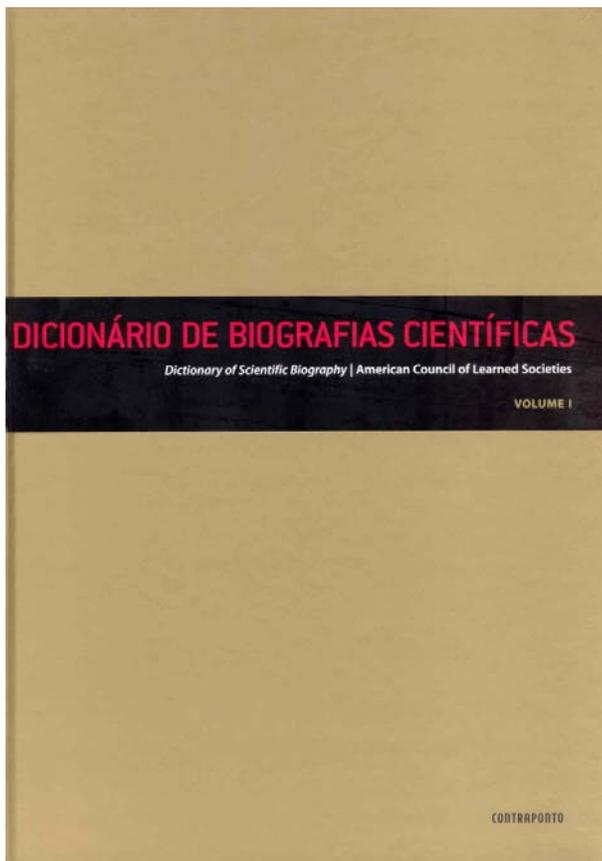
Podemos imaginar que o volume ocupado pela Terra no espaço é certamente grande. Entretanto, como vimos, mesmo considerando o volume de dois ou três planetas Terra, a ordem de grandeza do número de bolas de futebol com volume equivalente não se altera: dez a vinte e três.

Um outro exemplo simples e também bastante conhecido envolvendo bolas refere-se à idéia de se colocar 6×10^{23} bolas em seguida, uma atrás da outra. Se retiramos (ou chutarmos) uma bola e a seguinte não, sucessivamente, até o final, quantas bolas sobraram? É claro que sobrou metade: 3×10^{23} . Ou seja, depois desse árduo trabalho, nem é alterada a ordem de grandeza: dez a vinte e três.

Referências e notas

- [1] Esse volume corresponde ao volume de um cubo de lado 28,2 cm, aproximadamente o comprimento de uma régua.
- [2] Um átomo-grama (ou molécula grama), corresponde à massa atômica (ou molecular) de uma substância expressa em gramas. A massa de átomos e moléculas é medida em unidades de massa atômica. Essa unidade, representada por u , é definida como 1/12 da massa do isótopo de carbono 12 (6 prótons e 6 nêutrons no núcleo). Assim, pela definição, a massa atômica do carbono é 12 u e um átomo-grama de carbono (1 mol de átomos), possui massa 12 g. Por exemplo, o cálcio possui massa atômica 40 u e um átomo-grama de cálcio tem massa 40 g.
- [3] R. Feltre, *Fundamentos da Química* (Editora Moderna, São Paulo, 1999).
- [4] <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/futebol.asp>.
- [5] <http://www.conhecimentosgerais.com.br/geografia/terra.html>.

Lançada a edição brasileira do *Dictionary of Scientific Biography*



Uma fonte permanente de consulta para professores, estudantes, jornalistas e outros profissionais. De Aristóteles a Galileu, de Francis Bacon a Descartes, de Pasteur a Einstein, de Santo Tomás de Aquino a Freud, de Leonardo da Vinci a Darwin, de Euler a Von Neumann, os nomes mais relevantes da história do conhecimento científico e da filosofia da ciência são focalizados. O caráter multidisciplinar da obra (que inclui ciências humanas e naturais), o alto nível dos textos (assinados pelos maiores especialistas mundiais de cada assunto, em um total de centenas de colaboradores de diversas nacionalidades) e a combinação de informações factuais e discussão ampla sobre a contribuição de cada biografado – tudo isso faz desse Dicionário uma obra sem igual. São 329 ensaios distribuídos em três volumes de grande formato, com 8.250 laudas de texto e milhares de gráficos, figuras e equações, além de preciosas indicações bibliográficas.

“Apresentada sem história, a ciência não apaixonou”
Cesar Benjamin – Editor

“Uma coleção fundamental na área de história da ciência”
Carlos Filgueiras – UFRJ

“Um trabalho muito sério e útil. Todos os historiadores da ciência o utilizam”
Roberto Martins – Unicamp

Mais detalhes em
<http://www.contrapontoeditora.com.br>



Faça Você MESMO



Bloco projetor manual

Apresentamos um projeto simples para a construção manual de blocos projetores confeccionados com papel sulfite arranjados convenientemente para que, ao serem facilmente desfolhados, reproduzam um pequeno efeito de animação de fenômenos físicos. Cada página do bloco contém os desenhos, coloridos ou não, confeccionados a mão livre ou com ajuda de régua e compasso. O projetor pode auxiliar o professor quando, efetivamente, o ensino de física se realiza nas aulas teóricas expositivas, em qualquer tópico da física. Os custos basicamente são as despesas com folhas de sulfite e um grampeador municiado.

Construção

A construção do bloco projetor pode ser feita com no mínimo duas folhas de sulfite cortadas e dobradas, de acordo com as seqüências de fotos na Fig. 1.

Na Fig. 1A está indicado o local do corte longitudinal em cada folha de sulfite, que pode ser executado rapidamente, fazendo uso de uma régua. Essas

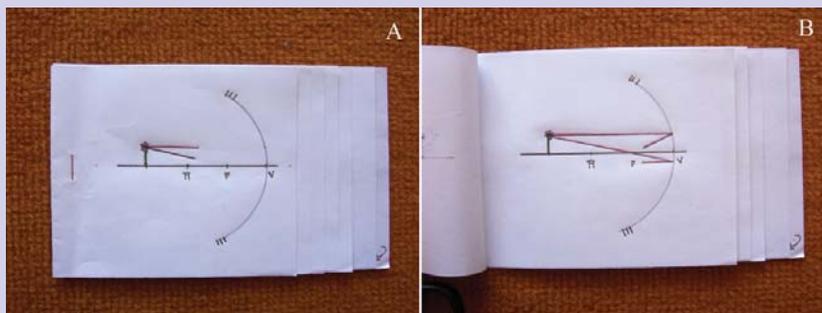


Figura 2. Raios notáveis nos espelhos côncavos.

metades de folhas são superpostas alinhadamente, deixando pequenas distâncias entre si nas extremidades, como mostra a Fig. 1B. A seguir é realizada uma dobradura em torno do eixo conforme mostrado na Fig. 1C. O bloco é fixado por meio de um grampo, próximo do eixo de dobradura, como está evidenciado na Fig. 1D. Nessa última foto, o bloco projetor manual já está pronto para receber os desenhos em suas páginas.

Para exemplificar a confecção dos desenhos nas páginas do bloco projetor, são desenhados dois raios notáveis que aparecem no estudo dos espelhos esféricos,

em óptica geométrica (Fig. 2), com os instrumentos de desenho geométrico (régua e compasso). Um dos raios incide paralelamente ao eixo principal e se reflete no espelho côncavo passando pelo foco. O outro raio incide no foco e se reflete no espelho paralelamente ao eixo principal. Na Fig. 2A é exibida a primeira página do bloco, construída com o auxílio de régua, esquadro de qualquer tipo e compasso simples. Risca-se o eixo principal e usando a escala da régua determinam-se os pontos R, F e V. A seguir, usando o compasso, o espelho é desenhado. O objeto luminoso e dois raios notáveis também são desenhados. Os traços nos desenhos nessa página são feitos sob pressão, para que sua marca, em baixo relevo, seja transmitida para outra página. Essa deformação permite construir as figuras com mais rapidez, principalmente aqueles desenhos que não mudam de lugar, nas diferentes páginas. A Fig. 2B mostra a segunda página do bloco, onde a luz se deslocou e percorreu uma distância semelhante ao comprimento do raio desenhado na primeira página do bloco. Dessa forma salienta-se a propriedade de propagação retilínea da luz e a constância do valor absoluto da sua velocidade. Além disso, reforça-se o conhecimento das trajetórias dos raios notáveis. O efeito final de animação é concebido desfolhando várias vezes o bloco projetor. A Fig. 3 mostra a posição inicial momentos antes de iniciar o desfolhamento do bloco e obter o movimento desejado.

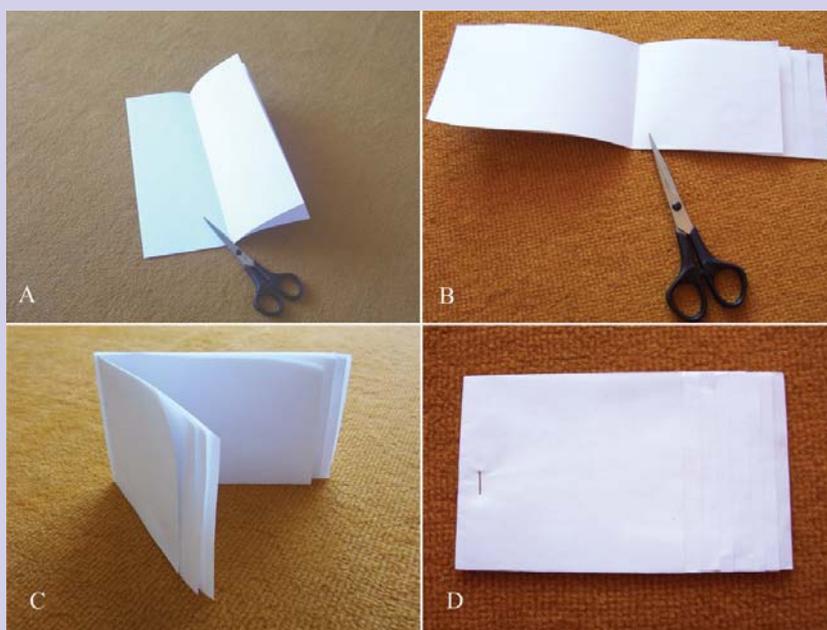


Figura 1. Construção do bloco projetor.

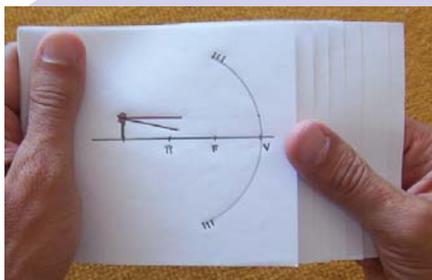


Figura 3. Bloco projetor manual.

O bloco projetor manual pode ser usado para descrever os movimentos de translação, de rotação, ou mesmo uma combinação desses dois movimentos. Portanto pode ser utilizado em cinemática, dinâmica e ondulatória, dentre outros tópicos possíveis e imagináveis da física.

Agradecimentos

Aos professores L.A. do Carmo e J.T.N. Agra pelos incentivos e suas observações valiosas.

M.V. Figueredo
Fundação Universidade Federal
do Vale do São Francisco, Petrolina, PE
E-mail: militao.figueredo@univasf.edu.br

A.C. Bertuola
Centro Federal de Educação Tecnológica
de Petrolina, Petrolina, PE
E-mail: acbertuola@gmail.com

As ventosas de Magdeburgo

Objetivo

Ilustrar a famosa experiência dos hemisférios de Magdeburgo.

Material

Duas ventosas de mesmo tamanho.

Procedimento

Pegue as ventosas e ajuste uma a outra, pressionando-as até expulsar o ar entre elas. Em seguida, tente separá-las.

Observe que...

As ventosas ficam bem “grudadas”.

Explicação

Quando o ar foi expulso, a pressão interna tornou-se menor que a pressão externa (atmosférica). Esta, maior, força uma ventosa contra a outra.

Tópicos de discussão

- Experiência dos hemisférios de Magdeburgo.
- Efeitos produzidos pela pressão atmosférica.



Hemisférios utilizados em 1650 por Otto von Guericke.

Fábio Luís Alves Pena
CEFET-Bahia, Salvador, BA, Brasil
E-mail: fabiopena@cefetba.br

Núcleo de “tubo-aço”

O objetivo deste experimento é mostrar a finalidade do núcleo de ferro (ou de aço) de um eletroímã.

Material utilizado

- 1 tubo de vitamina C efervescente ou um tubo similar
- 1 bateria de 9 V
- 20 m de fio de cobre esmaltado (29 AWG)
- 15 pregos de aço (2 ½ x 10)
- Alfinetes niquelados
- Estilete

Procedimento

Enrole (em espiral, cerca de 200 voltas) o fio de cobre esmaltado no tubo de vitamina C. Raspe, com o estilete, as pontas livres do fio para remover o esmalte isolante. Prenda uma das pontas livres do fio esmaltado no pólo positivo da bateria e a outra no pólo negativo, estabelecendo assim uma corrente elétrica e, por conseguinte, um campo magnético ao redor do fio esmaltado. Você acabou de construir um eletroímã (Fig. 1).

Aproxime o eletroímã (com o tubo



Figura 1. Montagem do eletroímã.

vazio) dos alfinetes e observe o que acontece. Em seguida, faça o mesmo com o tubo cheio de pregos.

Observe que...

O eletroímã sem os pregos de aço não consegue atrair os alfinetes, já com os pregos, consegue.

Explicação

A intensidade do campo magnético criado pelo eletroímã depende do valor da corrente elétrica que percorre o fio condutor, do número de voltas e do material

do núcleo (meio envolvido pelo fio de cobre esmaltado).

Nas duas situações, a primeira com o tubo vazio (núcleo de “tubo-ar”) e a segunda com o tubo com pregos (núcleo de “tubo-aço”), o número de voltas e a intensidade de corrente elétrica não mudam; logo, a intensidade do campo magnético criado pelo eletroímã depende apenas do material do núcleo. Ou seja, o núcleo de “tubo-aço” é composto por material ferromagnético (aço). Este, ao ser imantado, provoca um aumento do campo magnético aplicado (criado pela corrente elétrica), de tal forma que o eletroímã consegue atrair os alfinetes. O mesmo não ocorre quando o núcleo é de “tubo-ar”, pois o ar não é um material ferromagnético.

Tópicos de discussão

- Efeito magnético da corrente elétrica
- Aplicações do eletroímã.

Fábio Luís Alves Pena
CEFET-Bahia, Salvador, BA, Brasil
E-mail: fabiopena@cefetba.br



Notas da HISTÓRIA DA FÍSICA no Brasil

Os precursores da física no Brasil

O Brasil ainda é um país carente de centros de divulgação científica e de museus de ciência. Como é sabido, somente em 1934 foi criada a sua primeira universidade, a Universidade de São Paulo, logo seguida de outras mais, em vários estados.

Até essa data, existiam escolas profissionais isoladas, destinadas ao ensino de medicina, engenharia, direito, farmácia, odontologia, agricultura, etc.

Em várias dessas faculdades existiam laboratórios para as ciências exatas, alguns dos quais razoavelmente bem equipados, principalmente em São Paulo e no Rio de Janeiro. Nos estabelecimentos de ensino secundário, poucos possuíam laboratórios (na época, denominados “gabinetes”) para o ensino de física, química, mineralogia, etc., que fossem dignos desse nome. Nesses laboratórios não se realizavam pesquisas: suas atividades eram conhecidas como “aulas práticas”, nas quais eram feitas poucas experiências. Lembrome, por exemplo, de que em meu curso de física tive mais “aulas práticas” de física nos ginásios do Estado, em Campinas e São Paulo, do que na minha turma da Escola Politécnica, onde fui aluno do curso de engenharia elétrica (uma única aula durante o curso).

Em escala nacional, nossas escolas secundárias, via de regra, não possuem laboratórios dignos desse nome: há uma completa falta de aparelhamento básico e visão para o ensino de ciências naturais. É possível encontrarmos computadores de geração avançada até em escolas para o ensino primário, mas, provavelmente, elas não possuirão uma balança ou um galvanômetro...

Diante desse contexto da realidade

nacional, em que o método seguido para o ensino das ciências ainda é o medieval, o ensino das ciências exatas é o mesmo seguido para as ciências humanas, substituindo-se o laboratório por giz e quadro-negro. A existência de museus de ciência concebidos nos moldes da Estação Ciência é um imperativo para a sobrevivência do ensino de ciências no Brasil. Eles preencheriam uma lacuna fundamental e despertariam o interesse dos jovens de várias idades para um mundo novo de fenômenos dos quais só conhecem a apresentação literária... Como dizia Lorde Rutherford, o descobridor do núcleo do átomo, “o país que não desenvolver a sua ciência e a sua tecnologia está fadado a transformar-se em fornecedor de lenha, de latas de água e de seus recursos naturais para os povos civilizados”.

O Brasil necessita urgentemente de museus de ciência e de estações-ciência em todo o seu território. Esse é o único caminho para vencermos a barreira do subdesenvolvimento e de oferecermos aos jovens meios de se prepararem para ajudar a criar um país próspero, livre e independente.

O nascimento dos centros de pesquisa no Brasil

Quando se fala em contribuição à ciência, torna-se necessário definir melhor o que se tem em vista, pois a palavra ciência possui várias acepções. Não me sinto em condições de aquilatar o valor de várias contribuições que têm sido feitas por cien-

tistas brasileiros, notadamente na medicina, na biologia e em ciências naturais que, tradicionalmente, têm sido as mais cultivadas no país e nas quais existem vários cientistas que prestaram contribuições de importância fundamental. O mesmo se poderia dizer em relação a outros setores do conhecimento, como a matemática, a química e a geologia; há a considerar ainda as contribuições com novas descobertas que visam a aplicação da ciência em vários ramos do conhecimento, como a engenharia, metalurgia, química orgânica e inorgânica, nos quais o Brasil tem se distinguido por ter desenvolvido tecnolo-

gias próprias para a solução de problemas importantes, como a do enriquecimento do urânio, dos foguetes portadores de satélites, etc. Muitas dessas tecnologias são mantidas no mais absoluto segredo pelos países que as possuem. Por isso, o desenvolvimento de métodos próprios para atingir resultados que são conhecidos representa um esforço tecnológico e científico considerável, que revela as excepcionais qualidades dos pesquisadores responsáveis; entretanto, essas pesquisas nem sempre são totalmente originais: os resultados são conhecidos, mas não os métodos para obtê-los. O mesmo se dá em problemas da biologia, genética e da medicina.

Por essas razões, e por ter aprendido que um cientista não deve emitir opinião a não ser nos setores em que se considera especialista, limitarei minhas opiniões apenas ao setor da física. Mesmo nesse setor, entretanto, a identificação dos cien-

Em escala nacional, nossas escolas secundárias, via de regra, não possuem laboratórios dignos desse nome: há uma completa falta de aparelhamento básico e visão para o ensino de ciências naturais



O autor ao lado dos presidentes Jânio Quadros e Juscelino Kubitschek de Oliveira.

tistas que desempenham um papel importante em uma pesquisa publicada está se tornando cada vez mais difícil, pois, dada a complexidade da parafernália necessária para a realização de certas pesquisas sobre partículas elementares e reações nucleares com grandes aceleradores - como os existentes no Cern, Brookhaven, Serpukhov, etc. -, tornou-se freqüente o aparecimento de pesquisas que apresentam às vezes mais de duas centenas de autores. Muitos físicos brasileiros têm participado de pesquisas desse gênero no exterior, mas é impossível aquilatar a contribuição de cada um. Em artigo recente publicado sobre a ética científica na revista *The American Scientist*, chama-se a atenção para esse fato lembrando que, além dos cientistas que realmente participaram das pesquisas, existem outros que nada mais são do que *guest scientists* e já existem casos em que a lista dos nomes dos pesquisadores participantes ocupa um espaço maior na publicação do que o utilizado para a apresentação das novas descobertas...

José Reis, renomado cientista brasileiro e pioneiro na divulgação da ciência no nosso país, lembrava sempre que existem vários "pesquisadores" patricios que possuem grande reputação nos meios científicos do seu bairro, ou em "academias" de ciências de Pato Preto, de Alfacelândia, etc.

As contribuições de cientistas brasileiros na física iniciaram-se após a criação da Universidade de São Paulo (1934), na sua Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, sob a liderança do professor Gleb Wataghin, de origem russa, professor na Universidade de Turim que veio para o Brasil com outros professores italianos para a recém-criada Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, indicado por Enrico Fermi a Teodoro Augusto Ramos, professor da antiga Escola Politécnica, que era, na época, o cientista brasileiro de maior trân-

sito nas universidades européias. Wataghin foi o implantador da física moderna no Brasil e a ele se deve a criação da Escola de Física da USP, sem dúvida a maior da América Latina.

No Rio de Janeiro, o desenvolvimento da física teve início mais ou menos na mesma época graças à presença de Bernhard Gross, um notável físico alemão, que iniciou a física do estado sólido no Brasil. Gross criou uma escola de especialistas na física dos dielétricos e a ele se deve a

descoberta dos eletretos, confirmada pelo físico japonês Eguchi, que recebeu o Prêmio Nobel por seus trabalhos nesse campo. Um dos alunos de Gross, Sergio Mascarenhas de Oliveira, é o fundador da Escola de Física de São Carlos (USP), um dos maiores centros de investigação de física do estado sólido no País.

As mais importantes contribuições de físicos brasileiros são devidas à escola de Wataghin na USP. Desde 1936 iniciaram-se as pesquisas sobre raios cósmicos,

publicadas em várias revistas especializadas do Brasil e do exterior. Essas pesquisas culminaram com a descoberta do fenômeno conhecido por "chuveiros penetrantes de raios cósmicos" (*cosmic ray penetrating showers*) por G. Wataghin, M.D.S. Santos e P.A. Pompeia - um novo fenômeno que revelou a existência de partículas penetrantes simultâneas na radiação cósmica (1940). Esse fenômeno de produção de partículas provenientes da explosão de um único núcleo atômico (mésons ou méstrons) foi confirmado por vários trabalhos realizados por experiências posteriores em São Paulo (G. Wataghin e O. Sala) e no exterior, sendo a nossa primazia reconhecida internacionalmente.

Ao lado dessas pesquisas, Wataghin formou um grupo de físicos teóricos dentre os quais estavam Mario Schemberg, José Leite Lopes e Jayme Tiomno, cujos

trabalhos no país e no exterior tornaram São Paulo um centro conhecido internacionalmente em física teórica.

Em fins de 1937 o antigo Departamento de Física da Facul-

dade de Filosofia foi enriquecido com a vinda do professor Giuseppe Occhialini, cujas pesquisas sobre raios cósmicos, na

José Reis lembrava sempre que existem vários "pesquisadores" patricios que possuem grande reputação nos meios científicos do seu bairro, ou em "academias" de ciências de Pato Preto, de Alfacelândia, etc.



O autor ladeado à direita por Sérgio Mascarenhas e à esquerda por José Goldemberg e Oscar Sala. Em pé: Ernst Hamburger.



Da esquerda para direita: Thereza Borello, Carlos Ourívio Escobar e o autor. De costas: Ewa Cibulska.

Inglaterra, culminaram com a descoberta de um método de registro fotográfico de fenômenos observados com a câmara de Wilson. Trabalhando com o professor P.M.S. Blackett na Universidade de Cambridge (Inglaterra), esses notáveis físicos identificaram o aparecimento de elétrons positivos (pósitrons) nos chuveiros devido ao componente mole (ou pouco penetrante) da radiação cósmica. Occhialini deu uma enorme contribuição ao desenvolvimento da física nuclear experimental no Brasil graças à sua formação no Cavendish Laboratory (Cambridge) sob a direção de Sir E. Rutherford - na época o maior centro de pesquisas de física do núcleo e das partículas.

Entre os alunos de Wataghin e de Occhialini merece destaque especial a figura de Cesar Lattes, sem dúvida o maior físico brasileiro. Lattes desenvolveu com Occhialini a técnica de detecção de partículas mediante o emprego de emulsões fotográficas, com a qual descobriu o méson pi e a sua produção em aceleradores de alta energia, na Universidade da Califórnia, em colaboração com o E. Gardner. Por ocasião de sua volta dos Estados Unidos, foi um dos fundadores do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas e, mais tarde, do Centro de Física de Altas Energias e Geocronologia na recém criada Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Na Unicamp, Lattes formou uma equipe notável de pesquisadores que descobriram importantes fenômenos na radiação cósmica, como as "bolas de fogo",

utilizando a técnica de emulsões nucleares no alto do Chacaltaya (Bolívia).

Em torno de Occhialini e de Lattes formou-se um grupo considerável de cientistas brasileiros - Roberto A. Salmeron, atualmente professor da École Polytechnique em Paris, Andrea Wataghin (falecido), Georges Schwachheim, Hugo Camerini, Jean Meyer, hoje radicados no exterior, onde ocupam posições em universidades (e/ou centros de pesquisa) - que deram importantes contribuições à física dos raios cósmicos e partículas elementares.

Após a Segunda Guerra Mundial, parte do grupo pioneiro formado por Wata-

ghin em raios cósmicos passou a trabalhar em física nuclear, em torno do Betatron e do acelerador Van der Graaff, ambos construídos em grande parte no Brasil por Marcello Damy e Oscar Sala, respectivamente. Esses dois grupos deram origem aos dois maiores centros de pesquisa nuclear do Brasil. O antigo laboratório do Betatron deu origem ao atual Laboratório do Acelerador Linear e o antigo Laboratório do Acelerador Van der Graaff ao atual Laboratório do Pelletron, nos quais foram formadas várias equipes de físicos que vêm realizando pesquisas de alto nível com grande repercussão no exterior. Em ambos os laboratórios existe uma ampla colaboração com centros de pesquisas de universidades da Argentina, dos Estados Unidos e da Europa; assim, pesquisadores brasileiros vêm realizando pesquisas do mais alto interesse no país e em universidades do exterior, contribuindo de maneira notável para o desenvolvimento dessa ciência em escala internacional. Com o início do funcionamento dos novos aceleradores desses dois grupos, cuja construção luta com dificuldades de origem financeira, deveremos esperar uma nova e intensa fase de produção científica, em decorrência do elevado nível científico, da capacidade de trabalho e da competência de vários componentes desses laboratórios, hoje conhecidos e respeitados no exterior. Um fato digno de menção é que o projeto e a tecnologia de construção de aceleradores lineares de energia média são amplamente dominados pelos físicos desses centros de pesquisa. Assim, o acelerador Microton do Laboratório do Acelerador Linear foi totalmente projetado e está sendo construído por físicos desse laboratório, sem que houvesse necessidade de importar *know-how*, técnicos e partes do acelerador do exterior. Não se pode desejar



Marcello Damy na mina de ouro de Morro Velho em Minas Gerais, onde também foram realizadas medidas em raios cósmicos.

uma maior prova de competência, capacidade de realização e patriotismo.

Motivação para a ciência e estímulo a jovens cientistas

Desde menino sempre tive uma grande curiosidade por tudo o que me cercava. Procurava entender como funcionavam os meus brinquedos e procurava fazê-lo utilizando latas, arame e pedaços de madeira. Aprendi a serrar madeira, a envernizá-la e, ao entrar no Ginásio do Estado "Culto à Ciência", um renomado estabelecimento de ensino em Campinas, meu pai, que era um fotógrafo profissional, presenteou-me com um *Tesouro da Juventude* - uma obra editada e traduzida do inglês pela Jackson. Essa coleção desempenhou papel importante nos meus tempos de ginásio: abordava vários problemas científicos e ensinava a fazer aparelhos simples (balanças, eletroímãs) com pregos e bateria de telefone, projetores de imagem com lentes de óculos, termômetros com fios de cobre e galvanômetros de tangente com bússolas e uma parafernália de experiências de química ensinando

como se podia distinguir ácidos de bases, e penetrava na botânica, zoologia e na geologia. Assim, quando iniciei os cursos de química e de física no ginásio já

tinha a minha curiosidade despertada para os fenômenos naturais. Tive a sorte de ter tido professores excepcionais, como Aníbal Freitas e Paulo Décourt em física e química e, ao transferir-me para o Ginásio do Estado de São Paulo, no quinto ano, Augusto de Souza Barros e Malhado Filho nessas disciplinas. A essa altura de meu curso já havia construído meus primeiros receptores de rádio com galena e com válvulas alimentadas por acumuladores. Lembro-me ainda das RCA 201 e das Arc-turus - válvulas pentodo, de vidro azul, que iria empregar mais tarde com Occhialini para extinguir a descarga dos contadores Geiger da época (1937).

Com essa curiosidade inata voltada para a física, resolvi estudar engenharia elétrica (1932), a profissão mais próxima do que eu gostava, e entrei na Escola Politécnica, que, na época, era o maior centro do saber em física, química e matemática na América do Sul.

Nos primeiros anos, os cursos básicos, que eram na realidade de matemática, mecânica, física e química, tive a oportunidade de penetrar na física com maior profundidade. Os livros de texto de várias disciplinas do ginásio eram em francês,

Os livros de texto de várias disciplinas do ginásio eram em francês, que, naquele tempo, juntamente com o inglês, era disciplina obrigatória ensinada durante os três primeiros anos do ginásio

Marcello Damy de Souza Santos formou-se na primeira turma do curso de física da USP em 1936. Em seguida, foi assistente de Gleb Wataghin. Trabalhando com seu grupo em raios cósmicos, descobriu a "produção de chuviscos de mésons". Foi diretor-fundador do atual Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) e fundador do Instituto de Física Gleb Wataghin na Universidade de Campinas. Agraciado com várias distinções, dentre as quais a Comenda do Mérito Naval e a Ordem Nacional do Mérito Científico.



que, naquele tempo, juntamente com o inglês, era disciplina obrigatória ensinada durante os três primeiros anos do ginásio. Assim, ao entrar na Politécnica, não tive dificuldade em consultar livros publicados nesses idiomas que eram adotados no curso. Aprendi então a física clássica e a matemática superior, fundamental para o curso de engenharia da época.

Um fato importante que devo mencionar e que não havíamos aprendido nunca que a matemática, a física, a química, etc. eram ciências que continuavam a ser cultivadas nas grandes universidades do exterior e que depois - e mesmo antes - da descoberta das ondas hertzianas havia um universo

de conhecimentos que ignorávamos totalmente.

Essa revelação de um mundo novo surpreendeu a todos nós, alunos da Politécnica, quando, por ocasião da criação da Universidade de São Paulo, os cursos de matemática, física e química da Politécnica foram agregados aos da nova Faculdade de Filosofia, e os antigos professores, substituídos por professores estrangeiros: as aulas de matemática e física eram ministradas pelos professores Luigi Fantappie e Giacomo Albanese, e as de física e mecânica racional pelo professor Gleb Wataghin. As aulas eram ministradas em italiano, língua da qual já possuía um conhecimento razoável por ser um dos cursos facultativos do ginásio do estado.

Esse foi um período de minha vida em que, como meus colegas, tive de enfrentar um mundo novo e surpreendente.



Professor Emérito da USP (1984). Primeiro à esquerda na primeira fila, o grande físico teórico Mário Schemberg.



Com Prof. Oscar Sala em evento comemorativo dos 35 anos do IFUSP.

Passamos a saber que os átomos podiam ser observados individualmente no laboratório e que possuíam um núcleo circundado por elétrons distribuídos em várias órbitas; esses elétrons possuíam carga e massa e também podiam ser observados individualmente, e as suas massas e dimensões, medidas no laboratório. Aprendemos também que no exterior havia um número considerável

A física, a meu ver, continua sendo o setor da ciência mais atrativo pelas infinitas conseqüências que resultam das aplicações de suas pesquisas em todos os setores do conhecimento

de físicos que se dedicavam a esses estudos e faziam progressos consideráveis. A matéria podia sofrer processos de transmutação nos laboratórios e, na natureza, a Terra era bombardeada continuamente pela radiação cósmica, constituída por partículas elementares constituintes do átomo e por fótons que eram as partículas constituintes da luz e das radiações eletromagnéticas.

É claro que um grande número de alunos da Politécnica, mesmo depois de concluir o curso de

física da engenharia, continuou a assistir as aulas de Wataghin, que lecionava na época os fundamentos da mecânica quântica e da física atômica e nuclear. Eu assistia regularmente às suas aulas, ao lado das disciplinas do curso de engenharia,

que, para mim, se tomavam cada dia mais técnicas e menos interessantes, pois não se abordavam os problemas em que eu estava interessado.

No fim do ano fui assistir aos exames dos alunos matriculados em física na Faculdade de Filosofia. O professor Wataghin, confundindo-me com um aluno regular da Faculdade, no meio do exame, dirigiu-se a mim e man-

dou-me para o quadro negro: "Quero saber o que o senhor aprendeu". Disse-lhe que não era aluno da Faculdade e sim da Politécnica. "Não importa", disse ele, "quero ver então por que você assistiu às minhas aulas". Saí-me muito bem nesse exame de surpresa. Terminado o exame, Wataghin convidou-me para uma

conversa e convenceu-me a abandonar a engenharia, prestar os exames das demais disciplinas da Faculdade e tomar-me seu assistente. Era uma excelente oportunidade, mas envolvia uma

decisão difícil: a de abandonar a futura profissão de engenheiro, reconhecida e lucrativa, para tomar-me o que meus colegas qualificavam como "filósofo" - profissão até hoje não reconhecida pelos canais burocráticos do País.

A partir desse dia tornei-me físico. Cronologicamente, o primeiro físico brasileiro, porque fui o único aluno da turma que se diplomou nessa ciência.

Como dizia o genial Peter Kapitza, um dos maiores físicos do nosso século, colaborador de Lorde Rutherford: "Ninguém pode ser feliz se não escolher uma profissão que seja também o seu *hobby*". Uma grande maioria dos jovens que ingressam nas nossas universidades não sabe bem que profissão devem seguir e muitos optam por profissões que sejam lucrativas; alguns, depois de formados, ganham dinheiro, mas têm uma vida infeliz e improdutiva, pois contribuem com muito pouco ou com nada para realizar aqueles ideais que tornam a vida digna de ser vivida.

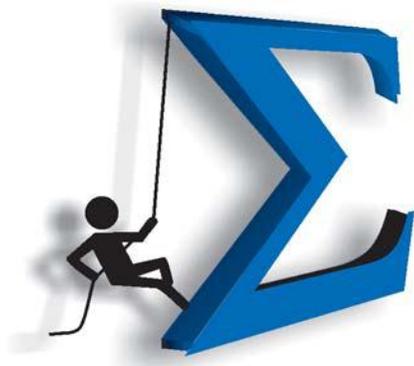
A física, a meu ver, continua sendo o setor da ciência mais atrativo pelas infinitas conseqüências que resultam das aplicações de suas pesquisas em todos os setores do conhecimento. Poucos têm uma noção clara das conseqüências indiretas que a sua pesquisa sistemática trouxe para os diversos campos do conhecimento. Há alguns anos, em inesquecível conferência realizada no Rio de Janeiro, o professor Jean Debiesse, diretor do Centro Nuclear de Saclay (França), chamava a atenção para o fato de que os físicos nucleares, pelas conseqüências indiretas de suas pesquisas, haviam transformado o nosso modo de viver e a nossa compreensão do universo. Por tratar dos problemas mais fundamentais da natureza, os físicos haviam colocado à disposição do homem contemporâneo poderes que nos tempos mitológicos eram atributo exclusivo dos deuses. Por essas razões e pela sua beleza intrínseca, o físico nuclear conquista as forças e a natureza "misteriosa" do universo colocando-as a serviço da humanidade. Nenhuma outra atividade humana pode oferecer a um jovem talentoso algo parecido com isso. Oferece-lhe ainda a vantagem de não confundir física ou energia nuclear com bomba atômica, como ocorreu com um senador americano que confundia eletricidade com cadeia elétrica.

Marcello Damy de Souza Santos
Professor emérito da USP e da PUC-SP

Notas

O presente trabalho foi publicado originalmente em *Centros e Museus de Ciências: Visões e Experiências*, organizado por S. Crestana, G.R. de M. Pereira e M. Goldman, co-edição Saraiva Editora e Estação Ciência, 1998, p. 41-48.

Fotos do arquivo do Instituto de Física da USP, gentilmente cedidas por Elizabeth Andreoli.



Problemas Olímpicos

Soluções dos problemas do número anterior

1 Esteira rolante. A aceleração da pessoa que sobe na 1ª esteira aumenta seu momento linear de 0 para Mv_1 . Note que a pessoa que se move para a 2ª esteira não ganha nenhum momento da 1ª esteira porque este deixa a esteira perpendicularmente ao seu movimento. Assim, a força pedida pode ser expressa através do aumento do momento do sistema por unidade de tempo: $F_1 = NMv_1 = 1600 \text{ N}$. Similarmente, para a segunda esteira devemos conhecer o aumento da velocidade do passageiro após chegar da primeira esteira, que é metade do valor anterior. Assim, $F_2 = NM(v_2 - v_1) = 800 \text{ N}$.

2 Célula solar. Sejam $R_2 = 10R_1$ e $R_3 = 100R_1$ as resistências dos resistores em série para as escalas de 10 V e 100 V, respectivamente. Seja ε a fonte de força eletromotriz da célula solar e r sua resistência interna. Assim, ao ligá-la em série nas diferentes condições, teremos

$$V_1 = \frac{\varepsilon}{r + R_1} R_1 = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{R_1}}, \quad V_2 = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{10R_1}} \quad e$$

$$V_3 = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{100R_1}}.$$

Resolvendo o sistema de equações, resulta em $V_3 \approx 3,6 \text{ V}$.

3 Circuito oscilante. Da figura, vemos que no diodo D_1 a corrente elétrica flui somente da esquerda para a direita, e no diodo D_2 ela flui somente para a esquerda. Portanto este circuito é oscilante com uma tensão constante que está sempre se opondo a corrente. No instante em que a corrente é nula, a tensão aplicada no capacitor tem seu valor máximo V_n , e, portanto, a carga $q_n = CV_n$. No meio ciclo seguinte o capacitor irá se descarregar e começará a ser novamente carregado, mas

com polaridade oposta. A corrente através de D_1 realizará trabalho ao passar pela bateria. Após a recarga de meio ciclo, o capacitor terá uma carga q_{n+1} , e, portanto, a carga $q_n + q_{n+1}$ irá passar através da bateria (note que a polaridade do capacitor muda durante este processo). Da conservação da energia

$$\frac{q_n^2}{2C} - \frac{q_{n+1}^2}{2C} = (q_n + q_{n+1})\varepsilon,$$

ou

$$V_n - V_{n+1} = 2\varepsilon.$$

Portanto, em meio ciclo a voltagem no capacitor irá cair de $2\varepsilon = 3 \text{ V}$. Este processo continuará até que a voltagem seja menor que $\varepsilon = 1,5 \text{ V}$ e corrente, nula. Do problema, a voltagem final é de 1 V, e então a voltagem inicial no capacitor pode ser $V_0 = 4 + 6n$, com $n = 0, 1, 2, \dots$ Como seria a solução se no último meio-ciclo a carga no capacitor diminuir de q_{n-1} para q_n sem mudar sua polaridade?

Soluções dos problemas do volume 5, número 1

1 Tubo vertical com uma coluna de ar tampada por uma coluna de mercúrio. A pressão inicial do ar no tubo é igual a pressão hidrostática da coluna de mercúrio ($H - h = 76 \text{ cm}$) mais a pressão atmosférica. Das condições fornecidas, a pressão atmosférica é $10^5 \text{ Pa} = 76 \text{ cm de mercúrio}$. No início, portanto, a pressão dentro do tubo é aproximadamente o dobro da pressão atmosférica. Supomos que o deslocamento do mercúrio ocorra lentamente, de modo que o sistema esteja sempre em equilíbrio. Próximo do estado final, quando quase todo o mercúrio foi expelido do tubo, a pressão do ar será igual à pressão atmo-

sferica, ou seja, metade da pressão inicial. Sendo A a área da seção transversal do tubo, o volume do ar será HA , que é o dobro do volume inicial hA . De acordo com a lei dos gases ideais, a temperatura do ar no estado final deverá ser a mesma do estado inicial! Vemos, pois, que o mercúrio só irá ser expelido se o ar for aquecido. Conseqüentemente, considerar somente os estados inicial e final não é suficiente para resolver este aparente paradoxo. Primeiro devemos considerar como a temperatura no tubo deve mudar para produzir um deslocamento gradual da coluna de mercúrio supondo que o sistema esteja sempre em equilíbrio. Seja z a

altura da coluna de mercúrio em um dado instante. A pressão no tubo será $P(z) = P_0 + \rho g(H - z)$, sendo ρ a densidade do mercúrio e P_0 a pressão atmosférica, que dos dados do problema vale $P_0 = \rho gh/2$. Como estamos supondo que o ar está em equilíbrio termodinâmico, o volume ocupado é Az , e através da equação dos gases ideais podemos escrever

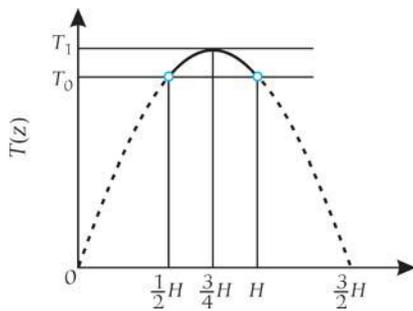
$$\frac{P(z) Az}{T(z)} = \frac{2P_0 AH/2}{T_0},$$

sendo T_0 a temperatura inicial, $2P_0$ a pressão inicial e $AH/2$ o volume inicial do ar no tubo. Manipulando estas equações

obtemos

$$T(z) = T_0 \frac{(3H - 2z)}{H^2} z.$$

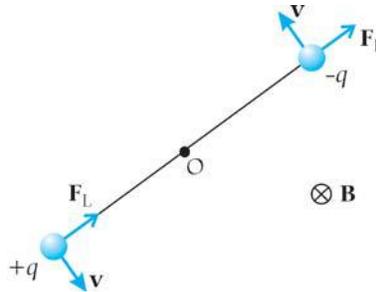
A figura mostra a dependência da temperatura com a altura z . O processo de expulsão do mercúrio corresponde a parte da parábola entre os pontos $z = H/2$ e $z = H$ (linha sólida). Portanto, para expulsar o mercúrio do tubo, o ar primeiramente deve ser aquecido até T_1 e depois resfriado ao seu valor inicial T_0 .



2 Movimento de estado estacionário de um dipolo elétrico. Quando o campo magnético é ligado, cada partícula será afetada pela força de Lorentz (veja a figura) dirigida ao longo da barra e igual a $F_L = qvB = q\omega LB/2$. A força resultante no dipolo é $F = 2F_L = q\omega LB$. O valor desta força é constante, mas sua direção varia continuamente. O vetor \mathbf{F} roda com a barra com uma velocidade angular ω . Desta forma, o centro do dipolo (o

ponto O) também irá girar com a mesma velocidade angular ω ao longo de um círculo de raio r que pode ser determinado pela segunda lei de Newton:

$$F = 2m\omega^2 r \Rightarrow r = \frac{qLB}{2m\omega}$$



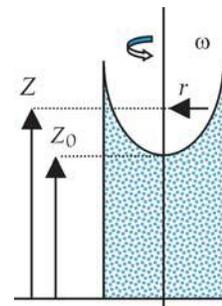
3 Paradoxo da velocidade do som no ar. A velocidade do som de fato aumenta com a temperatura, variando com sua raiz quadrada: $v_{som} \propto \sqrt{T}$. Acontece que a velocidade do som não depende diretamente da densidade do ar. Repare que o quadrado da velocidade é diretamente proporcional à pressão (que assegura a força restauradora responsável pelas oscilações do gás) e inversamente proporcional à densidade do ar (que funciona como uma inércia). A velocidade do som é dada por $v_{som} = \sqrt{B/\rho}$, sendo ρ a densidade do meio e B o módulo de elasticidade volumar. No modelo dos gases ideais, o módulo de elasticidade volumar

é facilmente determinado, valendo $B = -V \frac{\partial P}{\partial V} = P$ e, portanto, $v_{som} = \sqrt{P/\rho}$. Como a pressão é proporcional à densidade e à temperatura, a densidade do numerador é cancelada com a do denominador. Resta, portanto, somente a temperatura no numerador.

4 Forma da superfície de um líquido em um recipiente que gira com velocidade angular constante. Quando a caneca gira uniformemente, a superfície do líquido atinge o equilíbrio sob a ação das forças gravitacional e centrífuga (quando visto no sistema de coordenadas girante). Resulta para a seção transversal uma forma parabólica dada por

$$Z(r, \omega) = Z_0 + \frac{\omega^2 r^2}{2g},$$

sendo Z e r as coordenadas de um ponto na superfície do líquido e g a aceleração da gravidade.



Novos problemas

(Selecionados da revista The Physics Teacher)

1 Um garoto desliza por uma encosta de grama utilizando uma caixa de papelão e escorrega até parar ao longo de um terreno plano. Se um outro garoto também entrar na caixa, dobrando a quantidade de massa, e deslizar da mesma altura, a distância atingida será: a) menor, b) a mesma, c) o dobro, d) quatro vezes mais longe, e) nenhuma das anteriores. Discuta.

2 Suponha que a altura de um pé de feijão na Terra dobre a cada dia, e em 36 dias atinja a Lua. Qual será o número de dias necessário para que o pé de feijão atinja a metade dessa distância?

3 Compare o peso de uma bola de futebol com o peso do ar contido em uma geladeira vazia. Considere a temperatura da geladeira em 0°C .

4 Um foguete é lançado a partir do chão com uma velocidade v e com ângulo de lançamento θ com a horizontal. Nota-se que decorrido um tempo t (desconhecido) após o lançamento, a distância entre o foguete e o ponto de lançamento começa a decrescer. Determine t , desprezando a resistência do ar.