

Carta do Editor

Entre as muitas notícias que têm ocupado as páginas dos jornais recentemente, uma nos chama a atenção pela capacidade de se realizar certos feitos quando existe uma grande motivação e a necessidade de prestar à sociedade uma resposta a uma tragédia: refiro-me não ao acidente de Fukushima, no Japão, mas ao resgate, do fundo do Oceano Atlântico, das famosas “caixas-pretas” do Airbus acidentado em 2009 não muito distante da costa brasileira. Este assunto chamou-me a atenção em particular pela discussão a respeito dos tubos de Pitot, um assunto que em algumas oportunidades pude discutir com alunos em sala de aula. A hidrodinâmica, de um modo geral, está mais presente no nosso dia-a-dia do que comumente imaginamos - e seu papel no metabolismo humano é, quase sempre, desprezado. Um detalhe curioso:

alguém saberia dizer qual a relação que há entre a hidrodinâmica e as alucinações que pessoas que passam muito tempo em ambiente de gravidade zero (para ser mais preciso, em se tratando de naves espaciais, em queda livre)?

Começamos assim com uma contribuição sobre a hidrostática mas, como não poderia deixar de ser, fazemos um passeio pela física de partículas e física nuclear, filosofia da ciência, além de trazeremos um interessante relato sobre o LHC em Genebra e os trabalhos aplicados. Gostaria de agradecer aqui, antecipadamente, a todos os autores que, com suas contribuições, tem ajudado a manter a revista neste nível. E peço desculpas aos Profs. X. Cid Vidal e R. Cid Manzano por quaisquer erros de tradução do charmoso artigo enviado em Galego - nossa raiz linguística - mas que, numa época de intensas discussões sobre o Português

“correto”, julguei melhor não publicar em sua versão original para não criar mais polêmica; afinal somos uma revista de física e não de linguística!

A todos uma boa leitura!

Sílvio R. Dahmen





.....
Luciano Denardin de Oliveira

Colégio Monteiro Lobato, Porto Alegre,
RS, Brasil

Paulo Machado Mors

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

E-mail: mors@if.ufrgs.br
.....

O uso da história da ciência no ensino da física tem recebido a atenção de muitos professores e pesquisadores nos últimos anos. Aparentemente os paralelos propostos por Piaget e seus colaboradores, relacionando o processo psicogênico das crianças e as muitas fases da história da ciência, tenham parte da responsabilidade por esse interesse. O ensino de ciências através de uma abordagem histórica pode oportunizar debates acerca da natureza, facilitando a compreensão conceitual da própria ciência [1]. Ademais, o emprego da história da ciência em sala de aula permite que o estudante observe que a ciência não é atemporal, mas está intimamente relacionada com outras áreas do conhecimento humano, influenciando e sendo influenciada por fatores sociais, econômicos, culturais, religiosos e tecnológicos da época em que foi desenvolvida [2].

Usualmente, os livros didáticos apresentam apenas a ciência “que deu certo”, ou seja, descrevem apenas a teoria atualmente aceita, sem ilustrar as motivações que levaram ao seu desenvolvimento. Além disso, observa-se que apenas um pequeno número de cientistas (que estão intimamente relacionados com estas teorias atualmente “aceitas”) é “lembrado” [3]. Contribuições teórico-experimentais de outros cientistas, teorias que já foram cientificamente aceitas, porém refutadas em um dado momento histórico, não são apresentadas nos livros didáticos e também não fazem parte da maioria das aulas de física do nível médio.

E quando a água não subiu mais que dez metros?

No século XVII alguns pensadores acreditavam na existência do vácuo, enquanto outros negavam-na veementemente. O maior opositor ao vácuo naquele período foi René Descartes. Ele sugeria que o que caracterizava um corpo eram suas dimensões, e não seu peso, sua dureza ou

sua cor. Poder-se-ia imaginar um corpo sem peso, sem cor, mas não sem extensão. Descartes também sugeria que um corpo aumenta ou diminui de tamanho quando “algo” entra ou sai de seus poros. Este “algo” a preencher os poros seria o éter [4]. Em seus trabalhos, Descartes nunca comentava evidências experimentais que refutassem ou corroborassem o conceito de vácuo, uma vez que para ele a razão era suficiente para se ter a certeza de que um espaço sem nenhum material era impossível.

Isaak Beekman, físico holandês do início do século XVII, estendeu o que se conhecia sobre os líquidos (principalmente baseado nos trabalhos de Arquimedes e de Stevin) ao ar, explicando desta forma o funcionamento das bombas de água: elas retiram o ar do cano, diminuindo a pressão interna, sendo a água forçada a subir porque a atmosfera a empurra para fora do cano. Beekman dá uma explicação bem próxima do que é aceito nos dias de hoje.

Em 1615, Salomon de Caus verificou que bombas aspirantes são capazes de elevar água até um limite máximo de altura (aproximadamente 10 m). Em 1630 Baliani tentou, utilizando um sifão, passar água de um vale para outro, separados por uma colina de 20 m de altura. Baliani verificou que isso não era possível, mesmo o vale onde estava a fonte de água encontrando-se em um nível mais elevado. Ele trocou correspondências com Galileu que, já conhecendo a altura limite de bombas aspirantes, estabeleceu que a “força do vácuo” só podia produzir efeitos até um certo ponto. Essa idéia foi apresentada em seu livro *Discursos Sobre Duas Novas Ciências*. Estas situações motivaram alguns cientistas. Um experimento idealizado por Raffaello Magiotti e realizado por Gasparo Berti, em 1641, foi descrito em um livro de Emmanuel Maignan. O experimento é especialmente interessante e possivelmente Torricelli tenha encontrado, nos resultados desta investigação, motivação para

Neste trabalho, apresentamos algumas idéias e acontecimentos que precederam a construção do conceito de pressão atmosférica por Torricelli, a reprodução de um experimento desenvolvido naquele período histórico e atividades educacionais que podem ser exploradas nesse experimento.

elaborar seus experimentos. Segundo Maignan, Gasparo Berti instalou na fachada da sua casa em Roma um tubo com pouco mais de 40 palmos de extensão (Fig. 1). A parte inferior do tubo (que tinha uma torneira (R) instalada) encontrava-se mergulhada em um balde com água. O tubo era totalmente preenchido com água pela extremidade superior que continha um recipiente circular de vidro com uma entrada (D). Depois, essa extremidade era tampada. Abrindo-se a torneira, verificou-se que a água fluía por ela, mas não completamente, sua superfície estacionando em um nível de aproximadamente 10 metros acima da superfície livre da água no balde. Berti manteve a torneira aberta por mais de um dia e o nível não sofreu alteração. Maignan não sugere por que o nível d'água estacionava naquele ponto, possivelmente porque este experimento fora motivado pela leitura da obra de Galileu, que já apresentava uma explicação (embora equivocada) para o fato. Entretanto, Berti buscou investigar o que era contido acima do nível d'água. Seria ar, vácuo, éter? Para tanto, instalou um sino de ferro (M) na parte superior do tubo, cujo badalo podia ser deslocado da posição de equilíbrio utilizando-se um ímã. Se o badalo não fosse ouvido, poder-se-ia concluir que vácuo era formado naquela região, uma vez que já era sabido naquela época que o som só podia se propagar na matéria. Berti, aproximando o ouvido do vidro, percebeu os badalos, sugerindo que vácuo não era formado no interior do tubo, e sim que este continha éter. O italiano não percebeu que estas vibrações se propagavam do sino diretamente para o vidro, sabendo-se hoje que vácuo é de fato formado neste tipo de situação.

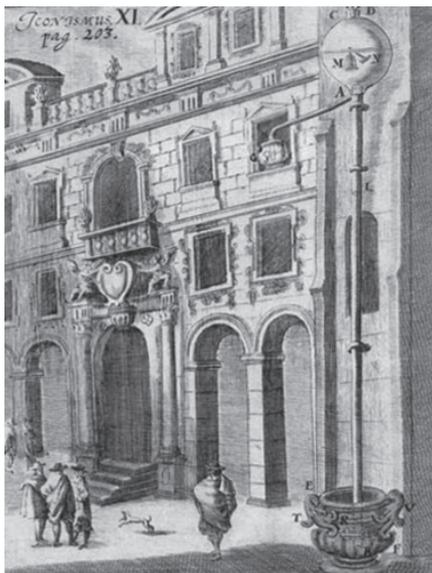


Figura 1 - O barômetro de Gasparo Berti.

Construindo um barômetro de água

O experimento de Gasparo Berti é particularmente interessante e relativamente simples de ser reproduzido em sala de aula, além de permitir a exploração prática de muitos conteúdos associados à mecânica dos fluidos. Construimos, no colégio Monteiro Lobato (Porto Alegre, RS), um barômetro de água (Fig. 2). Como os objetivos de Berti eram diferentes dos buscados em sala de aula, o aparato foi adequado, permitindo que outros tópicos da hidrostática também fossem explorados. Uma estrutura metálica retangular foi fixada no topo do prédio da escola, a uma altura de 14 m. Esta estrutura possui uma roldana que pode-se deslocar horizontalmente por uma distância de 4 m, e ela é responsável

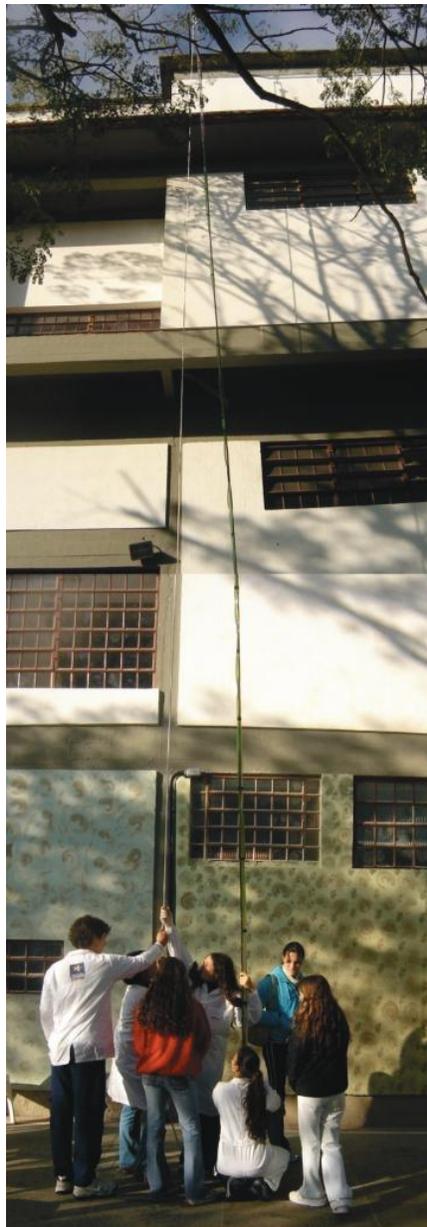


Figura 2 - O Barômetro de água.

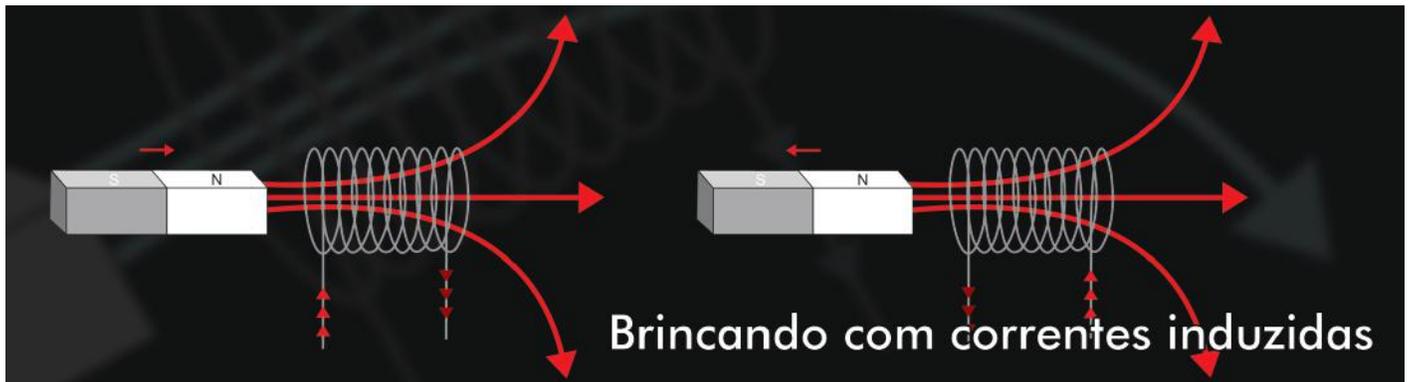
por manter uma das extremidades do barômetro suspensa. Duas mangueiras, de 13,8 m de comprimento cada, e de diâmetros distintos (2,5 cm e 1 cm) foram vedadas em uma das suas extremidades e presas a uma corda. Uma vez cheias d'água, as partes vedadas das mangueiras podem ser erguidas até o topo do prédio. Isto é feito puxando-se uma corda (que passa pela roldana no topo do prédio) que está atrelada às extremidades vedadas das mangueiras. As extremidades inferiores das mangueiras são mergulhadas em um recipiente contendo água e, quando liberadas, verifica-se que o nível d'água desce até a altura de 10 m, independente do diâmetro da mangueira. A partir disto, muitas questões podem ser exploradas. É possível discutir que a pressão atmosférica é responsável pelo equilíbrio das colunas d'água, bem como que esta pressão tem um valor finito, ou seja, o nível d'água desce até ser equilibrado pela pressão atmosférica, que empurra a água contida no recipiente. É possível verificar que a pressão não depende do volume d'água, já que o nível do líquido nas duas mangueiras é o mesmo. No experimento utilizamos água colorida com cores diferentes em cada mangueira, para facilitar a diferenciação do nível d'água em cada uma das colunas. Deslocando-se a roldana horizontalmente, pode-se deixar as mangueiras inclinadas e, assim, observar que o nível d'água muda, mantendo-se no entanto a uma distância vertical de 10 m da superfície livre da água no balde. Uma outra questão interessante é que a mangueira de maior diâmetro sofre um *esmagamento lateral*. Isto ocorre porque a pressão interna é menor do que a externa; logo, esta diferença de pressão (e de força) gera esse efeito interessante e didático.

Conclusões

Acreditamos que reproduzir experimentos históricos e dar-lhes novas dimensões contribui significativamente para o aprendizado do aluno, uma vez que a abordagem histórica desses temas pode ajudar o estudante a construir seus conhecimentos com propriedade.

Referências

- [1] R.A. Martins, *Episteme* **10**, 39 (2000).
- [2] C.C. Silva (org), *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2006), 381 p.
- [3] L.D. Oliveira, *A História da Física como Elemento Facilitador na Aprendizagem da Mecânica dos Fluidos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- [4] R.A. Martins, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* **1**, 1 (1989).



Rogério Rodrigues de Souza*,
Edmilton Gusken e Alessandro
Gonçalves Mundim

Universidade do Estado de Mato
Grosso, Cáceres, MT, Brasil

*E-mail: rogeriobb@unemat.br

O funcionamento de diversos dispositivos eletro-eletrônicos, tais como os rádios, televisores, motores elétricos, computadores, entre outros, enfim, as tecnologias nas quais estamos inseridos, envolvem diversos fenômenos de indução eletromagnética, descoberta por Michael Faraday no século XIX. A descoberta de Faraday surgiu do seu interesse sobre um fenômeno observado primeiramente por Oersted, onde um condutor metálico, ao transportar uma corrente elétrica, gera um campo magnético ao seu redor. O famoso experimento de Faraday é basicamente a experiência de Oersted invertida, onde um ímã em movimento provoca o deslocamento de cargas elétricas em um fio metálico. O mesmo efeito

A descoberta da indução eletromagnética por Faraday surgiu do seu interesse sobre um fenômeno observado primeiramente por Oersted, onde um condutor metálico, ao transportar uma corrente elétrica, gera um campo magnético ao seu redor

ocorre quando o ímã está parado e o fio é aproximado ou afastado, como é mostrado nas Figs. 1 e 2. Este efeito é chamado de indução eletromagnética. Entendemos hoje que a causa deste efeito é a variação das linhas do campo magnético que atravessam uma região ou um circuito fechado.

Quando um ímã se afasta de uma espira, segundo a lei de Faraday, surge nesta espira uma corrente elétrica induzida. A quantidade de linhas do campo magnético que passa no interior da espira

se reduz, produzindo uma corrente elétrica, e esta corrente elétrica induzida é gerada, a fim de impedir a redução do campo magnético, como apresentado na Fig. 1. É interessante observar que a corrente produz um campo magnético no mesmo sentido do campo do ímã.

De forma similar, na Fig. 2, quando o ímã se aproxima da espira, provoca o aumento da quantidade de linhas do campo magnético que atravessam a área da espira. Surge então uma corrente elétrica que produz um campo magnético contrário ao campo magnético do ímã, tentando impedir este aumento. Pela lei da indução, a corrente elétrica produzida na espira sempre será contra a variação da quantidade de linhas de campo, ou campo magnético.

A lei de Faraday pode ser enunciada da seguinte forma: "sempre que houver um campo magnético que está variando, surge um campo elétrico induzido". Este campo elétrico induzido cria uma corrente que pode ser utilizada em um circuito. A corrente elétrica induzida circula em um sentido que é contrário à variação do campo magnético. A expressão matemática para a lei de Faraday é escrita como

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt},$$

Neste trabalho apresentamos um experimento que demonstra o efeito da indução de correntes elétricas (indução de Faraday) em um copo de plástico, para instigar a curiosidade dos alunos. O experimento utiliza materiais de baixo custo, podendo ser aplicado em sala de aula como instrumento de auxílio às aulas. O efeito cinético observado aguça a curiosidade das pessoas e incentiva o aprendizado sobre campo magnético e o processo de indução de corrente elétrica em condutores.

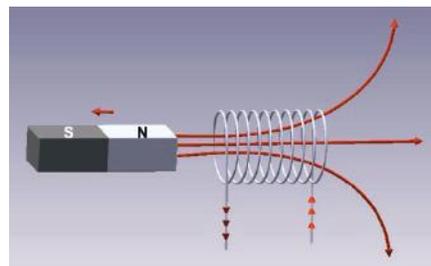


Figura 1 – Ímã se afastando de uma espira.

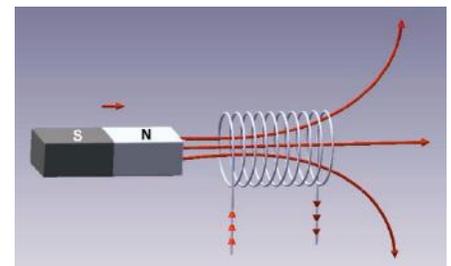


Figura 2 – Ímã se aproximando da espira.

em que ε é a chamada força eletromotriz (que gera a corrente induzida) e $d\Phi_B/dt$ é a variação do número das linhas do campo magnético atravessando uma determinada região. Veremos a seguir como o experimento é realizado e como podemos explicar o fenômeno observado em termos da lei de indução eletromagnética de Faraday.

Realizando o experimento

Para a realização do experimento é necessário um ímã, um fio, dois copos de plásticos descartáveis: um maior (de 250 mL ou superior) e outro menor (de “cafezinho”, 50 mL), papel alumínio e água. Primeiramente, deve-se revestir internamente o copo de 50 mL com papel alumínio, com a superfície espelhada voltada para o interior do copo. Posteriormente, o copo descartável maior deverá ser preenchido com água. Em seguida, deve-se colocar o copo descartável menor sobre a água. Nesta configuração, a água é utilizada para reduzir o atrito, e manter o copo menor em equilíbrio na superfície do líquido. Este equilíbrio é conseguido quando enchemos o copo maior com água até o limite do seu transbordamento, formando uma curvatura semelhante à de uma parábola voltada para baixo. Com isso, o copo menor se afasta da borda do copo maior devido às tensões superficiais. Em seguida, penduramos o ímã com o auxílio de um fio, e o colocamos no interior do copo menor, sem que se toquem. Para iniciar o experimento, basta produzir rotações no ímã por meio de torções no fio de sustentação do mesmo. A montagem do experimento é mostrada na Fig. 3.

Observação do fenômeno

Quando o ímã começa a girar, observa-se um movimento de rotação do copo de plástico, e verifica-se que o sentido de

rotação do copo de plástico é o mesmo do ímã.

Em um primeiro momento pode-se suspeitar que a origem do movimento de rotação do copo é o deslocamento de ar provocado pelo ímã em rotação que empurra o copo plástico. No entanto, utilizando um outro material que não seja o ímã, e do mesmo formato que este, nenhum efeito de rotação é observado. Desta forma, pode-se atribuir este efeito de rotação do copo à indução eletromagnética. Vejamos como podemos sustentar esta explicação.

Explicando o fenômeno

A rotação do copo de plástico é atribuída ao fenômeno de indução eletromagnética, pois o mesmo não acontece se trocarmos o ímã por outro material. É claro que somente este argumento não é suficiente para explicar o fenômeno. Consideremos inicialmente o ímã em repouso no interior do copo de plástico. Nesta situação, as linhas do campo magnético que atravessam uma determinada superfície do copo, onde as linhas de campo saem do polo norte e penetram no polo sul. Uma pequena superfície do papel alumínio é atravessado por uma certa quantidade de linhas de campo, tendo a configuração apresentada na Fig. 4.

Quando o ímã começa a girar, as linhas do campo magnético que atravessam essa superfície diminuem. Em outras palavras, devido ao movimento de rotação do ímã, as linhas de campo magnético, que saem do polo norte, avançam em uma região onde não havia campo magnético. Isto causa um aumento das linhas do

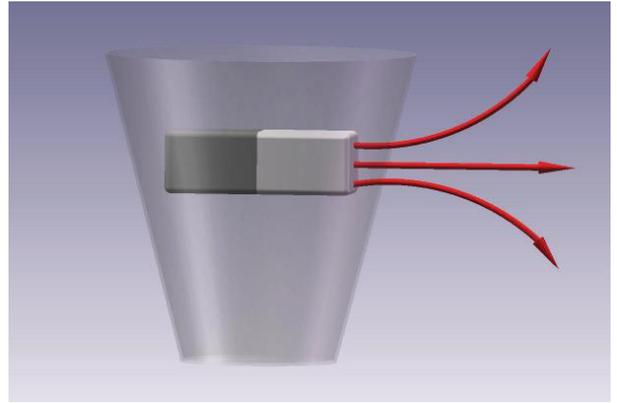


Figura 4 – Linhas do campo magnético do ímã atravessando a superfície interna do copo.

campo nesta outra região. Pela lei da indução eletromagnética, deve surgir uma força eletromotriz que produz uma corrente induzida, nesta mesma superfície, em um sentido contrário ao aumento das linhas do campo magnético. Por outro lado, no caso da região em que as linhas do campo estão diminuindo, haverá também uma corrente elétrica contrária à redução da quantidade de linhas de campo. No entanto, o sentido desta corrente é contrário ao da corrente induzida na região onde há aumento das linhas de campo. Vamos denominar as correntes induzidas na região onde as linhas de campo diminuem de i_1 , e de i_2 as correntes induzidas na região onde as linhas do campo estão aumentando. Os sentidos das correntes induzidas na superfície do papel alumínio estão no sentido horário e no sentido anti-horário, como estão indicados na Fig. 5.

Podemos observar que as correntes se intensificam em uma posição entre as regiões de aumento e redução de campo magnético. Na região onde elas se intensificam surge uma força magnética que pode ser calculada pela expressão



Figura 3 – Montagem do experimento. Observe o copo maior cheio até quase transbordar.

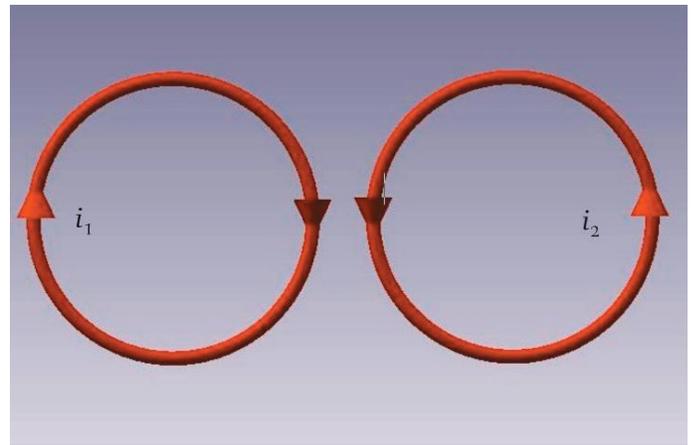


Figura 5 – Configuração das correntes induzidas na superfície interna do copo.

$$\mathbf{F} = i\mathbf{l} \times \mathbf{B},$$

onde \mathbf{l} é o vetor que representa o percurso da corrente e \mathbf{B} é o vetor campo magnético do ímã. A força magnética escrita desta forma permite-nos identificar a sua direção, que é dada pela regra da mão direita. Utilizando esta regra, obtemos que a força está dirigida de acordo com a Fig. 6.

Observamos ainda que essa força tem a mesma direção do deslocamento do ímã, e dessa forma o copo gira no mesmo sentido de rotação do ímã como de fato é observado.

Conclusão

A lei de Faraday é utilizada amplamente na indústria e no cotidiano tecnológico do homem moderno. Buscamos com este experimento mostrar os princípios básicos desta lei física, bem como salientar que a sua utilização em sala de aula pode ser um agente motivador para o entendimento desta lei. Por outro lado, a utilização de materiais de baixo custo facilita a sua demonstração em sala de aula. Por fim, sugerimos a leitura das referências

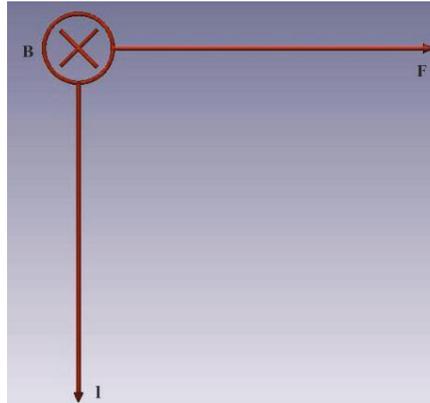


Figura 6 – Representação vetorial do campo magnético \mathbf{B} , da direção da corrente \mathbf{I} e da força magnética \mathbf{F} .

bibliográficas na seção “Saiba Mais” que possibilitam um aprofundamento maior do tema em questão.

Uma sugestão para o professor conduzir os seus alunos ao entendimento intuitivo deste fenômeno pode ser através das seguintes questões:

- 1) Qual a orientação das linhas do

campo magnético que atravessam a superfície interna do copo?

2) O que acontece com as linhas do campo na superfície do copo quando o ímã deixa esta região?

3) O que acontece com as linhas do campo na superfície do copo quando o ímã avança em uma região onde não havia o campo?

4) Pela lei de Faraday o que deve surgir na superfície do copo para as duas questões anteriores?

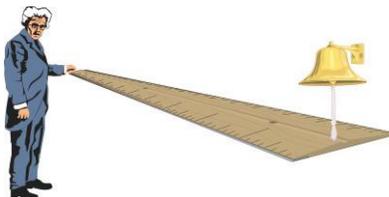
5) Qual o sentido das correntes induzidas?

Saiba Mais

- D. Halliday, R. Resnick e K.S. Krane, *Física 3* (LTC, Rio de Janeiro, 1996).
- P. Hewitt, *Física Conceitual* (Bookman, Porto Alegre, 2002).
- H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica* (Edgar Blucher, São Paulo, 1997).

Perguntas do Editor

- Um sino é tocado em intervalos regulares de 1 segundo - ou seja, as batidas do badalo ocorrem a cada segundo. É possível, observando as pancadas e ouvindo o som, determinar a velocidade de propagação do som usando apenas uma trena?



- Um astronauta encontra-se fora da nave espacial e deseja a ela retornar. Se estivesse na superfície da Terra não haveria problema: bastaria caminhar até o local onde a nave se encontra. No espaço, porém, não há um chão sob seus pés para empurrar. Como deve proceder o astronauta?



- Você dispõe de uma massa de 100 g e uma régua graduada. Como você pode determinar a massa de outro objeto (desde que não muito diferente da massa-padrão de 100 g) usando a massa-padrão e a régua?



Perguntas retiradas do livro *Physical Problems for Robinsons*, de V. Lange (Editora Mir, Moscou, 1976).

Soluções no próximo número!



Espalhamento de Rutherford na sala de aula do Ensino Médio

A ciência, principalmente a física, como área de conhecimento que busca estudar e descrever os fenômenos da natureza, faz uso de muitos recursos para tentar, cada vez mais, aproximar-se do cidadão comum. Na tentativa de representar essa realidade, a ciência lança mão dos modelos¹. É o caso, por exemplo, dos modelos atômicos: eles são representações do objeto átomo, pois é impossível ter acesso à sua “verdadeira” realidade.

Assim, como destaca Brockington [1, p. 161], “os modelos desempenham um papel imprescindível na construção do conhecimento científico”, sendo a essência do processo científico, pelo qual pode-se apreender conceitualmente a realidade. Por isso, eles desempenham um papel importante no conhecimento científico.

Desta forma, os modelos se tornam aspectos importantes a serem discutidos em sala de aula, porque além de tratarem as várias representações de objetos ou conceitos desenvolvidos durante a história do pensamento da humanidade, mostram ainda como as ideias dos diversos cientistas são aperfeiçoadas, trazendo consigo um caráter epistemológico para o ensino de ciências, trabalhando a ideia de modelo utilizada na ciência. Entretanto, se olharmos para a sala de aula, veremos que eles estão longe de estarem presentes nesse ambiente. Isso gera um conflito: se os modelos desempenham papel tão importante no conhecimento científico, por que então eles estão pouco inseridos na sala de aula? Parece que o ensino não tem dado tanta importância aos

modelos como é dado pelo conhecimento científico. Apresentamos aqui como, a partir de uma atividade que aborda o espalhamento de Rutherford, pode-se discutir a ideia de modelo utilizado pela ciência.

O espalhamento desenvolvido por Rutherford

No início do século XX, dois modelos atômicos disputavam a atenção da comunidade científica. Um era o modelo de J.J. Thomson (1856-1940) proposto em 1903, que descreve o átomo como uma esfera maciça de carga positiva uniformemente distribuída, “embebida” de elétrons que vibravam em seu interior. O outro modelo foi elaborado pelo japonês Hantaro Nagaoka (1865-1950) em 1904. Para ele, o átomo era formado por um caroço central positivo rodeado de anéis de elétrons girando com a mesma velocidade angular, semelhante ao planeta Saturno. Ficou conhecido, portanto, como modelo saturniano.

Na tentativa de resolver esse impasse, Ernest Rutherford (1871-1937) e seus colaboradores Ernest Marsden (1889-1970) e Hans Geiger (1882-1945) perceberam, em 1908, que as partículas α , emitidas por substâncias radioativas (como o polônio), possuíam uma alta energia e uma massa elevada, sendo assim consideradas um bom instrumento para sondar o interior de outros átomos. Baseado nessas evidências, Rutherford montou uma experiência com o intuito de bombardear uma fina folha de ouro com partículas α .

No início do século XX, dois modelos atômicos disputavam a atenção da comunidade científica: o de Thomson, proposto em 1903, descrevia o átomo como uma esfera maciça de carga positiva uniformemente distribuída, “embebida” de elétrons que vibravam em seu interior, e o de Nagaoka, proposto em 1904, com, o átomo formado por um caroço central positivo rodeado de anéis de elétrons girando com a mesma velocidade angular

Maxwell Siqueira

Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil
E-mail: maxwell_siqueira@hotmail.com

Mauricio Pietrocola

Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil
E-mail: mpietro@usp.br

Este artigo discute a ideia de modelo para a ciência e para o ensino de ciência, mostrando sua importância para a construção do conhecimento científico e uma possibilidade de explorá-lo em sala de aula. Para isso, utiliza-se o exemplo do experimento realizado por Rutherford na descoberta do núcleo atômico, através de uma atividade experimental. A atividade é uma analogia ao espalhamento de Rutherford que permite criar um ambiente, em sala de aula, propício para discutir a construção e validação de modelos, contribuindo para abordar aspectos sobre a ciência que dificilmente são tratados nas aulas de física. Além disso, tem o intuito de levar aos estudantes à discussão de como “enxergar” um objeto que não pode ser visto a olho nu, como é o caso do átomo.

No decorrer da experiência ele percebeu, através de cintilações luminosas produzidas em uma anteparo tratado com sulfeto de zinco (ZnS), que a maioria das partículas atravessavam a folha sem sofrer desvios, enquanto outras sofriam pequenos desvios, o que estava de acordo com o modelo atômico de Thomson. Mas, para seu espanto, algumas poucas partículas eram desviadas em ângulos superiores a 90° , pois esses grandes ângulos estavam fora o campo de previsão do modelo de Thomson. Em particular, no modelo de Thomson, a probabilidade de uma partícula sofrer um desvio superior a 90° era muito baixa, praticamente nula.

Observando isso, Rutherford pensou que se a carga positiva do átomo estiver concentrada em uma única região, a força repulsiva seria muito intensa para “impactos” frontais. Isso o levou a concluir que os grandes desvios observados (superiores a 90°) só poderiam resultar do encontro de uma partícula α com uma carga positiva concentrada em uma região menor do que o átomo.

Assim, em 1911, Rutherford propôs que o átomo se comportava como um sistema planetário em miniatura, formado de uma parte central positiva, a qual denominou *núcleo*, onde se concentrava praticamente toda a massa do átomo e, ao redor deste núcleo, haveria uma nuvem de elétrons girando, a *eletrosfera*. Com isso, o modelo atômico de Thomson foi derrubado. Esse novo modelo atômico modificou mais ainda a visão da natureza da matéria, contribuindo em definitivo para a queda do status de ‘elementar’ do átomo. Dessa forma, o conceito de átomo passou a ter um significado bem diferente daquele original dado pelos gregos.

A ideia de Rutherford do espalhamento utilizando partículas de alta energia inaugurou uma forma efetiva de sondar a estrutura atômica e, assim, tentar “enxergar” objetos

tão sutis como o núcleo atômico e, posteriormente, a estrutura de partículas como o próton e o nêutron. Esse método foi de fundamental importância na constatação da estrutura interna das partículas, consolidando através de medidas experimentais a ideia dos quarks².

Pensando na sala de aula, buscamos levar a discussão do desenvolvimento dos modelos atômicos com a ideia do espalhamento Rutherford. Para isso, foi elaborada uma atividade que pudesse, de maneira análoga, representar o trabalho de Rutherford e seus companheiros, porque levar para sala de aula o próprio experimento de espalhamento seria bem difícil, pois, além de ser um experimento de alto custo, requer um cuidado especial devido ao tipo de radiação à qual os alunos estarão expostos.

Além do mais, a sua visualização também se tornaria difícil, já que só é possível ver as cintilações deixadas pelas partículas no anteparo, podendo tornar-se algo muito mais estimulante para o professor do que

para o aluno.

Objetivos

A atividade teve o intuito de levar aos estudantes a discussão de como “enxergar” um objeto que não pode ser visto a olho nu devido ao seu tamanho microscópico, como é o caso do átomo e do núcleo atômico, materializando o método utilizado por Rutherford, muito utilizado na física nuclear, atômica e de partículas elementares. Além disso, teve-se a preocupação de mostrar que a ideia do espalhamento está mais próxima de nós do que imaginamos.

Utilizamos o espalhamento da luz a todo momento para enxergar os objetos e nem nos damos conta disso. Nesse caso, a luz que incide sobre o objeto observado é espalhada e é detectada pelos os nossos ‘detectores’, que são os olhos.

Através do trabalho com modelos atômicos, é possível discutir sobre o uso

Em 1911, Rutherford propôs que o átomo se comportava como um sistema planetário em miniatura, formado de uma parte central positiva, a qual denominou *núcleo*, onde se concentrava praticamente toda a massa do átomo e, ao redor deste núcleo, haveria uma nuvem de elétrons girando, a *eletrosfera*

A ideia de Rutherford do espalhamento utilizando partículas de alta energia inaugurou uma forma efetiva de sondar a estrutura atômica e, assim, tentar “enxergar” objetos tão sutis como o núcleo atômico

Com essa atividade, pode-se fazer uma discussão da validação de modelos, criando em sala de aula um ambiente propício para uma discussão análoga àquela que a comunidade científica cria com seus diversos grupos de pesquisas

de modelos na ciência e do próprio papel que os modelos desempenham nas teorias. Uma vez que não se tem certeza sobre a real forma do objeto que está sendo investigado, lança-se mão de modelos para fazer uma visão aproximada do objeto ou do fenômeno observado. Isso é o que a ciência faz para desenvolver suas teorias, tornando-se um aspecto relevante a ser trabalhado na sala de aula, pois poderá auxiliar o entendimento do trabalho científico pelos jovens alunos.

É possível ainda, com essa atividade, fazer uma discussão da validação de modelos, criando um ambiente em sala de aula propício para uma discussão análoga àquela que a comunidade científica cria com seus diversos grupos de pesquisas para poder validar um modelo sobre determinado fenômeno investigado, mostrando que é necessário haver um consenso na comunidade para que uma determinada ideia possa ser aceita em detrimento de outra. Assim, essas discussões acabam refletindo um pouco do que é o trabalho científico e como a ciência evolui, modificando seus modelos e teorias, na tentativa de se aproximar cada vez mais da realidade.

Descrição da atividade³

Os alunos são separados em grupos. Em mesas ou até mesmo no chão, cada grupo recebe uma placa de madeira, debaixo da qual foi colocado um objeto que é uma figura geométrica plana, mas que inicialmente não pode ser vista pelos alunos.

O trabalho dos grupos é identificar a forma de cada objeto. Para isso, eles poderão jogar bolinhas contra o objeto escondido e observar a deflexão que se produz na trajetória das bolinhas depois dela se chocar com o objeto (Fig. 1). Deve-se lembrar aos alunos o princípio da reflexão, no qual o ângulo de incidência corresponde ao ângulo de reflexão. O grupo terá cinco minutos para “observar” o objeto (Fig. 2). Depois disso, as placas dos



Figura 1 – Aluno lançando as bolinhas para marcar suas trajetórias, para depois analisá-las.



Figura 2 - Aluno analisando as trajetórias e tentando traçar a sua forma geométrica.

grupos são trocadas para que todos possam “investigar” cada uma das placas. A ideia é que todos os alunos observem todos os objetos existentes. Ao final da atividade, o professor deve promover uma discussão sobre as formas geométricas descobertas.

Para traçar a forma de cada objeto, coloca-se um pedaço de papel sobre o tampo de madeira esboçando a trajetória das bolinhas. Logo depois, analisa-se as informações recolhidas para determinar a forma efetiva do objeto.

Depois de fazer essa investigação sobre as formas que estão sob as placas, os alunos respondem a três questões presentes no roteiro⁴: você pode determinar o tamanho e a forma do objeto? É possível saber se as figuras têm detalhes em sua forma quando esses detalhes são pequenos comparados com o tamanho das bolinhas? Como você pode confirmar suas conclusões sem olhar os objetos?

Com essas questões inicia-se a discussão sobre os objetivos da atividade, tentando levar os alunos a uma compreensão de como são feitas as investigações sobre o átomo, como o desenvolvimento dos aceleradores de partículas permitiu fazer investigações cada vez mais detalhadas sobre o átomo e das próprias partículas. O ponto central da atividade está focado na resposta da última questão, quando

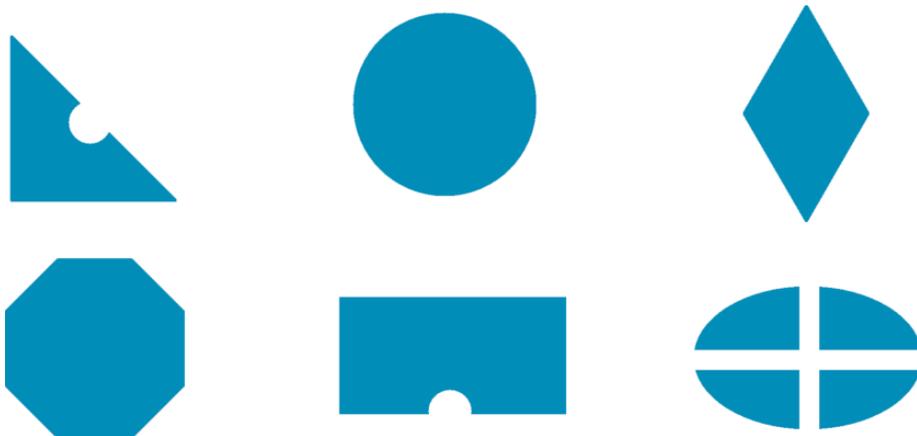


Figura 4 - Formas geométricas propostas para os objetos.

temos oportunidade de discutir a ideia de modelos, dando exemplos dos modelos atômicos utilizados nos livros de química e física do ensino médio.

Roteiro de confecção

Material

- 2 chapas de madeira (4 mm): uma de 30 cm x 30 cm e outra de 50 cm x 50 cm
- Folha de isopor de 15 mm
- Bolinhas de diversos tamanhos (bolinhas de gude, esferas metálicas de rolamento)

Montagem

Corte dois quadrados de compensado 4 mm nas medidas indicada na Fig. 3 (um 30 cm x 30 cm e o outro 50 cm x 50 cm). Pinte-os de preto (desta forma as placas serão pretas, dificultando o reconhecimento dos objetos caso algum aluno venha a olhar).

Recorte o isopor em uma das formas geométricas básicas mostradas na Fig. 4. Pinte-o de preto também. O objeto deve ter no máximo 13 cm de diâmetro.

Cole um lado do objeto centralizado no quadrado menor. Depois, cole o outro

lado do objeto centralizado no quadrado maior.

É interessante que alguns dos objetos possam ter algum tipo de detalhe, para que a discussão sobre as formas seja mais rica e possa aprofundar mais a discussão sobre o trabalho dos cientistas na determinação do tamanho e forma de objetos microscópicos.

Notas

¹Definição do dicionário Michaelis para modelo: 1. desenho ou imagem que representa o que se pretende reproduzir; 2. tudo que serve para ser imitado; 3. representação, em pequena escala, de um objeto que se pretende executar em ponto grande.

²Neste caso, como a ideia era sondar a estrutura interna das partículas, foi utilizada uma partícula elementar menor de alta energia, que no caso foi o elétron.

³O roteiro dessa atividade e o material complementar podem ser encontrados no sítio do NuPIC: <http://www.nupic.fe.usp.br/Projetos%20e%20Materiais/particulas-elementares-para-ensino-medio>.

⁴Vide nota acima.

⁵Essa é uma atividade adaptada do sítio <http://cpepweb.org>.

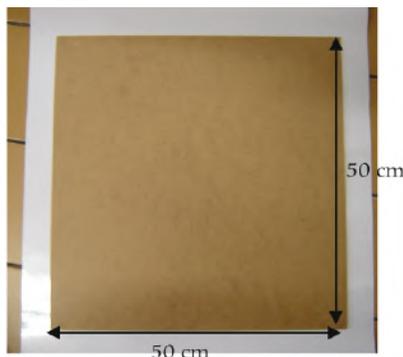
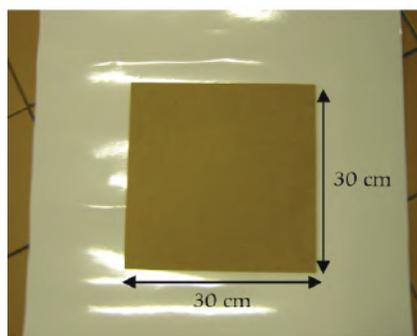


Figura 3 - Os quadrados cortados com lado de 30 e 50 cm. Eles devem ser pintados de preto.

Referência

[1] Guilherme Brockington, *A Realidade Escondida: A Dualidade Onda-Partícula para Alunos do Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2005.

Para saber mais

Maxwell Siqueira, *Do Visível ao Indivisível: Uma Proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2006.



.....
Boniek Venceslau da Cruz Silva
Universidade Federal do Piauí,
Teresina, PI, Brasil
E-mail: boniekvenc@yahoo.com.br
.....

Sobre o uso da história e da filosofia da ciência (HFC) no ensino de ciência já nos parece quase consensual nos variados artigos e congressos que se discutem essa temática, a potencialidade iminente que o seu uso pode acarretar no ensino de ciências [1–3]. Por exemplo:

1. Servir como uma ferramenta no trabalho das concepções alternativas mostradas pelos alunos. Hoje em dia, a didática das ciências já sinaliza a semelhança que existe entre as concepções alternativas mostradas em sala por alguns alunos, e modelos teóricos criados por cientistas no passado. Acredita-se que a HFC atrelada às concepções alternativas possam não só amenizar o erro dos alunos em sala de aula, como também possam apontar para os docentes caminhos e possibilidades para se trabalhar com esses erros.

2. Desmistificar o método científico, possibilitando ao aluno um estudo mais detalhado do trabalho dos cientistas. Proporcionar o estudo e elaboração de novas estratégias de ensino que possibilitem dar uma maior significação ao estudo de conceitos e teorias físicas.

3. Mostrar a dimensão coletiva do conhecimento, mostrando que a ciência, na sua evolução, é (re)pensada por mais de uma pessoa. Dessa forma, desmistificando a ideia de *gênio da ciência* ou *pai da ciência*. Esse ponto é crucial, pois é comum, em sala de aula, os alunos pensarem que a ciência é um produto acabado, em que os cientistas são encarados como heróis ou seres iluminados.

4. Mostrar tanto os acertos quanto os erros na ciência. Mostrar os problemas, dificuldades e dilemas que rodeiam o cientista na formulação de uma teoria.

5. Mostrar a importância de fatores extras científicos, como a influência de fatores sociais, políticos e religiosos no desenvolvimento de uma teoria, apontando até a propaganda, o uso de autoridade, a aliança com poderosos e chefes de estados como argumentos válidos na aceitação ou não de uma teoria.

6. Mostrar como o pensamento científico transforma-se com o passar do tempo, assinalando que a ciência não é estática nem muito menos acumulativa, mas se vale de momentos de rupturas, quando modelos, ideias e teorias são transformadas.

7. Contribuir para o entendimento da relação ciência, tecnologia e sociedade.

8. Proporcionar o estudo mais adequado de equações relacionadas a conceitos e teorias que, em algumas ocasiões, vêm se mos-

trar sem significação aos estudantes.

Mesmo diante deste aparente estado de consenso e das imensas vantagens do uso da HFC no ensino de ciências, a mesma literatura aponta algumas dificuldades desta abordagem no ensino de ciências.

Já no ano de 1970, no Massachusetts Institute of Technology (MIT), ocorreu um simpósio no qual se questionava e discutia sobre o uso da história da ciência no ensino de ciências. Nesse evento, abordaram-se as inúmeras críticas que permeavam o imaginário de alguns cientistas, historiadores e filósofos da ciência daquela época. Para eles, em alguns casos, o uso de conteúdos históricos com finalidades pedagógicas culminava em uma história simplificada, uma pseudo-história ou em uma história de má qualidade.

Como descreve Matthews [1], um dos críticos do uso da história da ciência no ensino de ciência foi Klein. Para Klein [4],

O estudo da história e da filosofia da ciência pode, por exemplo, mostrar tanto os acertos quanto os erros na ciência e os problemas, dificuldades e dilemas que rodeiam o cientista na formulação de uma teoria

O debate em torno do uso da história e da filosofia da ciência, tanto em congressos quanto em revistas especializadas da área, vem se mostrando bastante intenso e difundido. Neste trabalho mostramos um possível diálogo que ocorra, ocorreu ou possa vir a ocorrer em alguma escola pública ou privada do nosso país, ou até mesmo de outros, como pano de fundo para a discussão das possibilidades ou impossibilidades do uso da história e da filosofia da ciência no ensino de ciência.

planejamos, selecionamos, organizamos e apresentamos esses materiais históricos, de forma, definitivamente, não histórica, ou até talvez, anti-histórica. Para ele, isto é bastante temerário, se estamos tão preocupados com a integridade e a qualidade da história que ensinamos quanto estamos preocupados com a física.

Ainda para o autor, a principal dificuldade que existe para que a história da ciência (HC) atenda às necessidades do ensino de física são as diferenças de perspectiva entre o físico e o historiador da ciência.

No ano de 1979, outro autor, chamado Whitaker [5], aprofunda os argumentos de Klein. Nesse trabalho, ele apresenta a história da ciência baseada numa reconstrução dos fatos históricos, posicionando os acontecimentos do passado numa cronologia até o presente. Esse tipo de história da ciência ficou conhecido por *quase-história*.

Nessa abordagem, é comum prevalecer a ideologia científica do autor ou do historiador da ciência, que narra os fatos históricos. Dessa forma, é comum serem renegados ou até apagados da história escorregões de grandes pensadores, como Isaac Newton, Galileu e Einstein, com a finalidade, quase sempre previamente definida, de enaltecer o lado *genial* do cientista.

Para Whitaker, a quase-história é o resultado do sentimento e da necessidade de autores darem vida a fatos, construindo a física com propósitos próprios: sustentar uma versão metodológica científica.

Para Matthews [1], outra crítica é direcionada aos professores que, em alguns casos motivados por objetivos pedagógicos, fazem uma abordagem seletiva e parcial da história da ciência, culminando, quase sempre, em uma má história. Nesse tipo de história, erros podem acontecer por causa de omissões ou a história pode perder o seu padrão de qualidade, acarretando dogmatismo ou ainda criando falsos padrões de verdade.

Entretanto, entendemos que o passado constituiu uma fonte inesgotável de informações, e é tarefa do historiador organizá-las e selecioná-las. Dessa forma, cabe ao professor a tarefa de utilizar da melhor maneira possível esse material produzido de antemão pelo historiador da ciência, fazendo as intervenções peda-

gógicas necessárias.

Parece que uma das várias complicações reside na relação do educador com a HC. Seria papel do educador escrever um texto histórico? Acredita-se que não. Mas o educador deverá possuir ferramentas, estas adquiridas em cursos de formação inicial ou continuada, que o possibilitem reconhecer se o texto histórico é ou não de boa qualidade.

Matthews [1] tenta esclarecer a distinção entre escrever história e utilizá-la em sala de aula. Segundo o autor, pode existir um comprometimento da história escrita com fins pedagógicos. Entretanto, vale ressaltar que o professor de ciências deve ser avaliado com critérios diferentes daqueles com que se avalia o historiador da ciência.

Portanto, de um lado, por parte dos historiadores da ciência, parece difícil ocorrer uma objetividade absoluta na HC. Toda a construção de um relato histórico implica decisões por parte do historiador a respeito de fatores relevantes para os fatos que deseja apresentar. Essas decisões são encontradas nas suas convicções históricas, sociais, ideológicas e epistemológicas.

A convicção epistemológica do autor é importante na hora da construção de um relato histórico. Os historiadores da ciência, quando escrevem os episódios históricos, manifestam as suas convicções epistemológicas.

Por outro lado, por parte dos educadores em ciência, cabe a eles possuírem ferramentas mínimas de identificar um bom texto histórico, para que possa posteriormente trabalhá-lo em sala de aula.

Entretanto, será que a formação inicial dos educadores em ciência é capaz de lhes oferecer ferramentas necessárias para que eles possam diferenciar e entender as diferentes versões da HC presentes na literatura? E, ainda, até que ponto isso influenciará na utilização de textos históricos e elaboração de estratégias didáticas pelo docente?!

No turno da didática das ciências, o

que podemos notar é que estes resultados advindos de estudos sobre a área, em alguns casos, ficam distante da ponta do iceberg, os professores do Ensino Médio. Desta forma, o que podemos notar é o gradativo aumento do abismo existente entre a pesquisa e a teoria [6].

Seguindo a tradição de artigos em forma de debates e narrativas desta revista [7,8], mostramos, neste trabalho, um possível diálogo que tenha ocorrido ou possa vir a ocorrer em alguma escola em qualquer parte do mundo. Neste diálogo que se apresenta abaixo, será discutido o uso ou não da HFC no ensino, bem como a elaboração de estratégias que possuam no

seu cerne a HFC. Do diálogo, participam quatro personagens: Mateus (favorável ao uso da HFC no ensino), Kleine (opositor ao uso da HFC no ensino), José Maria (professor de física recém-formado) e Josélia (professora prestes a se aposentar).

O diálogo

Na sala de aula de uma escola estadual, em qualquer lugar, conversam dois professores de física. O professor José Maria, recém-formado, empolgado com a aprovação no concurso para professor da rede pública, é apresentado para a professora Josélia, prestes a se aposentar.

Professor José Maria: Devemos refletir sobre novas possibilidades para que os nossos alunos despertem o prazer pela física. Hoje os alunos se mostram desinteressados pelo estudo das ciências. Eu me formei há pouco tempo e estou com um turbilhão de ideias para que possamos desenvolver na escola.

Professora Josélia: Caro colega, a escola pública, hoje, é falida. Os nossos alunos não possuem interesse por ideias novas. Eles estão acostumados ao quadro negro e ao giz. Não seja visionário, pois você irá deparar-se com a realidade. Veja bem, os alunos não compreendem nem o básico, não sabem explicar, por exemplo, por que enxergamos um objeto. A grande maioria nos apresenta um erro *absurdo* que é: para enxergamos, lançamos um raio pelos olhos. Eles acham que são super-homens! (Risos)

Professor José Maria: Amiga Josélia, esse modelo utilizado para explicar o porquê de enxergarmos está em corre-

Klein apresenta a história da ciência baseada numa reconstrução dos fatos históricos, posicionando os acontecimentos do passado numa cronologia até o presente. Esse tipo de história da ciência ficou conhecido por quase-história.

Para Whitaker, a quase-história é o resultado do sentimento e da necessidade de autores darem vida a fatos, construindo a física com propósitos próprios: sustentar uma versão metodológica científica

Matthews tenta esclarecer a distinção entre escrever história e utilizá-la em sala de aula. Segundo o autor, pode existir um comprometimento da história escrita com fins pedagógicos. Entretanto, vale ressaltar que o professor de ciências deve ser avaliado com critérios diferentes daqueles com que se avalia o historiador da ciência

lação com um modelo utilizado pelos gregos na Antiguidade. Isso não é um erro, é uma concepção alternativa.

Professora Josélia: Concepção do quê? E agora você é historiador? (A professora fala com tom de surpresa) Pensei que você fosse físico. Ou não é?

Professor José Maria: A senhora não conhece e nem pagou a disciplina de história e filosofia da ciência na sua graduação?

Professora Josélia: Na minha época não tinha isso. Física é disciplina de cálculos. No máximo ensinamos, no laboratório, que para ser cientista o aluno deve seguir o método científico! Acho que isso é filosofia. Mas, qual a relação da história da física com a física? Você quer dizer que teremos mais uma disciplina na grade curricular? (Tom de surpresa)

Professor José Maria: A história e a filosofia da ciência podem ajudar a nossa vida na sala de aula. Podemos criar novas estratégias de ensino com elas.

Professora Josélia: Parece-me interessante. Fale-me como podemos fazer isso.

Professor José Maria: Eu também não sei. Eu só paguei uma disciplina na universidade e não sei bem como fazer. Mas eu vi que terá um curso de extensão ministrado por um professor da universidade. Ele é bastante conhecido na instituição. Ele se chama Mateus. Talvez lá, poderemos ter mais explicações.

Professora Josélia: Então, vamos lá. Mas depois não me diga que eu não lhe avisei que essas coisas novas não funcionam.

No evento, em uma universidade qualquer, localizada em qualquer lugar, o professor José Maria e a sua colega, professora Josélia, conhecem o famoso historiador da ciência Kleine, o qual não enxerga com bons olhos o uso da história e da filosofia no ensino de ciência. No mesmo local, ainda são apresentados ao palestrante, o professor Mateus, que inicia a sua palestra, dizendo:

Professor Mateus: Iniciarei a nossa palestra com algumas frases do famoso físico Mário Schenberg, mostrando como é fascinante a história da ciência. Espero que possamos transformar esse fascínio em estratégias didáticas para a nossa sala de aula. Vejamos o que ele nos diz:

A história da ciência é mais fascinante que um romance policial. (...) O estudo da história da ciência é muito importante, sobretudo para os jovens. Acho que os jovens deveriam ler história da ciência porque frequentemente o ensino universitário é extremamente dogmá-

tico, não mostrando como a ciência nasceu. Por exemplo, um estudante pode facilmente imaginar que o conceito de massa seja simples e intuitivo, o que não corresponde à verdade histórica. [9]

No fundo da sala, o historiador Kleine remexia-se, mostrando insatisfação diante das palavras do colega Mateus. Ele retruca:

Kleine: Eu discordo das palavras do nobre colega e, principalmente, da empolgação representada pelos dizeres do ilustre físico Mario Schenberg. Ilustrando minhas palavras, como o colega assim fez, faço uso da mesma estratégia e trago as preocupações do pensador Thomas Kuhn em utilizar a história da ciência em disciplinas com jovens cientistas. Para ele, esse uso pode ocasionar o enfraquecimento dos futuros cientistas em realizar pesquisas, assim dificultando o avanço da ciência. E, ainda, será que mostrar para um futuro físico nuclear que a ciência é passível de erros e que alguns cientistas do passado, que eles tanto admiram, utilizaram, para validar as suas teorias, argumentos não estritamente racionais, advindos de propaganda, de argumentos políticos, religiosos e sociais, será que isso não irá retirar dos futuros cientistas o brilho em fazer ciência?

Professor Mateus: Pelo contrário. Mostrando que a ciência tem o seu lado social e, principalmente, humano, podemos mostrar aos futuros cientistas que a ciência que ele faz tem imbricações com o meio social e com o tempo em que ele está inserido. Acredito que o cientista que passou por discussões dessa natureza possa ter mais condições de refletir e debater sobre como a ciência evoluiu. Dessa forma, ele se sentirá mais preparado para discutir suas teorias, sabendo que as verdades que ele ali discute são provisórias, dando-lhe possibilidades de criticar argumentos de grandes cientistas do passado.

Nesse momento, a professora Josélia entra no debate e faz perguntas aos pesquisadores.

Professora Josélia: A discussão está muito interessante, mas como podemos levar estas discussões para o Ensino Médio e para os nossos alunos?

Professor Mateus: Cara colega, com o uso da história e da filosofia da ciência, que apelidamos de HFC, podemos desenvolver inúmeras estratégias didáticas, por exemplo: peças teatrais, debates, o uso de experimentos históricos, entre outros.

Professora Josélia: Podemos utilizar aqueles *boxes* dos livros didáticos que trazem informações sobre a vida e a morte

dos cientistas?

Kleine: Veja bem, por que o uso da HFC é prejudicial ao ensino de ciência: é que o professor se vale desses arremedos de história em sala de aula. Além de cometer erros esdrúxulos sobre a história da ciência, os docentes passam uma imagem de ciência totalmente equivocada. Vou ilustrar o que digo com alguns exemplos de equívocos para a professora se situar: o conhecimento científico é estático, a forma de validar uma teoria é exclusivamente por um experimento, a maneira de se fazer ciência de forma correta é pelo método científico, além de outros erros.

Professora Josélia: Mas eu pensava que a ciência era assim. Eu estava enganada? Quando eu fiz meu curso de física, há algumas décadas, era assim. Os professores me levavam para o laboratório, eles me entregavam uma série de passos para confirmar, dentre outras, as leis de Newton e as leis da conservação do movimento. Eu ficava deslumbrada quando encontrava que a aceleração da gravidade era $9,8 \text{ m/s}^2$, mas ficava muito triste quando encontrava $9,7$; $9,6$ ou ainda 10 , pois sabia que não tinha provado a teoria. Eu faço assim nas minhas aulas de laboratório. Estou errada?

Professor José Maria: Minhas aulas de laboratório também eram assim; e olhe que me formei somente há 2 anos, mas graças a uma disciplina chamada história e filosofia da ciência, eu tive a oportunidade de participar de discussões sobre a epistemologia da ciência.

Professor Mateus: Sem dúvida, a formação inicial não dá conta de resolver todos esses problemas, pois tais discussões são feitas somente em uma disciplina, quando são feitas. Dessa forma, não é incomum o futuro professor sair do curso universitário com imagens da ciência equivocadas. E o mais triste é que essas imagens são repassadas para os alunos quando vocês ministram as suas aulas de ciências, sejam elas experimentais ou não. Mas hoje já temos uma linha de pesquisa consolidada, chamada de Natureza da ciência, que procura estudar melhorias nesse sentido.

Kleine: Por essas e outras que o uso da HFC não é benéfico para o ensino de ciência. Os professores não sabem reconhecer se o texto histórico é de confiança e, também, não sabem onde procurar. E, quando tentam montar um texto histórico para usarem em sala de aula, cometem erros, pois se valem de textos sem confiabilidade, devido ao fato de irem beber em fontes não primárias, ocasionando um texto fraco e repleto de erros.

Professor Mateus: Isso pode acon-

tecer devido a problemas da graduação, mas o professor tem de ter em mente que a formação inicial é o ponto de partida e que já existem congressos, eventos, minicursos e sites preocupados em mostrar ao professor pesquisas históricas ou materiais que eles possam utilizar em sala de aula.

Não se pode esperar do professor do Ensino Médio que ele seja um historiador da ciência e que realize pesquisas em tal direção, mas um professor bem informado sobre a temática terá todas as condições de,

frente a uma pesquisa histórica, fazer as intervenções pedagógicas e as levar para a sua sala de aula.

Kleine: Mas, mesmo assim ele, estará cometendo distorções na história da ciência e, por consequência, passando ideias equivocadas sobre a mesma.

Professor Mateus: Concordo com você, mas não plenamente. O futuro docente que tiver tido, em sua formação, discussões sobre a epistemologia da ciência pode ter a oportunidade de repensar as suas práticas, passando uma ideia mais adequada sobre a ciência. E, além disso, ele também poderá ter, pelo menos, a noção do que seja um bom texto sobre a história da ciência.

Professor José Maria: Professor Mateus, poderia informar algumas fontes confiáveis para nós? Acho que assim podemos adquirir tanto textos históricos como o relato de experiências já feitas nessa direção.

Professor Mateus: Claro! Como já estávamos encerrando esta nossa sessão, eu ia passar para vocês alguns sites onde poderão encontrar trabalhos e textos nessa área. Vejam alguns: Revista Brasileira de Ensino de Física, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Física na Escola, Sociedade Brasileira de História da Ciência, Ciência e Educação, dentre várias outras. Também não podemos esquecer as traduções de livros, diretas dos originais, de Isaac Newton, Galileu, Copérnico, entre outros. Nesse momento, eu agradeço a todos e ao Historiador Kleine, que abrihantou a nossa discussão.

Professora Josélia: Eu acho que a oportunidade de eventos como este é de suma importância para nos apresentar novas estratégias e discussões na área de ensino de ciência. Eu acho que uma formação continuada é relevante para a melhoria de nossa prática.

Professor José Maria: Concordo e vou procurar algo nesse sentido com o

professor Mateus.

Conclusões

A HFC possui um potencial pedagógico extremamente favorável ao docente que tenha por ambição lograr melhores resultados em sala de aula. A sua inserção

no ensino possibilita a construção de diversas estratégias didáticas que abordem práticas pedagógicas diferentes, por exemplo: construção de textos históricos, peças teatrais, debates, experimentos histó-

ricos, como se pode notar no nosso pequeno diálogo.

Uma unidade didática que apresente a HFC no seu cerne, pode funcionar como uma boa saída para a constante desmotivação encontrada nas aulas de ciência. No Brasil, desde a criação dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), vários programas relacionados à educação científica tentam elaborar saídas para o pessimismo que aflora nas aulas de ciências. Nesse sentido, estratégias didáticas que envolvam a HFC podem ser mecanismos relevantes para apresentar aos alunos uma ciência mais viva e dinâmica.

O trabalho com textos históricos apresenta, dentre outras finalidades, o objetivo de aproximar os estudantes de atividades de investigação, para quem são propostos momentos de discussão, argumentação e outros.

Além disso, os textos históricos também podem:

1. Propiciar a leitura de textos científicos.
2. Servir de ferramenta para a apresentação de situações-problemas de forma aberta.
3. Servir de momento reflexivo para os estudantes a partir do momento que muitos dos modelos criados por eles podem ser postos em paralelo com modelos pensados por cientistas em épocas passadas.
4. Favorecer o debate, a arguição e a argumentação escrita e oral.

Dessa forma, privilegia-se a seleção de episódios históricos que visem à elaboração de textos históricos, pois estes podem favorecer o diálogo e a argumentação em sala de aula, aproximando os alunos de uma linguagem mais científica, contribuindo com o entendimento de como a ciência evolui com o passar do tempo.

Assim sendo, estratégias didáticas que sejam arquitetadas pela HFC objetivam mostrar aos estudantes uma ciência mais

dinâmica e viva, discutindo a transformação de seus conhecimentos científicos, desde sua criação (gênese) até as suas ideias mais atuais, mostrando reformulações, crises e intensos debates.

No que diz respeito à inserção de aspectos da natureza do conhecimento científico, a utilização de textos históricos no ensino de ciências pode facilitar a discussão de aspectos da natureza da ciência, favorecendo um melhor entendimento em relação a temas científicos.

Além de todos esses argumentos já descritos, é preciso que o docente que deseje se enveredar nessa temática possua o mínimo de familiaridade com as discussões ressonantes na área. Assim, terá todas as possibilidades de, encarando um texto histórico, ser capaz de inserir as suas intervenções pedagógicas da melhor maneira possível.

Entretanto, um dos problemas enfrentados pela maioria dos docentes, como aponta Martins [2], é a falta de preparo condizente à inserção da HFC em suas salas de aulas. No diálogo fictício, observou-se que a presença de poucos momentos na graduação para serem realizadas tais discussões pode refletir nas dificuldades mostradas pelos docentes no manejo com a HFC. No entanto, o intuito aqui é apenas apresentar uma possível causa da falta de articulação entre a HFC e a sala de aula, pois não se caminhará por esse debate neste trabalho.

Nota

¹Nesse trabalho iremos apenas levantar a problemática. Não é objetivo aqui apresentar uma resposta limpa e pronta para esse problema.

Referências

- [1] M.R. Matthews, Caderno Catarinense de Ensino de Física **12**, 164 (1995).
- [2] A.F.P. Martins, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **24**, 112 (2007).
- [3] B.V.C. Silva e A.F.P. Martins, Física na Escola **10**, 17 (2009).
- [4] M.J. Klein, in: *History in the Teaching of Physics*, edited by S.G. Brush and A.L. King (University Press of New England, Hanover, 1972).
- [5] M.A.B. Whitaker, Physics Education **14**, 239 (1979).
- [6] A.M.P. Carvalho e D. Gil-Pérez, *Formação de Professores de Ciências: Tendências e Inovações* (Cortez, São Paulo, 1993).
- [7] A.F.P. Martins, Física na Escola **6**(2), 12 (2005).
- [8] A. Medeiros, Física na Escola **10**(1), 4 (2009)
- [9] M. Schenberg, *Pensando a Física* (Editora Brasiliense, São Paulo, 1984).



.....

Xabier Cid Vidal

Departamento de Física de Partículas,
Universidade de Santiago, Santiago de
Compostela, Espanha
E-mail: xcidvidal@gmail.com

Ramón Cid Manzano

Instituto de Ensino Secundario IES de
Sar, Santiago de Compostela, Espanha
e Departamento de Didáctica das
Ciências Experimentais, Universidade
de Santiago, Santiago de Compostela,
Espanha
E-mail: ramon.cid@usc.es

.....

O estudo dos fenômenos elétricos (fundamentalmente a eletrostática) nos primeiros níveis do ensino médio costuma apresentar dificuldades, fundamentalmente no que diz respeito ao conceito abstrato de carga elétrica e campo elétrico às unidades utilizadas, à equação de Coulomb - na que aparece uma constante que não é tal pois depende do meio - e aos exemplos pouco motivadores que habitualmente se utilizam. Neste artigo, apresenta-se uma proposta de ensino a qual pretende aproximar alunos e alunas da Electrostática através do LHC (Large Hadron Collider), o mais potente dos aceleradores de partículas e a maior máquina já construída pela ciência e a tecnologia, mediante a realização de uma série de atividades que relacionam o LHC com conteúdos relacionados à eletricidade. Graças à grande dimensão do experimento e à espetacularidade das instalações, podemos despertar um maior interesse por parte dos alunos e por tanto uma aprendizagem mais simples e significativa dos conceitos envolvidos. Ademais, isso permitirá aos alunos conhecer de uma forma contextualizada um dos maiores sucessos da ciência e tecnologia da história da humanidade, auxiliando-os assim na aquisição de uma verdadeira cultura científica.

A data de 19 de março de 2010 marca o dia em que feixes de prótons a 3.5 TeV de energia circularam perfeitamente no LHC (*Large Hadron Collider*) pela primeira vez. Esta foi a mais alta energia já alcançada em um acelerador de partículas e constituiu um importante passo para o começo do programa de investigação do LHC, que pretende chegar a energia de 7 TeV. No dia 30 de março, feixes de 3.5 TeV colidiram para um valor de energia total de 7 TeV, marcando o início do programa de investigação do LHC. Físicos de partículas de todo o mundo estão ansiosos pela nova física que começa a surgir a partir de uma energia três vezes e meia maior que a anteriormente alcançada em um acelerador de partículas. O LHC (ver Fig. 1) é o acelerador de partículas mais potente do mundo e dará lugar à maior quantidade de informação nunca antes obtida noutro experimento, esperando-se que revele algumas das grandes incógnitas que estão abertas em áreas como a natureza íntima da matéria, a criação do universo, a matéria escura, a energia escura, partículas exóticas, etc.

É habitual que nos livros-texto de física de Ensino Médio apareçam imagens ou se mencione o CERN para chamar atenção dos grandes aparatos utilizados, à grande quantidade de cientistas colaboradores ou aos experimentos de grande dimensão que nele se levam a cabo. Porém, elas não deixam de ser uma simples menção que se resume a um mero detalhe e não possuem transcendência didática.

Devido à grande repercussão e importância deste experimento, os professores

de física do Ensino Médio podem aproveitar este recurso para abordarem certos tópicos tanto da física clássica como da física moderna. Os autores deste artigo têm realizado várias propostas neste sentido para explicar alguns conteúdos como o magnetismo [1], a dinâmica [2] e a energia [3]. Também temos tratado outros aspectos mais específicos para introduzir ao professor tópicos da física de partículas, como a luminosidade [4] ou as partículas de Higgs [5]. Também fizemos uma aproximação teórica que explica o motivo de não haver perigo das colisões do LHC acabarem com nosso planeta [6]. Recolhemos boa parte de todos esses trabalhos e muitas outras informações adicionais no sítio "Olhando o LHC mais de perto": <http://www.lhc-closer.es> [7].

Trata-se, pois, de fazer coincidir dois importantes objetivos educativos: por um lado, facilitar a aprendizagem significativa de conceitos físicos de um modo contextualizado, e, por outro, adquirir conhecimentos sobre um dos experimentos científicos mais importantes da história.

Justificativa teórica da estratégia

O ensino da física no Ensino Médio encontra-se na maioria dos casos limitada ao estudo dos conceitos clássicos, sem

Físicos de partículas de todo o mundo estão ansiosos pela nova física que começa a surgir a partir de uma energia três vezes e meia maior que a anteriormente alcançada em um acelerador de partículas. O LHC é o acelerador de partículas mais potente do mundo e dará lugar à maior quantidade de informação nunca antes obtida noutro experimento

abordar os avanços e descobrimentos mais atuais. Repassando as temáticas presentes no currículo de física, podemos observar que o maior peso recai no período anterior ao século XIX (Galileo, Newton e Boyle, por exemplo) e muito timidamente aparecem certas contribuições

do século XX relacionadas basicamente aos modelos atômicos (Thomson, Planck, Rutherford e Bohr). Estamos

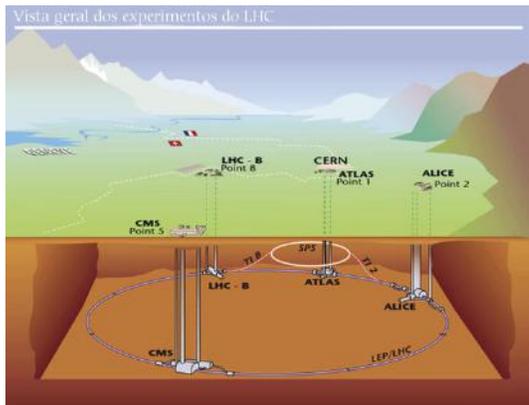


Figura 1 - Esquema do acelerador de partículas LHC, com 27 km de perímetro e a uma profundidade média de 100 m por debaixo da fronteira franco-suíça.

falando de feitos e logros situados muito longe no tempo, algo particularmente negativo do ponto de vista dos adolescentes (para os quais, o que aconteceu antes do seu nascimento é “pré-história”). Se além disso a apresentação da matéria vai acompanhada dos tradicionais exemplos e problemas descontextualizados, podemos afirmar que acabamos por ficar presos no tempo e os estudantes ficarão atônitos ante as imagens televisivas ou notícias jornalísticas relacionadas à ciência contemporânea que são apenas mencionadas em aula.

Um professor de física deve estar consciente da direção para a qual se dirige a investigação da sua área de conhecimento, para poder por seus alunos em contato com perspectivas de desenvolvimento da física atual. Ele tem, portanto, a obrigação de levar à aula os avanços e acontecimentos mais atuais.

Vários estudos [8] evidenciam que existe um grande desinteresse dos discentes face aos estudos científicos. O ensino usual da ciência é o responsável, junto à imagem e valorização negativa desta e o tema do gênero, pela diminuição do número de alunos que cursam o Ensino Médio, bem como das matérias optativas e em particular pela grande porcentagem de alunos que abandonam a física.

O ensino habitual da física leva todos estes aspectos em conta, centrando-se naqueles mais conceituais e propedêuticos ao mesmo tempo que ignora outros que, segundo a investigação em didática [9], conseguiriam aumentar a motivação nos alunos e seu interesse pelas ciências com um tratamento mais experimental, mais contextualizado, que ajuda a resolver problemas atuais reais e a responder perguntas fundamentais.

Além disso, a existência de uma valo-

rização social negativa da ciência dá lugar a que os estudantes tenham uma imagem negativa da mesma (pouco interessante, difícil, entediante, destinada apenas para os gênios, etc.) e no caso da física em particular, de suas repercussões perigosas à sociedade e ao meio ambiente: contaminação, armamentos, energia nuclear, etc. Se a isto somarmos que a presença de mulheres na ciência, ao longo da história, ainda que existente, foi escassa (embora esta diferença esteja desaparecendo nos dias de hoje), enfrentamos um problema ainda da visibilidade de suas contribuições ao campo das ciências. O resultado que vimos de tudo isto é a evasão progressiva por

parte dos alunos, particularmente do sexo feminino, ao estudo das ciências em geral e da física em particular [10].

Por tudo o que foi exposto anteriormente, é necessária a utilização de um recurso que tome em consideração esta situação. Com esta ação pretendemos que os professores se comprometam com o conhecimento e a docência de uma parte da física importante e atual, conseguindo além disso que os alunos relacionem a física ensinada em sala de aula com aquilo que os físicos fazem nos dias correntes. Para tanto, o LHC é um exemplo perfeito para estudar conceitos relacionadas com grandezas elétricas, pois a carga e o campo elétrico são conceitos fundamentais e as partículas carregadas as protagonistas de todo o experimento.

Não estamos tratando aqui daquilo que em didática se entende como um problema autêntico [11], uma vez que os alunos deveriam conhecer suficientemente o experimento. Podemos, no entanto, aproveitar em parte o que eles já sabem sobre conceitos de eletricidade e o que nós lhes podemos adiantar sobre o LHC, visando formular perguntas que se aproximam à tipologia de problema autêntico:

- Por que no LHC utilizamos partículas carregadas?
- Como geramos estas partículas com carga elétrica?
- Como podemos acelerá-las?
- Como fazemos que as partículas, apesar de se repelirem, fiquem juntas em um feixe?
- Como podemos medir a sua quantidade com magnitudes conhecidas?

Vários estudos evidenciam que existe um grande desinteresse dos discentes face aos estudos científicos. Além disso, a existência de uma valorização social negativa da ciência dá lugar a que os estudantes tenham uma imagem negativa da mesma

Com o intuito de responder a estas perguntas, e utilizando como elemento motivador a máquina mais complexa da história, introduzimos conceitos, magnitudes, unidades, expressões e procedimentos matemáticos de maneira a, partindo de uma proposta real, chegarmos mais facilmente aos objetivos que se pretendem atingir no Ensino Médio em relação à eletricidade. Naturalmente, os conceitos de carga, partícula (protón ou eletrón) e o conceito de átomo ou íon continuam tendo uma componente abstrata com consequentes dificuldades para alunos em estados cognitivos pouco formais. Porém, conseguiremos, introduzindo-os na forma que aqui se apresenta, fazer com que surjam de maneira mais acessível e próxima.

Por outro lado, evitamos uma estratégia mais generalizada quando se pretende introduzir uma física mais atual. É muito comum que se apresente um novo descobrimento ou um feito como sendo algo “excepcional” e pouco relacionado ao conteúdo curricular. Pretendemos, porém, que esta nova abordagem científica se torne parte da estratégia didática de uma forma contextualizada e estendida no tempo.

Há ainda uma componente educativa nada desprezível relacionada à educação de valores. A dimensão internacional da colaboração mundial no CERN é uma das características a serem levadas à aula, pois há técnicos e cientistas de 80 países trabalhando em Genebra e virtualmente algo em torno de 500 instituições científicas. Também devemos ter muito presente, pela sua importância, a participação de muitas mulheres nos diversos campos técnicos e científicos, o que

ajuda a romper a inércia psicológica com relação ao binômio mulher-trabalho científico.

O próton, o grande protagonista

Naturalmente, poderíamos ter elegido em seu lugar o elétron e de fato o grande acelerador do CERN (chamado LEP), anterior ao atual, utilizava elétrons como partículas colisoras. Neste caso, usamos os prótons porque são os atuais protagonistas no LHC, e a ideia é fazê-los presentes de forma contínua durante o trabalho curricular de um determinado tópico (a eletrostática, neste caso), com o objetivo de torná-lo “tão familiar” para os estudantes, que se fique, para eles, fácil falarmos de carga elétrica, lei de Coulomb,

constante dielétrica, número atômico, número de massa, íons, etc.

No Ensino Médio não podemos ir mais além na ideia do átomo do que aquela que o entende como uma entidade na qual os prótons e elétrons apresentam uma propriedade que resulta na sua atração mútua. Esta propriedade é a que chamamos carga elétrica,¹ e a experiência leva-nos a concluir que há dois tipos de carga que, no princípio, foram chamadas de “resinosa” e “vidrosa” e, posteriormente, “positiva” e “negativa” em função da ideia que Benjamin Franklin tinha deste fenômeno. O cientista norte-americano acreditava que a matéria possuía uma quantidade concreta de fluido elétrico. Se houvesse um excesso de fluido criava-se uma carga positiva, sendo que sua falta dava lugar a uma carga negativa. A ideia, hoje o sabemos, é equivocada, mas os nomes acabaram por ficar. O que importa é que objetos de cargas de mesmo sinal se repelem ao passo que cargas de sinais contrários se atraem.

Os prótons (mas não os elétrons) ainda apresentam outro tipo de carga mais poderosa - a carga nuclear forte - que também é uma propriedade dos nêutrons, que permite que prótons atraiam-se mutuamente, atraiam nêutrons e estes últimos entre si. Eles formam assim uma estrutura muito compacta e densa, chamada núcleo atômico. Esta atração supera em muito a repulsão que os prótons exercem entre si devido à sua carga elétrica. Os prótons do núcleo atraem os elétrons devido às suas cargas elétricas contrárias, e fazem com que os elétrons se movam ao redor do núcleo, formando um objeto espacial que chamamos átomo. Até esse ponto, podemos seguir com esquemas, desenhos ou mesmo jogos, introduzindo também o número atômico e de massa, para que pouco a pouco estes novos conceitos comecem a formar parte do conhecimento dos alunos. Porém, há algumas perguntas a serem respondidas:

- Como lutar contra o enorme grau de abstração que o conceito de carga elétrica implica?
- Como familiarizar os alunos com estas partículas carregadas?
- Como torná-las “visíveis”?
- Como reforçar as explicações sobre elétrons e prótons?
- Como fazer com que os alunos considerem estas partículas como as verdadeiras protagonistas de toda a matéria que os rodeia?

Uma possível estratégia: utilizemos o LHC.

Primeiro fazemos uso da motivação, falando um pouco do CERN (o maior

laboratório de física do mundo) e do acelerador LHC: a máquina e o experimento. Não apresentaremos aqui esta abordagem, pois nos artigos anteriormente citados, em nossa página na internet, bem como em outros sítios, o leitor poderá encontrar dados, referências e informações para preparar esta introdução. Além disso, as imagens falam quase que por si sós.

Indicaremos assim alguns conteúdos que se pode levar à aula com o objetivo de responder às perguntas por nós colocadas. Voltamos a lembrar que o que se pretende é trabalhar os conteúdos simultaneamente, de maneira que os alunos aprendam de forma conjunta os conteúdos de eletrostática ao mesmo tempo que conheçam o grande experimento.

Conteúdos de eletrostática para o Ensino Médio a partir do LHC

1) Por que utilizar partículas tão pequenas com carga elétrica?

As partículas elementares carregadas, como o próton, são utilizadas nestes experimentos por duas razões:

a) Tendo carga elétrica, podemos acelerá-las facilmente utilizando o fenômeno da repulsão e atração elétrica, como veremos posteriormente. No CERN há vários dispositivos aceleradores acoplados que vão incrementando a velocidade (ver Fig. 2) dos prótons, até que cheguem ao maior destes aceleradores - o LHC - onde alcançam a máxima velocidade para depois obrigá-los a colidir (ver Fig. 3).

b) Sendo partículas elementares, fornecem-nos muita informação quando colidem entre si, tanto no que diz respeito ao comportamento no mundo das diminutas dimensões como sobre a estrutura interna da matéria. Na realidade, o que os físicos fazem não é muito diferente do que faz uma criança quando golpeia um objeto com outro para saber o que há dentro deste último.

É justo recordar aqui Joseph John Thomson, que utilizava os raios catódicos (os elétrons) para compreender a natureza atômica da matéria, e Ernest Rutherford

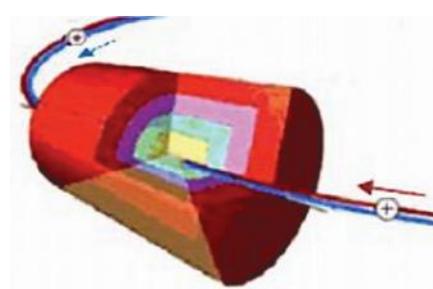


Figura 2 - Os prótons chegam ao interior de um dos detectores do LHC.

que, fazendo colidir partículas alfa, descobriu o núcleo atômico. O LHC não deixa de ser um experimento semelhante, porém em outra escala.

2) Como geramos os prótons?

Para continuar a aproximação dos alunos ao assunto das partículas elementares, devemos explicar como fazemos para obtê-los. No CERN tudo começa com um cilindro no qual encontramos hidrogênio (ver Fig. 4). Esse gas é formado pelos átomos mais simples que existem: um elétron girando ao redor de um próton. O que temos que conseguir é que esse elétron e esse próton, que se atraem para formar um átomo, sejam separados. Por isso, necessitamos de um equipamento que tenha duas regiões carregadas com cargas de sinais opostos. Assim o elétron será atraído para o lado positivo, enquanto o próton para o negativo. Este dispositivo especial é chamado de Duoplasmatron, dentro do qual o hidrogênio é submetido a uma diferença de potencial de cem mil Volts (100 kV). Desta maneira, elétrons e prótons, por terem cargas contrárias, conseguem ser separados, sendo que os prótons são expelidos por uma das extremidades do aparelho já como partículas livres, iniciando seu longo caminho para chegar finalmente ao LHC.

É certo que introduzimos o conceito de voltagem ao falar da separação das partículas. Os alunos sabem que os aparelhos eletrodomésticos de suas casas devem ser conectados à rede elétrica e que se caracterizam por uma voltagem (127 V ou 220 V). Telefones celulares têm baterias recarregáveis que proporcionam 4 V de diferença de potencial, ao passo que pilhas comuns fornecem 1,5 V. Também sabem que quanto mais alta a voltagem (alta tensão) maior a energia disponível. Por isso, podemos utilizar este conceito prévio, embora conceitualmente não tenhamos abordado o significado de potencial elétrico.

3) Como aceleramos os prótons?

Com os prótons já separados dos elétrons, estes primeiros são ejetados do Duoplasmatron com uma certa veloci-

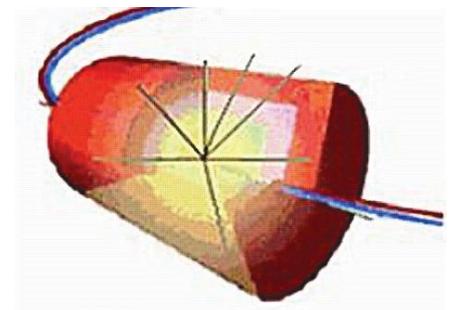


Figura 3 - Os prótons colidem gerando novas partículas.

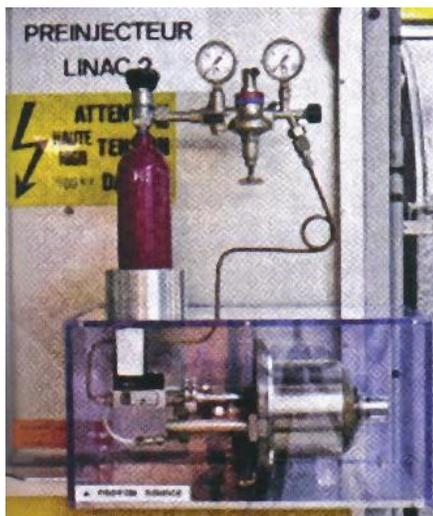


Figura 4 - Podemos ver o cilindro de hidrogênio, e na parte inferior o duoplasmatron, onde o elétron e o próton do átomo de H são separados.

Porém, quanto mais rápidos eles forem, maior será a quantidade de informação que poderemos obter das colisões que ocorrerão mais tarde. Para isso precisamos acelerá-los ainda mais. Os aparelhos de TV tradicionais (tubos de raios catódicos) aceleram elétrons desde a parte traseira do aparelho para que eles atravessem o interior do tubo de TV a uma grande velocidade e colidam com a tela (ver Fig. 5). A colisão gera pontos de luz que depois são captadas pelos nossos olhos e processadas em nossos cérebros na forma de imagens. Esta é uma boa maneira de explicar como funciona o LHC. Os prótons são acelerados e levados a dois tubos de enorme extensão, circulares e paralelos, mas movimentando-se em sentidos contrários. Depois nós os obrigamos a se cruzarem em 4 pontos, onde as colisões daí produzidas gerarão novas partículas que serão detectadas por quatro grandes olhos do equipamento para serem posteriormente interpretadas pelos físicos.

Retornemos à aceleração. Mais uma

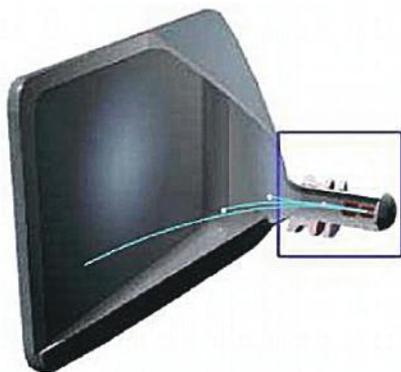


Figura 5 - Um acelerador de partículas doméstico.

vez utilizamos a importante propriedade do próton: sua carga elétrica. Na sua versão mais clássica, o que temos que fazer é acelerá-los e atraí-los para uma região carregada negativamente e que, uma vez por aí passando, essa zona se torne positiva, “empurrando-os” na direção correta, o que deve ser repetido inúmeras vezes. Como outros prótons seguem, temos que mudar as zonas positivas em negativas alternadamente. Falando de modo simples, é nisto que consiste um acelerador de partículas. Como vemos na Fig. 6, os tubos que vão alternando sua carga elétrica para atrair e repelir os prótons aumentam de tamanho pois, como estão acelerados, percorrem distâncias cada vez maiores dentro de um mesmo intervalo de tempo.

Há dois tipos gerais de dispositivos aceleradores: lineares e circulares. A diferença básica consiste no fato de que nos primeiros as partículas que queremos acelerar passam uma só vez pelo sistema, adquirindo um incremento de velocidade em uma única passagem. Nos circulares, as partículas em trajetória circular passam seguidamente pela zona onde está o sistema de aceleração, incrementando de forma escalonada sua velocidade. Ambos apresentam suas vantagens e inconveniências, mas este não é o momento para falar sobre isto. É interessante, talvez, dizer que no caso do CERN inicia-se com um acelerador linear, chamado LINAC2, para depois conduzir os prótons a sucessivos aceleradores circulares cada vez maiores: PSBoost, PS, SPS e finalmente o LHC (ver Fig. 7).

Para fazer uma comparação com o familiar aparelho de TV, podemos dizer que esta acelera os elétrons mediante uma voltagem de 20.000 V, ao passo que a cadeia de aceleradores que acabamos de mencionar do CERN proporciona uma voltagem “acumulada” de 7 trilhões de Volts, ou, como preferem falar os físicos, de 7 TV (TeraVolts).

Uma forma mais habitual de representar a energia dada a uma partícula consiste em multiplicar a voltagem aplicada pela sua carga elétrica, tomando a carga do próton (ou elétron) como unidade

$$\begin{aligned} \text{Energia} &= 7 \text{ TV} \times 1e \rightarrow \\ \text{Energia} &= 7 \text{ TeV} \text{ (7 Tera-electron-Volt)}. \end{aligned}$$

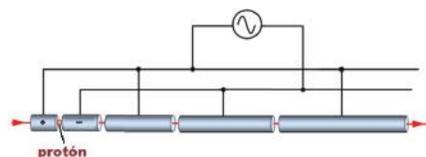


Figura 6 - Acelerador linear.

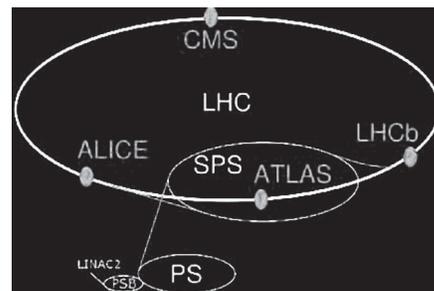


Figura 7 - Cadeia de aceleradores do CERN.

Voltando à comparação anterior, a energia comunicada a cada próton é 350 milhões de vezes maior que aquela proporcionada pelos tubos de raios catódicos de um aparelho de televisão. Precisaríamos de 350 milhões de tubos de raios catódicos de televisão um atrás do outro para conseguir esta voltagem. Considerando cada tubo destes como tendo as dimensões típicas de 12 cm, teríamos um comprimento total de

$$\begin{aligned} 350 \times 10^6 \times 0,12 &= \\ 40 \times 10^6 \text{ m} &\text{ (40.000 km!)}. \end{aligned}$$

Estariamos assim falando de uma montagem que daria a volta na Terra. Assim, os 27 km do LHC não parecem quilômetros em demasia.

4) Os prótons repelem-se

O objetivo fundamental do experimento é chegar a conclusões acerca das colisões entre prótons de maior energia possível. Em função disto, toda a tecnologia do LHC está dirigida no sentido de conseguir grandes concentrações de prótons nos dois feixes contrários para se conseguir um grande número de colisões. Para isto, os prótons gerados no Duoplasmatron e depois acelerados são agrupados em pacotes (*bunches*) que devem satisfazer duas condições: o maior número possível de partículas e a maior duração de estabilidade (ver Fig. 8). Recordemos que prótons, por terem mesma carga elétrica, repelem-se, o que torna o *bunch* instável. A maior eficácia é conseguida com $1,15 \times 10^{11}$ prótons em cada pacote, sendo a dimensão de cada um deles no feixe de 7,48 cm de comprimento e uma seção reta de 1 mm^2 . Quando se cruzam nos detectores, estes *bunches* são comprimidos até uma dimensão de 16×16 micrômetros (milésimo de milímetro) para aumentar as probabilidades de colisões. Calculemos a distância média entre os prótons.

Quando longe da região de colisão, o “volume esférico disponível” para cada próton é de aproximadamente

$$\frac{7,48 \times 0,01}{1,15 \times 10^{11}} = 6,5 \times 10^{-13} \text{ cm}^3/\text{proton}.$$

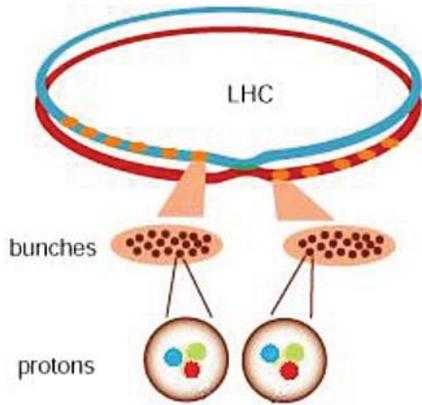


Figura 8 - Os pacotes de prótons (bunches) em cada feixe.

O raio de cada uma destas esferas é de $r \sim 8 \times 10^{-5}$ cm e portanto a distância média entre prótons: $d = 2r \rightarrow d \sim 2 \times 10^{-4}$ cm.

Estamos assim em condições de calcular a força coulombiana de repulsão entre eles

$$F = k \frac{q \times q'}{d^2} \rightarrow F = 9 \times 10^9 \frac{(1,6 \times 10^{-19})^2}{(2 \times 10^{-6})^2} \rightarrow F \sim 6 \times 10^{-17} \text{ N.}$$

Esta é a força com a qual se repelem os prótons dentro de um mesmo pacote. Pode parecer uma força pequena, mas lembremo-nos que estamos falando de partículas com uma massa da ordem de 10^{-27} kg. Para eles, esta força é enorme, que tende a separá-los e jogá-los contra as paredes do tubo por onde circulam. Naturalmente, isso deve ser evitado e para tanto utilizam-se potentes sistemas magnéticos (quadrupolos magnéticos) que alternadamente vão se contrapondo a esta repulsão no eixo horizontal e depois vertical (ver Fig. 9). A situação é ainda mais radical quando os pacotes se aproximam do ponto de colisão, pois aí a seção reta passa a ser de 16×16 micrômetros. Repetindo os cálculos, neste caso para o volume disponível temos

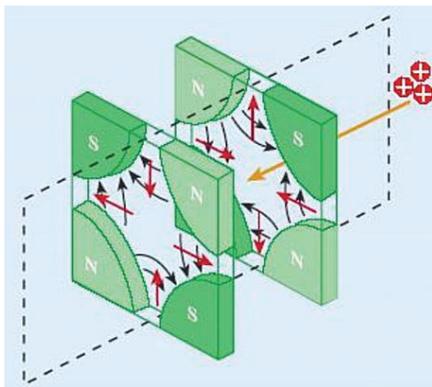


Figura 9 - Os prótons são obrigados a se juntar no eixo horizontal e depois no vertical.

$$\frac{7,48 \times (16 \times 10^{-4})^2}{1,15 \times 10^{11}} = 2 \times 10^{-16} \text{ cm}^3/\text{próton.}$$

O raio de cada uma das esferas é $r \sim 5 \times 10^{-6}$ cm, e portanto a distância média próton-próton é $d = 2r \rightarrow d \sim 10^{-5}$ cm. Isto resulta em uma força de repulsão de

$$F = k \frac{q \times q'}{d^2} \rightarrow F = 9 \times 10^9 \frac{(1,6 \times 10^{-19})^2}{(10^{-7})^2} \rightarrow F \sim 2 \times 10^{-14} \text{ N.}$$

Estamos aqui falando de uma repulsão de três ordens de grandeza maior que aquela atuando longe das zonas de colisão. Novos sistemas magnéticos (sextupolos, decapolos, etc.) são encarregados de corrigir as deformações que os pacotes (ver Fig. 10) sofrem por estas repulsões. Como os pacotes também se repelem, é necessário ainda otimizar o seu número para que o número de colisões seja adequado. O número de pacotes em cada um dos dois feixes é de 2808, e a separação entre eles é de (lembremos que o tubo principal do LHC tem 27 km)

$$d \sim 27000 \text{ m}/2808 \rightarrow d \sim 10 \text{ m.}$$

A carga elétrica total para cada pacote (*bunch*) de prótons vale

$$Q = 1,6 \times 10^{-19} \times 1,15 \times 10^{11} = 18,4 \times 10^{-9} \text{ C.}$$

Imaginemos agora cada pacote como um objeto compacto carregado de 18,4 nC. Cada pacote repele o que tem perto de si (a cerca de 7,5 m de distância) de acordo com a lei de Coulomb, com uma força de intensidade

$$F = 9 \times 10^9 \cdot (18,4 \times 10^{-9})^2 / (10)^2 \rightarrow F \sim 3 \times 10^{-8} \text{ N.}$$

Devido à massa extraordinariamente pequena de cada pacote, o efeito desta pequena força de repulsão é muito importante. Contudo, pelo fato de cada pacote ter dois outros pacotes, um adiante e outro atrás de si, os efeitos de repulsão tendem a cancelar-se. Não obstante, a configuração dos pacotes não é completamente simétrica, o que gera instabilidades que aumentam com o tempo. Além disso,

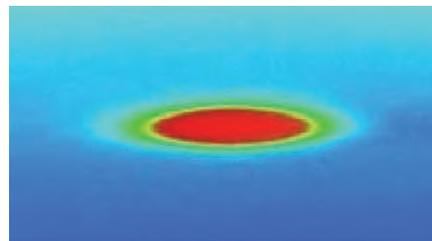


Figura 10 - Visualização de um pacote quando detectado ao passar por um determinado ponto do trajeto.

os prótons colidem com moléculas que existem dentro do tubo uma vez que o vácuo não é perfeito. Também nas zonas de colisão os pacotes contrários sofrem, obviamente, interações repulsivas. Tudo isto dá lugar (junto a outros fatores) a um tempo limite de operação dos dois feixes de prótons (*luminosity lifetime*), que não excede 10 horas de funcionamento. Passado este tempo é necessário retirar os pacotes do acelerador, deixando o sistema livre e preparado para uma nova carga de pacotes.

5) As cargas em movimento geram uma corrente elétrica

O que temos dentro de cada um dos dois tubos do acelerador são centenas de bilhões de prótons movendo-se a grande velocidade. Isso representa na realidade uma corrente elétrica (ver Fig. 11), um importante parâmetro que caracteriza o acelerador (*circulating current beam*). O número total de prótons em cada feixe é

$$N = 2808 \times 1,15 \times 10^{11} = 3,23 \times 10^{14} \text{ prótons.}$$

Calculemos agora quantas voltas eles dão pelo perímetro do acelerador a cada segundo. Como a velocidade que eles possuem é praticamente a da luz, temos $300000 \text{ km} / 27 \text{ km} \rightarrow 11.000$ voltas.

Assim, em um segundo, a carga total que passa por qualquer ponto do acelerador vale

$$Q = 3,23 \times 10^{14} \times 1,6 \times 10^{-19} \times 11000 = 0,57 \text{ C/s,}$$

ou seja

$$I = 0,57 \text{ A.}$$

Para ter uma intensidade semelhante em uma linha de transmissão convencional necessitaríamos de

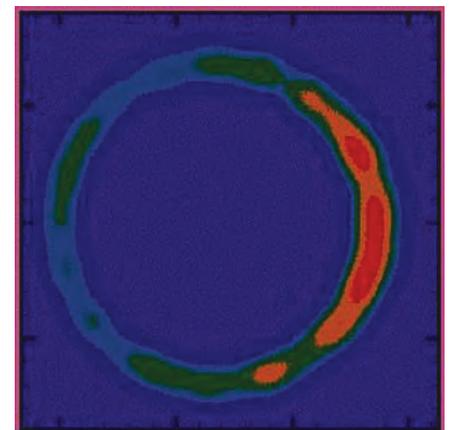


Figura 11 - Os prótons circulando próximos à velocidade da luz, formando o feixe do acelerador, constituem uma autêntica corrente elétrica.

$N = 0,57 / 1,6 \times 10^{-19} = 3,6 \times 10^{18}$ prótons (dez mil vezes mais!).

Conclusões

Apresentamos aqui uma forma de levar conteúdos de eletrostática para a sala de aula utilizando recursos e ideias da maior máquina já construída pela ciência. Por um lado, facilitamos a aprendizagem de conteúdos abstratos e pouco atrativos para os estudantes do Ensino Médio, ao passo que do outro, apresentamos, concomitantemente, um dos resultados científico-tecnológicos mais importantes de todos os tempos.

Reiteramos a importância de que este tipo de ação se faça de maneira contextualizada: introduzindo na aula os grandes sucessos científicos e relacionando-os aos conceitos com os quais pretendemos trabalhar. Desta forma, os alunos vão construindo o conhecimento de maneira natural, com maior motivação e portanto mais significativamente.

Outros aspectos didáticos muito im-

portantes que se protagonizam a partir desta proposta é a dimensão internacional do experimento, no qual a Espanha e o Brasil estão presentes junto a outros oitenta países, e o significativo número de mulheres que participam dos diferentes campos de pesquisa científica e tecnológica do LHC.

Portanto, a ideia fundamental é utilizar um acontecimento científico de grande repercussão como estratégia didática, evitando que este tipo de ação seja apresentado de forma isolada e descontextualizada.

Notas

¹O nome carga elétrica é a versão traduzida do que inicialmente poderíamos chamar “quantidade de matéria ambárica”, pois, historicamente, a raiz da palavra elétrico provém de *elektron* (âmbar em grego). O âmbar, uma resina de pinheiros petrificada, pode atrair pequenas partículas quando friccionado, por exemplo, na lâ.

Referências

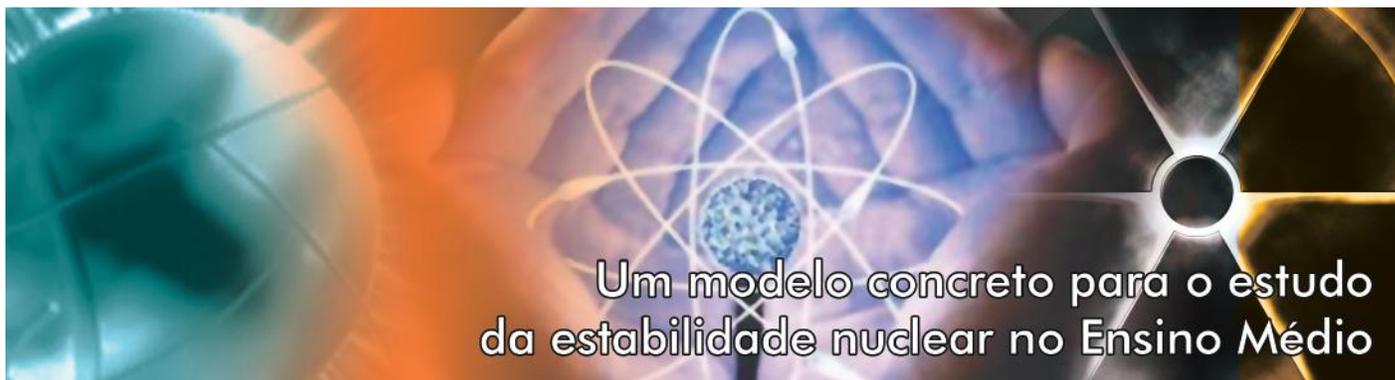
- [1] R. Cid, *Physics Education* **40**, 332 (2005).
- [2] R. Cid, *Revista Española de Física* **20**, 48 (2006).
- [3] R. Cid and X. Cid Vidal, *Physics Education* **44**, 78 (2009).
- [4] R. Cid y X. Cid Vidal, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **3**, 638 (2009).
- [5] R. Cid and X. Cid Vidal, *Physics Education* **45**, 73 (2010).
- [6] R. Cid y X. Cid Vidal, *Revista Española de Física* **22**, 33 (2008).
- [7] Taking a closer look at LHC: <http://www.lhc-closer.es>.
- [8] J. Solbes J.R. Montserrat y C. Furió, *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales* **21**, 91 (2007).
- [9] A. Caamaño (coord), *Didáctica da Física e da Química* (Editorial GRAÓ, Barcelona, 2010).
- [10] D. Gil, B. Macedo, J. Martínez, C. Sifredo y A. Vilches (eds) *¿Cómo Promover el Interés por la Cultura Científica?* (OREALC/UNESCO, Santiago de Chile, 2005).
- [11] M.P. Jiménez Aleixandre (coord), *Enseñar Ciencias* (Editorial GRAÓ, Barcelona, 2003).



O **CREF**, Centro de Referência para o Ensino de Física, tem por objetivos:

- Incorporar à formação de professores, nos cursos de licenciatura em física da UFRGS e em geral, os novos conhecimentos científicos em física e astronomia, as tecnologias de informação, os avanços da teoria de ensino-aprendizagem e os resultados da pesquisa em ensino.
- Ampliar e intensificar atividades de formação continuada, presencial e a distância, de professores de física e de ciências do Ensino Médio e Fundamental.
- Atualizar conteúdos, modernizar laboratórios, utilizar recursos de comunicação e de informação e aprimorar métodos de ensino e materiais instrucionais no âmbito das disciplinas básicas de física lecionadas para os cursos de formação científica e profissional, na UFRGS e outras instituições de ensino superior.
- Estender à comunidade escolar, em todos os níveis e modalidades de ensino, e à população em geral, conhecimentos, avanços e aplicações da física e da astronomia, como parte da educação para a cidadania na sociedade do conhecimento.

<http://www.if.ufrgs.br/cref>



.....
Maurício Girardi Schappo

Departamento de Física, Universidade
Federal de Santa Catarina,
Florianópolis, SC, Brasil
E-mail: girardi.s@gmail.com
.....

Durante a aplicação de um minicurso intitulado *Energia Nuclear: Solução ou Problema?* para uma turma de Ensino Médio formada por alunos do primeiro ao terceiro ano, onde se debateu sobre as consequências da utilização de fissão nuclear, principalmente, para geração de energia elétrica, enfrentamos alguns problemas didáticos principalmente ao tratar dos conceitos da física nuclear que permeiam os reatores nucleares e os processos que neles ocorrem, dada a dificuldade de visualização e representação destes no mundo macroscópico e palpável dos alunos. Para superar estas barreiras, utilizamos de diversos *modelos* e simulações computacionais, onde foi possível tornar acessível a teoria da física nuclear.

Trataremos aqui, portanto, de um *análogo* utilizado para descrever os fenômenos de fissão e fusão, durante uma das aulas do minicurso, em que foi feita a ligação entre transformação das energias nucleares em energia elétrica. Nesse sentido, nosso modelo constituiu-se uma importante ferramenta onde era possível observar de forma prática o problema da estabilidade nuclear, o que constituía um objetivo específico do trabalho, e foi constatado através de um questionário aplicado aos alunos, antes e depois da aplicação das aulas.

Devido à polissemia da palavra *modelização* no ensino de ciências, faz-se necessário, na próxima seção, uma breve explanação sobre o referencial adotado para abordar este tema no presente artigo. Em seguida, cabe uma discussão superficial sobre alguns dos *modelos* nucleares nos quais nos baseamos para discutir a esta-

bilidade nuclear. Em particular, essa discussão deve servir de base para um professor de ensino médio entender/explicar/utilizar nosso modelo concreto proposto em sala de aula. Na seção “modelo concreto do núcleo”, apresentaremos o *modelo concreto* através de uma ilustração e breve descrição, junto à sua utilização em sala de aula. Terminaremos, então, com uma discussão e conclusão acerca do presente modelo. Em algumas partes do texto, são salientados alguns pontos importantes de se levantar em sala de aula.

Referencial teórico

Segundo a concepção de Bunge [1], as teorias científicas se referem a objetos ideais, construções simplificadas dos objetos reais, representando-os apenas parcialmente. Os objetos ideais são chamados de *objetos-modelo* e, de certa maneira, não passam de uma lista das características relevantes dos objetos reais para o desenvolvimento de uma *teoria geral* sobre ele. Por exemplo, podemos tomar o gás ideal

Segundo a concepção de Bunge, as teorias científicas se referem a objetos ideais, construções simplificadas dos objetos reais, representando-os apenas parcialmente. Os objetos ideais são chamados de objetos-modelo e, de certa maneira, não passam de uma lista das características relevantes dos objetos reais para o desenvolvimento de uma teoria geral sobre ele

como sendo um gás onde as dimensões das moléculas e as perdas de energia nas colisões entre elas são desprezadas, sobrando apenas pontos materiais dotados de velocidade, onde a energia total se conserva. Nesse sentido, temos o objeto-modelo gás ideal, cujas características são as

partículas descritas como pontos materiais com velocidade, e a conservação da energia [2].

Para estudar o comportamento do objeto-modelo, é preciso inseri-lo numa teoria geral, como a mecânica clássica, resultando em um modelo teórico, que neste caso é a teoria cinética dos gases ideais.

Discute-se um pouco sobre o papel dos modelos no ensino de ciências. Para isso, utilizamos uma modelização de núcleo atômico proposta durante a aplicação de um minicurso temático para o Ensino Médio sobre energia nuclear e suas consequências. O papel das imagens e visualizações de objetos concretos e reais formando analogias com conceitos abstratos e científicos, no âmbito deste trabalho, é também levado em consideração. Assim, pretende-se ajudar a melhorar o discurso dos professores de ciências, principalmente física, na sala de aula, aumentando ainda sua coleção de modelos demonstrativos.

Este modelo, por ser resultado do estudo sobre um objeto-modelo, constituirá também uma abordagem aproximada e parcial da realidade. É importante notar que a teoria geral, justamente por ser uma base teórica geral, não pode ser testada empiricamente, apenas os modelos teóricos é que podem. Em síntese, o modelo teórico pode ser entendido como um modelo matemático de um pedaço da realidade [1].

Sob uma perspectiva epistemológica construtivista, os modelos (junto à modelização) são de importância fundamental para o ensino de ciências. Já que a ciência busca se aproximar da realidade através de modelos teóricos é razoável, a fim de atingir uma coerência entre os objetivos desta e daquele, que o ensino de ciências se comporte de maneira semelhante

Além desses modelos matemáticos, podemos verificar na obra de Bunge a expressão *modelos concretos* fazendo referência a representações esquemáticas visuais de alguma coisa, tais como desenhos, animações, diagramas simbólicos, maquetes, etc. Esse tipo de representação também é referido pelo autor como *objeto-modelo do tipo conceitual* [2]. Aqui, nos interessa, portanto, essa definição mais precisa de modelos concretos. Convém lembrar que a descrição teórica e precisa do núcleo atômico é um problema difícil e atualmente em aberto, e não devemos confundir o termo “modelo nuclear” utilizado para se referir aos modelos teóricos do núcleo atômico e utilizado para o modelo concreto proposto neste trabalho para o núcleo.

Sob uma perspectiva epistemológica construtivista, os modelos (junto à modelização) são de importância fundamental para o ensino de ciências [3]. Já que a ciência busca se aproximar da realidade através de modelos teóricos é razoável, a fim de atingir uma coerência entre os objetivos da ciência e do seu ensino, que o ensino de ciências se comporte de maneira semelhante, através da modelização de conceitos e situações de modo a salientar o caráter construtivista da ciência, caracterizando a maneira peculiar como esta tenta abordar a realidade, mesmo em se tratando de um modelo análogo.

Modelo teórico do núcleo atômico

A seguir, encontra-se de maneira resumida dados experimentais da estrutura nuclear e alguns aspectos importantes de modelos nucleares, principalmente o modelo da gota líquida, para se estudar a estabilidade das ligações nucleares.

Caracterizando o núcleo

O núcleo pode ser caracterizado pelo seu número de prótons Z e pelo seu número total de núcleons, A , lembrando que

$N = A - Z$ é o número de nêutrons no núcleo. Representa-se, então, o núcleo de um elemento X da seguinte maneira: ${}_Z^AX$.

Dois elementos, X e Y são isótopos quando o Z de X é igual ao Z de Y , mesmo com N diferentes. Como é o número de prótons que determina o nome de cada elemento, os elementos X e Y serão chamados pelo mesmo nome. Por exemplo, o U^{235} e o U^{238} são isótopos. Dois elementos são isóbaros quando possuem o mesmo A , mas possuem Z ou N diferentes. Ainda podemos definir os elementos isótonos, que possuem o mesmo N , mas diferentes Z .

Composição do núcleo, defeito de massa e energia de ligação

Considerando que um núcleo é formado por Z prótons e $(A - Z)$ nêutrons, espera-se que a massa do núcleo seja dada por

$$M(A, Z) = Zm_p + (A - Z)m_n \quad (1)$$

onde desprezamos a massa dos elétrons e m_p e m_n denotam as massas de repouso do próton e do nêutron, respectivamente, que são

$$\begin{aligned} m_p &= 1,67262158 \times 10^{-27} \text{ kg,} \\ m_n &= 1,67492729 \times 10^{-27} \text{ kg.} \end{aligned} \quad (2)$$

Porém, as medidas revelam que a massa nuclear é menor do que o expresso pela Eq. (1). Isso é chamado de defeito de massa, o que explica porque o núcleo não pode dividir-se espontaneamente em todos os núcleons que o formam, pois isso violaria o princípio de conservação de energia.

Sabemos que, de acordo com o obtido por Einstein (Eq. (3)), massa relaciona-se com energia. Por isso, uma diferença de massa implica numa diferença de energia, o que explica a violação do princípio da conservação da energia caso todos os núcleons de um núcleo espontaneamente ficassem livres.

$$E = mc^2. \quad (3)$$

No fundo, um núcleo é um poço de energia potencial, e pode-se relacionar uma variação dessa energia potencial com uma variação na massa do núcleo. De fato, energia e massa, neste contexto, são duas grandezas diretamente proporcionais e profundamente ligadas.

Se o núcleo considerado tiver uma massa medida M_0 , seu defeito de massa

será dado por

$$\Delta M = M_0 - M(A, Z). \quad (4)$$

Se $M(A, Z)$ for maior que M_0 , ΔM é uma quantidade negativa. O defeito de massa é uma evidência de que algo está acontecendo com a massa dos núcleons. Podemos assumir, portanto, que essa diferença de massa é proporcional à quantidade de energia necessária para quebrar o núcleo em todos os seus componentes, de acordo com a Eq. (3), portanto

$$\Delta M \propto E_L. \quad (5)$$

De acordo com a relação de Einstein, Eq. (3), a Eq. (5) colocada numa igualdade fica

$$\Delta M = \frac{E_L}{c^2} \rightarrow E_L = \Delta M \times c^2. \quad (6)$$

Aqui, E_L é a chamada energia de ligação. Note que estamos assumindo que a ligação entre os núcleons pode ser medida através do defeito de massa. Uma energia de ligação negativa, significa que os núcleons estão presos em um certo poço de potencial. Portanto, para que seja possível uma ligação estável, é necessário que ΔM seja negativo (o que, de fato, acontece para os núcleos conhecidos) e, assim, $-E_L$ é a energia necessária para livrar todos os núcleons dos seus confinamentos.

Ao tratar de estabilidade, é conveniente, portanto, definir uma energia de ligação média por núcleons. O que seria, aproximadamente, a quantidade necessária de energia para arrancar apenas um núcleon de dentro do núcleo

$$\bar{E}_L = \frac{-E_L}{A} = \frac{\Delta M \times c^2}{A} \rightarrow \quad (7)$$

$$\bar{E}_L = \frac{(Zm_p + (A - Z)m_n - M_0)c^2}{A}.$$

Esta quantidade foi medida para diversos núcleos estáveis e está plotada num gráfico, como mostra a Fig. 1.

Uma rápida análise deste gráfico mostra que para núcleos pouco massivos ($A < 20$, aproximadamente) a energia de ligação média por núcleons oscila um pouco e sobe rapidamente, estabilizando-se por volta do Fe^{56} , com uma energia da ordem de 9 MeV/núcleons. Desse ponto em diante, essa energia torna-se praticamente constante, em média a 8 MeV/núcleons, decaindo muito lentamente conforme vai aumentando a quantidade de núcleons dentro do núcleo. Este leve decréscimo, em primeira instância, pode ser interpretado como uma característica fundamental das forças nucleares. Apenas citando, uma dessas características é a sa-

turação das forças nucleares devido ao seu curto alcance, já que conforme adicionam-se núcleons ao núcleo, mantendo-se a mesma quantidade de vizinhos por núcleon. Mesmo assim, a força nuclear, que é atrativa, encontra um valor limite, saturando, e não alcança todos os núcleons sobressalentes. A partir daí a repulsão coulombiana entre os prótons deixa de ser desprezível, diminuindo a energia de ligação média por núcleons. Outro fator que nos leva ao curto alcance das forças nucleares é que o modelo atômico é muito bem descrito considerando apenas as forças coulombianas do sistema [5].

Modelo da gota líquida

Ao descrever um sistema, busca-se entender sob quais condições ele se apresenta estável. Como vimos, a estabilidade nuclear pode ser muito bem expressa através de sua energia de ligação. Por isso, o modelo da gota líquida, como sendo um dos primeiros modelos a tentar descrever o núcleo, busca uma forma para a energia de ligação deste em função de variáveis facilmente mensuráveis, como o número total de núcleons, A , o número de prótons, Z , e o número de nêutrons, N , no núcleo.

Os núcleos são essencialmente esféricos, com raios proporcionais à $A^{1/3}$ [5], o que sugere que a densidade nuclear é praticamente independente da quantidade de núcleons presentes nele, devido à pequena variação do raio com a quantidade de núcleons. Seja η a densidade de massa do núcleo, temos

$$\eta \propto \frac{M_0}{[R(A)]^3} = \frac{1}{r_0^3} \frac{M_0}{A} = \frac{1}{r_0^3} \frac{\Delta M + M(A, Z)}{A} \rightarrow \eta \propto \frac{\Delta M + M(A, Z)}{A} \quad (8)$$

onde r_0 é uma constante de proporcionalidade entre o raio atômico e o número de núcleons $A^{1/3}$.

Tomando ΔM da Eq. (6) e a energia de ligação média por núcleons da primeira linha da Eq. (7), podemos expressar a Eq. (8) em termos da energia de ligação média da seguinte maneira

$$\eta \propto \frac{E_L + M(A, Z)}{c^2 A} \rightarrow \eta \propto \frac{E_L}{c^2 A} = \frac{1}{c^2} \bar{E}_L \rightarrow \eta \propto \bar{E}_L \quad (9)$$

Note que, por ser proporcional à energia de ligação média por núcleons e por

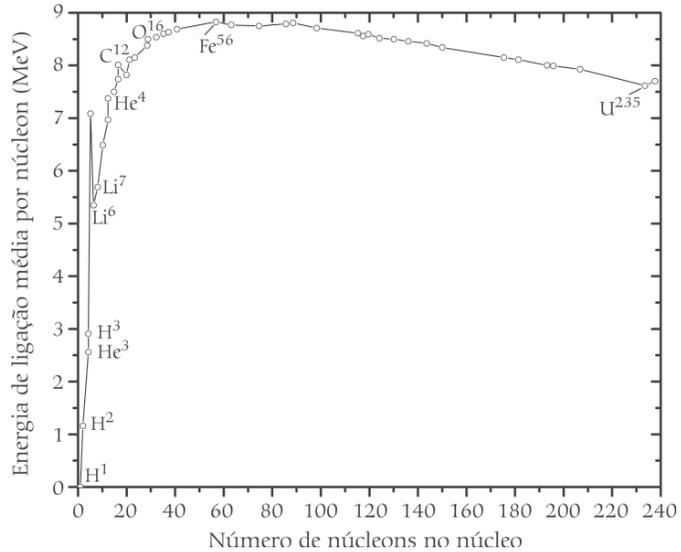


Figura 1 - Energia de Ligação média por núcleons, em função do número de massa (número de núcleons) de cada núcleo. Nota-se que o ${}^1\text{H}$ é formado por apenas um próton e nenhum nêutron, ou seja, ele não possui energia de ligação, mas isso não significa que ele é um núcleo instável.

esta possuir um valor máximo, sendo aproximadamente constante, η também deve ser aproximadamente constante.

As duas características citadas (a simetria esférica e a densidade constante) sugerem que o núcleo pode ser aproximado como um fluido incompressível, ou melhor, como uma gota de um líquido incompressível, onde os núcleons dentro do núcleo têm papel similar ao das moléculas dentro de uma gota de um líquido comum.

Neste modelo, podemos pensar no núcleo constituído por uma parte central estável, ou seja, com energia de ligação bem negativa e proporcional ao volume, mais um termo de energia de superfície, cuja origem está na tensão superficial sentida pelos núcleons da fronteira do núcleo, conforme ilustrado na Fig. 2.

A energia de ligação neste modelo é dada por

$$\bar{E}_L = -a_1 A + a_2 A^{2/3} + a_3 \frac{Z^2}{A^{1/3}} + a_4 \frac{(N-Z)^2}{A} \pm a_5 A^{-3/4} \quad (10)$$

onde os parâmetros a_1 , a_2 , a_3 , a_4 e a_5 são ajustados empiricamente. Os valores destes parâmetros são, de acordo com a Ref. [5]

$$\begin{aligned} a_1 &= 15,6 \text{ MeV}, & a_2 &= 16,8 \text{ MeV}, \\ a_3 &= 0,72 \text{ MeV}, & a_4 &= 23,3 \text{ MeV}, \\ a_5 &= 34 \text{ MeV}. \end{aligned} \quad (11)$$

Analisando a Eq. (10), vê-se que ela depende de um balanço entre volume e área de superfície, expressos pela primeira e pela segunda parcela. A terceira parcela

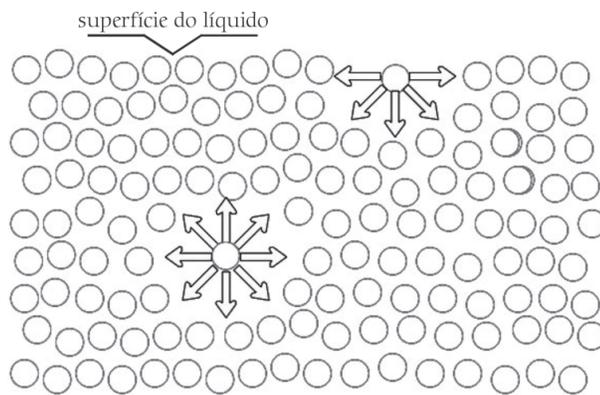


Figura 2 - Origem da tensão superficial, ou energia de superfície, num líquido. Note que as partículas da superfície estão sob ação de uma força resultante que aponta para o interior do líquido.

é um termo de instabilidade (por isso positivo) devido à repulsão coulombiana entre os prótons. Os outros dois termos são devidos a efeitos puramente quânticos, como pareamento de spin dentro do núcleo e têm a ver com a quantidade relativa de nêutrons e prótons formando o núcleo. Lembrando que quanto mais negativa for a energia de ligação, mais estável será o núcleo, pois será preciso mais energia para arrancar um núcleon do potencial efetivo.

Modelo concreto do núcleo

A montagem do modelo é muito simples: são necessários imãs esféricos ou cilíndricos, como os da Fig. 3, velcro e uma fita adesiva capaz de colar o velcro nos imãs, pode-se pensar em alguma fita dupla-face, ou *silvertape*.

Prefira imãs esféricos de terras-raras. De posse de alguns imãs e algumas bolinhas de plástico (ou outro material que não sofra interação magnética), enrole individualmente alguns com a parte aspera do velcro e outros com a parte macia do velcro, de modo que ao juntar todos, o velcro grude e segure os imãs que estão tentando se repelir.

Correspondência com o modelo nuclear

Em nosso modelo concreto de núcleo, caracterizado como um análogo [1], temos imãs (que se repelem ou se atraem, mesmo os imãs devendo ser colocados de modo a ficar com pólos iguais próximos para salientar a repulsão), bolas neutras (do ponto de vista magnético) e uma cola mecânica (o velcro). Lembrando da composição do núcleo: prótons e nêutrons, sabemos que prótons, por possuírem todos, cargas positivas, devem-se repelir fortemente por interação eletrostática (ainda mais por estarem tão próximos, confinados em raios da ordem de 10^{-15} m [5]). Nêutrons não sentem a repulsão coulombiana já que possuem carga zero. Portanto, é bem óbvia a correspondência: prótons estão representados por imãs, nêutrons estão representados por bolas diamagnéticas.

Nos modelos nucleares, como descrito na seção “modelo teórico do núcleo”, temos duas interações principais: a coulombiana de repulsão e a nuclear de atração. Além disso, como vimos, elas possuem algumas características próprias: a eletrostática possui alcance infinito,

sendo sentida apenas por portadores de carga elétrica. A interação nuclear, por sua vez, possui curtíssimo alcance (fato também evidenciado pelo pequeno raio nuclear), além de ser sentida por todos os núcleons, independente de suas cargas elétricas. Sendo assim, comparando as interações do nosso análogo com as interações reais, temos que a interação coulombiana fica bem representada pela interação magnética, uma vez que a força magnética, para as dimensões do nosso modelo, também atua até o infinito e só é sentida por *dipolos* magnéticos, por isso os imãs devem estar dispostos de modo que a força magnética tenda a afastá-los mutuamente. As forças nucleares ficam bem representadas pela força mecânica exercida pelo velcro ao aproximar quaisquer dois dos objetos do nosso modelo revestidos com partes complementares de velcro. Como o velcro só gruda quando os objetos estão muito próximos, essa força mecânica tem curtíssimo alcance comparado com o tamanho dos objetos e do modelo em si, além de ser atrativa. Essa análise pode ser feita também através de um gráfico da energia potencial efetiva nuclear [5], mas não entraremos em detalhes aqui.

Neste ponto, é muito importante que o professor fique atento às condições do análogo que não correspondem aos modelos nucleares. Por exemplo, se não posicionarmos os imãs direito, eles podem acabar se atraindo e a correspondência entre força elétrica (modelo nuclear) e força magnética (modelo concreto) não é satisfatória. Ainda, como comentado anteriormente, o alcance da força magnética é menor que o alcance da força elétrica, sendo outro ponto em que a analogia não corresponde ao modelo nuclear. Uma discussão em sala de aula em um momento pertinente acerca de modelos na ciência e sua correspondência com a realidade é encorajada, pois não necessariamente um modelo

corresponde à realidade, assim como nossa analogia não cabe perfeitamente na descrição dos modelos nucleares.

Analizando a estabilidade do nosso modelo, podemos inferir que quanto mais

velcros complementares estiverem presentes, mais estável ele será. Ou seja, se adicionarmos apenas as bolas diamagnéticas revestidas com velcro, não adicionaremos instabilidade no sistema por meio das forças repulsivas. Apesar de que



Figura 3 – Imãs utilizados para montar o modelo.

em algum momento, o velcro não vai mais segurar objetos juntos (devido ao peso do conjunto ou outro fator dessa natureza), fazendo com que o modelo rompa. O que está de acordo com o modelo nuclear, conforme pode ser visto na Eq. (10), quanto maior o A para um dado Z fixo, maior é a estabilidade do sistema, pois mais negativa fica E_L . Ainda, a força nuclear tem uma saturação, conforme foi visto, assim como o velcro também não suportará segurar um peso muito grande. Note que não estamos fazendo uma analogia quantitativa, mas o comportamento de nosso objeto-modelo conceitual análogo é muito similar ao comportamento do modelo teórico nuclear.

Além de representar a estabilidade nuclear, o modelo pode auxiliar na compreensão do fenômeno de fissão nuclear. Com dois imãs revestidos com velcros complementares, deixe o velcro grudado, mas na iminência de romper. Passe rapidamente uma régua ou algum objeto fino e rígido entre os imãs de modo a romper a ligação dos velcros. Os imãs devem-se repelir, ganhando uma certa velocidade. Como eles estão apoiados numa mesa, a energia cinética devida à repulsão magnética ganhada pelos imãs logo se dissipa, porém sua repulsão é notável. Portanto, é possível trabalhar a transformação da energia de ligação do velcro em energia cinética. Assim como ocorre na realidade: a energia liberada na fissão é na forma de energia cinética dos fragmentos da fissão e dos nêutrons ejetados.

Conclusão

São evidentes as características do nosso objeto-modelo conceitual e suas conexões com o objeto real. Há uma proximidade qualitativa enorme entre o modelo concreto proposto e o modelo teórico nuclear. Vale lembrar que este modelo foi utilizado num contexto mais amplo, no âmbito de um projeto temático sobre energia nuclear, a fim de caracterizar o núcleo e trazer algo definitivamente abstrato (o núcleo atômico) para o mundo empírico e acessível do macroscópio, evidenciando suas principais propriedades e os principais fenômenos envolvidos nas reações de geração de energia nuclear.

Comparando as interações do nosso análogo com as interações reais, temos que a interação coulombiana fica bem representada pela interação magnética, uma vez que a força magnética, para as dimensões do nosso modelo, também atua até o infinito

Dirac (*apud* Ref. [6, p. 13]) afirma que ainda que o objetivo principal da ciência não seja o fornecimento de imagens, e o fato de elas existirem ou não ser uma questão de importância secundária, sempre se pode entender o significado da palavra imagem de maneira a incluir qualquer forma de enxergar as leis fundamentais que torne evidente sua autoconsistência. E é certo que desde o desenvolvimento da física moderna, esta ciência tem caminhado cada vez mais para longe das visualizações devido às limitações das representações da nossa vivência macroscópica, o que faz com que a mecânica quântica, por exemplo, se assente na negação da possibilidade de visualização [4], já que é claramente impossível imaginar algo numa situação dual, como uma onda-partícula. Isso faz com que as visualizações percam força no âmbito das teorias científicas, sendo que aquelas não podem mais ser confundidas com a realidade da mesma forma e com a mesma intensidade que era feito antes da aceitação das teorias modernas da física. Em outras palavras, os próprios modelos nucleares não têm uma forma bem definida, uma imagem. Não é

possível fotografá-los, no estrito sentido desta palavra, por exemplo. Mesmo assim, ainda precisamos imaginá-los. Para isso, podemos fazer uso de algumas visualizações, mas precisamos estar cientes de que elas, seja no modelo teórico ou no modelo concreto, não correspondem à realidade, uma vez que fazem referência a objetos-modelo e servem, muitas vezes, apenas para facilitar o entendimento de alguns conceitos destes. Levar esta noção para a sala de aula através de atividades envolvendo modelização, ou algum tipo de modelo, pode contribuir para o discurso do ensino de física se aproximar mais ao discurso da física, em si, em termos epistemológicos. Além disso, pode ajudar os alunos a desenvolverem habilidades de visualização, abstração e generalização.

Agradecimentos

Agradeço principalmente aos outros três professores que ministraram o minicurso junto comigo, Elizando M. Brick, Leandro Neckel e Thiago Farias, sem os quais este trabalho não teria sido possível, à Juliana Machado e ao meu irmão, Marcelo Girardi Schappo, todos licenciados e

mestres em física, pelos comentários pertinentes e discussões levantadas sobre o tema. Também ao professor Dr. Felipe Arretche por várias pequenas e importantes correções.

Referências

- [1] Mario Bunge, *Teoria e Realidade* (Perspectiva, São Paulo, 1974).
- [2] Juliana Machado, in: Anais do VII ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciências. Belo Horizonte, 2009. Disponível em <http://www.foco.fae.ufmg.br/viiienpec/index.php/enpec/viiienpec/paper/viewFile/1592/678>.
- [3] Juliana Machado, *Modelização na Formação Inicial de Professores de Física*. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, 2009.
- [4] Ileana M. Greca e Flávia M.T. dos Santos, *Investigações em Ensino de Ciências* **10**, 31 (2005).
- [5] Ashok Das, and Thomas Ferbel, *Introduction to Nuclear and Particle Physics* (John Wiley & Sons, New York, 1994), 327 p.
- [6] M. Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics* (John Wiley & Sons, New York, 1974).

Livro eletrônico



Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade

Publicado em 30/3/2010

Andre Koch Torres Assis, professor de física da UNICAMP

Área: eletromagnetismo

Nível de ensino: Ensino Médio

O livro, escrito por Andre Koch Torres de Assis, da Unicamp, tem como um de seus objetivos “apresentar os fenômenos básicos da eletricidade através de experiências simples realizadas com materiais facilmente acessíveis em casa ou no comércio”.

Nele, são encontradas experiências que abordam a atração e a repulsão; a eletrização por atrito, contato e indução; as diferenças entre condutores e isolantes etc. Além disso, o autor mostra como “os con-

ceitos teóricos vão sendo formados e modificados no processo experimental, o mesmo ocorrendo com a formulação das leis fundamentais que descrevem os fenômenos”.

“São apresentadas também experiências lúdicas e curiosas que estimulam a criatividade, o pensamento crítico e o senso de brincadeira na ciência”. Tudo permeado por “informações históricas que fornecem o contexto do surgimento de alguns fenômenos e leis, assim como os diferentes enfoques ou interpretações relacionados a estes fenômenos”.

E o melhor de tudo?

O livro é gratuito!

O leitor pode encontrá-lo no portal Pion e baixá-lo no endereço:

<http://pion.sbfisica.org.br/pdc/index.php/por/Material-didatico>



Pontes de macarrão: uma alternativa para o ensino da estática

A prática tradicional de ensino de física prioriza problemas e situações muitas vezes desconectadas do cotidiano do estudante. Desse modo, o estudante, muitas vezes, após concluir o ensino básico, não consegue estabelecer relações entre os conteúdos abordados em sala de aula com situações vivenciais. Nesse sentido, os Parâmetros Curriculares Nacionais [1] apontam que “o ensino de física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciado do mundo vivido pelos estudantes e professores, não só, mas também por isso, vazios de significado” (p. 2).

No ensino da mecânica, mais especificamente na estática, prioriza-se a resolução de dezenas (ou até centenas) de exercícios considerando-se geralmente os objetos como sendo pontuais, de dimensões desprezíveis. Situações envolvendo aplicações práticas da estática, em particular a estática dos corpos rígidos, de dimensões não-desprezíveis, raramente são utilizadas.

Alguns autores como Souza [2] e Angotti e cols. [3] apontam para a necessidade de se investigar estratégias didático-metodológicas inovadoras que, além de motivar o estudante, contribuam para uma aprendizagem mais eficiente da física.

Nesse sentido, uma alternativa para auxiliar na compreensão da estática dos corpos rígidos e possibilitar um ensino de física que estabeleça relações com o cotidiano em que os estudantes estão inseridos, é o desenvolvimento de pontes de macarrão. A atividade de construção de pontes de macarrão é utilizada, geralmente,

sob forma de campeonatos,¹ nos cursos de engenharia civil. Entretanto, é possível perceber a possibilidade de inserção dessa atividade, com especificidades diferenciadas, no Ensino Médio.

Neste artigo, apresenta-se a descrição de uma atividade didática que objetivou a criação e o desenvolvimento, com duas turmas de estudantes do segundo ano do Ensino Médio de uma escola da rede particular de ensino, de pontes de macarrão.

As pontes de macarrão possibilitam a discussão sobre conceitos onde, muitas vezes, os estudantes apresentam dificuldades para aprendizagem como, por exemplo, as forças resultantes da interação entre dois planos e as condições de equilíbrio. Além disso, as pontes de macarrão podem fazer com

que o estudante possa compreender as validades de alguns modelos ensinados ao longo do Ensino Médio.

Um limite de validade pode ser debatido com os estudantes quando se repre-

senta o peso da ponte (como na Fig. 1). Considera-se, na maioria das situações, que o centro de gravidade coincide com o centro geométrico.

Nas pontes de macarrão, a hipótese de que a massa do macarrão é uniformemente distribuída, resultando em uma densidade de massa constante ao longo do objeto, foi considerada pelos estudantes na elaboração e construção da ponte. Entretanto, é oportuno debater com os estudantes algumas situações envolvendo objetos que não possuem uma distribuição de massa homogênea.

Condições de equilíbrio de um corpo rígido

Em um corpo rígido, existem duas

.....
Anaximandro Dalri Merizio

Mestrando em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil e Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Tijucas, SC, Brasil

E-mail: anaximandro@sc.senai.br

e
Carlos Alberto Souza
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Campus Itajaí, SC, Brasil

.....

O artigo aborda a construção de pontes de macarrão realizada por estudantes do segundo ano do Ensino Médio, durante o ensino de estática, procurando aproximar o ensino de física de situações vivenciais, que fazem parte da vida do estudante. Além disso, identifica os conceitos físicos e matemáticos utilizados na atividade e realiza alguns apontamentos para que outros docentes utilizem esta proposta.

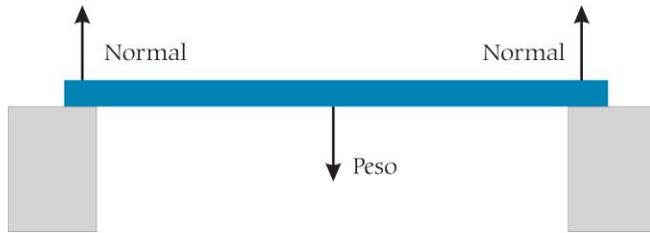


Figura 1 - Forças que atuam sobre a base de uma ponte.

condições para que o corpo esteja em equilíbrio: 1 - A força resultante sobre o corpo deve ser nula, e 2 - o torque (ou momento da força resultante) resultante em relação a qualquer ponto deve ser igual a zero [4]. A primeira condição relaciona-se com o movimento de translação e o segundo relaciona-se com o movimento de rotação. Na construção das pontes objetiva-se a existência de um equilíbrio estático, sem rotações nem translações.

Descrição da atividade

A atividade de construção de pontes de macarrão foi realizada durante as aulas da disciplina de física, com carga horária de três aulas semanais, concomitantemente com o estudo do assunto condições de equilíbrio de um corpo rígido.

As pontes de macarrão, projetadas e construídas, possuíam algumas dimensões previamente definidas durante a elaboração do projeto. O comprimento da ponte ficou estabelecido entre 60 a 80 cm, com uma largura entre 5 e 15 cm. Já a altura da ponte não foi previamente estabelecida, pois esta grandeza foi debatida pelos estudantes na fase de elaboração do projeto, tendo em vista a quantidade de material disponível. Além disso, apresentamos os materiais disponibilizados para cada equipe: no mínimo 1 kg e no máximo 2 kg de macarrão do tipo espagete número 7, colas do tipo epóxi, cola

quente ou cola branca. Não foi permitida a utilização de outros materiais.

Etapas realizadas para o desenvolvimento do projeto

Cada turma foi dividida em equipes entre 4 e 6 estudantes, resultando em um total de 13 equipes. Realizou-se a construção da ponte em três etapas: elaboração, execução e apresentação do projeto. Na elaboração do projeto, os estudantes, já divididos em equipes, realizaram algumas pesquisas na internet e em livros e, após este momento, procuraram elaborar um projeto da ponte, também levando em

consideração os conhecimentos da física obtidos na sala de aula. Foram utilizadas duas aulas para a elaboração de um projeto - um desenho, esquema, diagramas de forças - da futura ponte. Ao final das duas aulas, os estudantes entregaram o projeto de construção da ponte em cartolina ou papel A4 (com a escala devidamente elaborada). O professor teve o papel de instigar o grupo, questionar sobre as suas opções, auxiliando nos caminhos a serem seguidos. Neste momento, observou-se a utilização de muitos conceitos abordados em sala de aula, ao longo do primeiro e do segundo ano do Ensino Médio. Tal discussão envolveu conceitos físicos importantes como força, peso, centro de gravidade e condições de equilíbrio, além da necessidade da utilização de alguns conhecimentos da geometria e trigonometria.

Resalta-se que antes da execução do projeto, os estudantes determinaram as dimensões da ponte, altura, largura, vigas de sustentação, de modo a estarem dentro das orientações fornecidas pelo professor. A execução do projeto (Fig. 3),

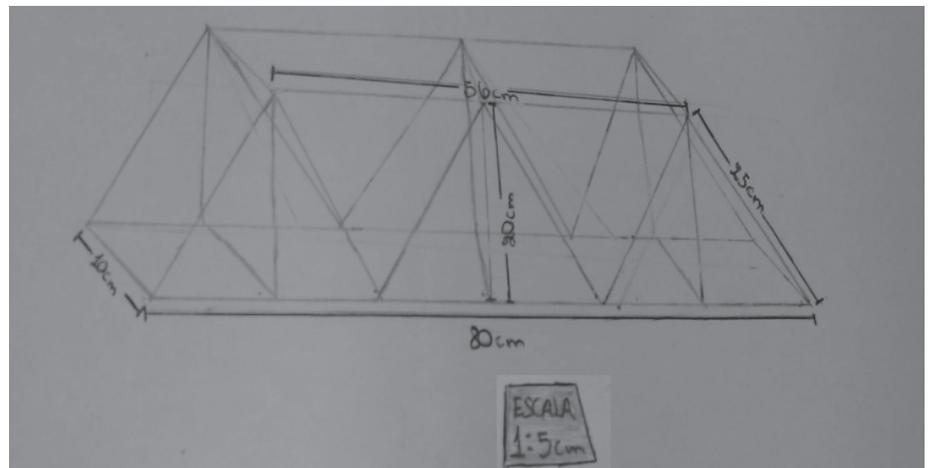


Figura 2 - Um dos projetos desenvolvidos pelos estudantes.



Figura 3 - Construção da ponte por parte dos estudantes.

outra importante etapa, foi realizada ao longo de quatro aulas. Os estudantes construíram toda a ponte no período em que estavam na escola, objetivando uma participação ativa do estudante na atividade.

Neste sentido, todos os estudantes debateram algumas questões cruciais como, por exemplo, qual o tamanho das “vigas de sustentação” para evitar que a ponte se quebrasse. Para a apresentação da ponte (Fig. 4) destinou-se uma aula, onde os estudantes apresentaram, para os demais estudantes, as pontes construídas. Na apresentação, determinou-se qual a força máxima suportada pelas pontes (Fig. 5).

Tomemos como exemplo a ponte da esquerda na Fig. 5, que possuía massa igual a 2 kg. Verificou-se que a ponte suportou sobre a sua estrutura, até se perceber sua deformação, um total de 24 kg. Podemos concluir então que a ponte conseguiu suportar, nestas condições, 12

vezes o seu peso. Este resultado propiciou um debate em sala sobre quais seriam as alternativas para melhorar os resultados obtidos.

Conclusão

A utilização de pontes de macarrão pode representar uma alternativa para inovar a prática pedagógica, auxiliando na motivação do estudante no processo educacional e melhorando a aprendizagem. Além disso, possibilita a utilização de conceitos da física em uma situação real, o que não acontece na maioria das situações propostas no atual ensino de física. Se o professor, entretanto, não dispuser de muito tempo para a atividade em virtude da carga horária da disciplina, em algumas etapas pode-se solicitar ao estudante para que as realize em um horário externo ao horário escolar.

Essa atividade possibilita também a utilização de conhecimentos de outras disciplinas como de matemática, pois o estu-

dante deve utilizar elementos da geometria e trigonometria no projeto. Essa articulação é corroborada pelos PCNs [1, p. 9], quando afirma que é oportuna “a articulação o conhecimento físico com conhecimentos de outras áreas do saber científico”.

A inserção dos estudantes em atividades em grupo, onde eles elaboram hipóteses, debatem com os colegas as suas idéias sobre os problemas apresentados é outro resultado desse tipo de atividade. Observamos que os estudantes utilizaram diferentes estratégias para a construção das pontes. Alguns elaboraram todas as peças separadamente para posteriormente construírem a ponte, como em uma espécie de quebra-cabeça. Outros construíram primeiramente a base da ponte para posteriormente realizarem as correções necessárias e desenvolverem o restante das estruturas. Este é um dado interessante que auxilia no planejamento de atividades posteriores.

Nota

¹O Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul realiza, desde 2004, a Competição de Pontes de Espaguete. Para maiores informações recomenda-se acessar www.ppgec.ufrgs.br/segovia/espaguete.

Referências

- [1] Brasil, *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio* (Ministério da Educação, Brasília, 1999).
- [2] C.A. Souza, *Investigação-Ação Escolar e Resolução de Problemas de Física: O Potencial dos Meios Tecnológicos Comunicativos*. Tese de Doutorado, PPGE/UFSC, Florianópolis, 2004.
- [3] J.A. Angotti, C.A. Souza e F.P. Bastos, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **25**, 310 (2008).
- [4] P. Tipler, *Física para Cientistas e Engenheiros, v. 1* (Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 2000), 4ª ed.



Figura 4 - Apresentação das pontes.



Figura 5 - Testes da resistência da ponte.





Ferramentas online no ensino de ciências: uma proposta com o Google Docs

.....
Leonardo Albuquerque Heidemann
E-mail: leonardo@heidemann.com.br

Ângelo Mozart Medeiros de Oliveira
E-mail: angelo.mozart@ufrgs.br

Eliane Angela Veit
E-mail: eav@if.ufrgs.br

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

Enquanto o mundo se modifica com rapidez surpreendente em decorrência, principalmente, do acelerado desenvolvimento tecnológico, a sala de aula pouco evolui, mantendo, de modo geral, os mesmos métodos utilizados há séculos [1]. É consensual entre os professores que isso tem de ser mudado, que a escola precisa se tornar condizente com as necessidades da sociedade atual. Como fazê-lo? Em que ritmo? Qual o papel dos recursos tecnológicos nessa transformação? Como e quando dar-se-á uma verdadeira revolução no ensino? Essas são questões relevantes cujas respostas não são imediatas e que não nos propomos a aprofundar neste trabalho. Nosso pressuposto é que já no atual momento, com as atuais condições infraestruturais, ferramentas digitais poderiam estar auxiliando mais aos professores se eles tivessem maior conhecimento de suas potencialidades. Esse trabalho pretende contribuir no sentido de abrir novos horizontes aos professores, ao discutir a chamada revolução da Web 2.0 e apresentar-lhes algumas possibilidades de aplicativos gratuitos de grande potencial para facilitar-lhes tarefas, tanto as diretamente relacionadas ao seu objetivo maior

Enquanto o mundo se modifica com rapidez surpreendente em decorrência do acelerado desenvolvimento tecnológico, a sala de aula pouco evolui, mantendo, de modo geral, os mesmos métodos utilizados há séculos

A Web 2.0 provocou uma grande revolução na forma como as pessoas interagem com o computador. Com ela, um grande leque de ferramentas foi desenvolvido com o intuito de promover a colaboração entre os internautas. No entanto, as potencialidades desses recursos ainda são pouco exploradas no ensino de física. Neste trabalho, discutimos a chamada Web 2.0 e apresentamos algumas possibilidades de aplicativos gratuitos (em especial, o Google Docs) que apresentam grande potencial para auxiliar os professores, tanto nas tarefas diretamente relacionadas ao seu objetivo maior - contribuir para a aprendizagem dos alunos - quanto nas relacionadas à avaliação, levantamentos de opinião, levantamentos sócio-econômico-culturais, e organização do material didático.

- contribuir para a aprendizagem dos alunos - quanto relacionadas à avaliação, levantamentos de opinião, levantamentos sócio-econômico-culturais e organização do material didático.

Um pouco sobre a Web 2.0

Mas o que é Web 2.0? Não existe um conceito "fechado" para Web 2.0. Ela não está ligada a qualquer especificação técnica nem em *software* nem em *hardware*; está diretamente relacionada ao "como usar" o

que já existe. A companhia O'Reilly Media cunhou a expressão Web 2.0 em 2004, representando uma nova forma de pensar a *web*. No entanto, a *web* já havia experimentado mudanças significativas antes disso [2].

Tim Berners-Lee vislumbrou uma *web* sem barreiras por volta de 1990. Através de um navegador (*browser*), a informação seria universal e baseada em hipertextos, ou seja, textos em formato digital que agregariam outros textos, imagens e sons, conectados via nós (*hiperlinks*). Entre os anos de 1990 a 2000 (Web 1.0) ocorreu a popularização da *web* como um meio pelo qual as pessoas tinham acesso à informação. No entanto, essa informação era disponibilizada apenas por desenvolvedores de páginas (*web designers*), ou seja, a internet apresentava limitada interatividade caracterizada como algo essencialmente "para leitura".

Por volta de 1995, a *web* vivenciou um crescimento sem precedentes. Passou a ser vista como uma plataforma de negócios e,

com isso, surgiram empresas como eBay e Amazon, hoje potências mundiais no comércio digital. Esta "era" marca o início dos sistemas gerenciadores de conteúdo (CMS) e de outras ferramentas para desenvolvimento da *web*, como os editores de HTML.¹

Frente à necessidade de páginas mais dinâmicas, este novo paradigma (Web 1.5) possibilitava a atualização de *sites* modificando apenas algumas informações em um banco de dados sem a necessidade de sólidos conhecimentos de programação para isso.

O Wikipédia é um *site* representativo da nova tendência denominada Web 2.0. Nessa "onda" surgem ainda as redes sociais e os *blogs*, que suscitam uma nova forma de interatividade modificando o que antes era visto como uma "mão-única",

onde o usuário era apenas o receptor da informação. Seu desenvolvimento foi sustentado pelo desenvolvimento de muitas ferramentas que protegem o usuário de toda a abstração envolvida na criação de páginas. Podemos então caracterizar a Web 2.0 como uma tendência por parte dos desenvolvedores de planejar a colaboração e a interatividade dos usuários com a *web*, assim como ferramentas para tal fim.

Neste artigo, vamos nos focar em algumas das ferramentas que surgiram em um primeiro momento com a intenção de “facilitar a vida” do internauta, mas que também são de grande utilidade para professores, tanto de física quanto de outras disciplinas. Páginas como o YouTube, Blogspot, Google Sites e a Wikipedia são exemplos de páginas criadas com o intuito de aumentar a interatividade e a colaboração entre os internautas. No caso específico do YouTube, por exemplo, a meta principal era a diversão e a ideia de publicar vídeos pessoais agradou em cheio aos internautas. No entanto, não é difícil imaginar que o YouTube pode-se constituir em um utilitário com grande potencial para o ensino, pois, através dele, um professor pode disponibilizar suas aulas ou ainda solicitar aos alunos a criação de vídeos como tarefa curricular.

Não desprezando a importância dos *blogs*, *wikis* e *podcasts*, que são as ferramentas mais utilizadas atualmente em um cenário de ensino, optamos por discutir neste artigo o Google Docs, porque ele comporta algumas interessantes possibilidades não oferecidas por outros aplicativos, e, tanto quanto temos observado, não têm sido explorado pelos professores. Em particular, vamos detalhar melhor o uso do Google Forms, que pode-se constituir em um meio de dar “voz ao aluno” *online*, de modo tal que suas opiniões sejam imediatamente organizadas em tabelas e gráficos estatísticos, facilitando enormemente o trabalho do professor. Neste sentido, discutiremos algumas de

Podemos caracterizar a Web 2.0 como uma tendência por parte dos desenvolvedores de planejar a colaboração e a interatividade dos usuários com a web, assim como ferramentas para tal fim

suas potencialidades para o uso direcionado ao ensino, as vantagens desse uso e formas de contornar algumas de suas limitações.

O Google Docs

Focado na filosofia Web 2.0, o Google Docs (<http://docs.google.com>) é um pacote de aplicativos gratuito que permite a edição colaborativa, disponibilização, *backup* e portabilidade de arquivos. Com funcionamento semelhante aos habituais pacotes de aplicativos para escritório, o

Google Docs é constituído por cinco aplicativos, até o momento:

- Google Documents: para a edição colaborativa de textos;
- Google Spreadsheets: para a edição colaborativa de planilhas eletrônicas;
- Google Forms: para a confecção de formulários online;
- Google Presentations: para a edição colaborativa de apresentações de *slides*.
- Google Drawings: para a edição colaborativa de desenhos.

Uma das vantagens do seu uso é o fato de que os arquivos criados com o Google Docs ficam armazenados no servidor do Google. Com isso, o usuário pode ter acesso aos seus documentos a partir de qualquer computador conectado à internet. É possível ainda o *upload* (envio ao servidor do Google) de arquivos do computador do usuário, tornando-os igualmente acessíveis em outras máquinas igualmente conectadas.

Os arquivos armazenados por meio do Google Docs podem ser compartilhados com outros usuários. O padrão é o não-compartilhamento, ou seja, ninguém além do usuário que cria o arquivo tem acesso a ele no momento em que o mesmo foi criado (ou enviado ao Google Docs). Outros usuários só obterão acesso aos arquivos se forem convidados pelo seu autor. Estes convites podem apresentar diferentes características dependendo do seu tipo: leitor, editor ou proprietário. Como o próprio nome revela, os leitores só podem

acessar os documentos para lê-los, não possuindo autorização para produzir qualquer tipo de modificação nos arquivos. Os editores, ao contrário dos leitores, além de visualizarem os arquivos, podem modificá-los. A limitação deste tipo de convidado está em não poder apagar os arquivos compartilhados, que é uma ação só permitida aos proprietários. Os editores, dependendo do tipo de convite que receberem, podem ou não obter autorização para convidar outros usuários para editar ou ler o arquivo. Já os proprietários sempre têm essa permissão, enquanto os leitores nunca podem receber tal concessão. Os convites que porventura venham a ser realizados são independentes, ou seja, um

Não desprezando a importância dos blogs, wikis e podcasts, que são as ferramentas mais utilizadas atualmente em um cenário de ensino, optamos por discutir o Google Docs porque ele comporta algumas interessantes possibilidades não oferecidas por outros aplicativos

convidado pode ter permissões completamente diferentes dos demais convidados.

Frente às funcionalidades do Google Docs, diversas são as possibilidades de uso pedagógico. Uma delas é a produção colaborativa de textos. O Google Documents permite que duas ou mais pessoas editem um texto, possibilitando inclusive a inserção de caixas de comentários, semelhante ao que é feito nos editores de texto usuais. Nesse contexto, o professor pode acompanhar e fazer observações em trabalhos propostos aos seus alunos (um tutorial sobre Google Documents consta na Ref. [3]).

Outra possibilidade é a construção colaborativa de planilhas eletrônicas, com o uso do Google Spreadsheets, como ilustrado na Fig. 1, onde se visualizam dados coletados em experiências. Mais uma sugestão de uso para planilhas colaborativas seria o professor propor aos seus alunos um levantamento

de sítios que tratem de divulgação científica, tornando a atividade organizada e acessível a todos os alunos de forma prática e rápida. Além disso, essa planilha pode ser incorporada em um sítio, tornando-a pública.

Qualquer alteração realizada no arquivo no servidor do Google automaticamente é reproduzida no sítio onde foi incorporado. Isto vale também para textos e apresentações de *slides*.

Caso o usuário não disponha de um sítio ou *blog*, o Google Docs apresenta a opção de publicação com apenas um clique. Em “Obter o link para compartilhamento”, o Google Docs fornece um endereço URL da internet,² onde o arquivo é disponibilizado. Com isso, qualquer navegador de internet pode carregá-lo. Cabe destacar que esse procedimento pode ser feito com qualquer documento, inclusive com os que não são produzidos no Google Docs (desde que seja feito o *upload* destes arquivos). Para fins de disponibilização, estes arquivos podem estar em qualquer

Google docs Efeito Fotoelétrico _Experimento real

	A	B	C	D
2		Curva		Característica
3	D= 25 cm			D=35 cm
4	V (V)	If (micro A)		V (V)
5	0	0,62		0
6	2,1	1,86		2,118
7	4,15	2,2		4,07
8	6,18	2,43		6,19

Figura 1 - Exemplo de uma planilha compartilhada [4].

formato, não sendo limitado a arquivos de texto, planilhas eletrônicas ou apresentações de *slides*. Com isto, mesmo aqueles professores que não possuam amplos conhecimentos em informática podem tornar seus materiais acessíveis aos alunos para que eles possam visualizá-los em qualquer lugar e a qualquer momento.

Em geral, devido ao grande número de alunos, os docentes gastam muito tempo na correção de avaliações, tendo de manipular muitas vezes enormes pilhas de documentos. O Google Forms pode facilitar muito tal tarefa substituindo as provas em papel por um formulário *online* que permite a coleta organizada das respostas, poupando tempo do professor e dando-lhe melhores condições para fazer análises comparativas. As respostas coletadas podem ser apresentadas em tabela ou em gráficos. Um exemplo será apresentado na próxima seção.

Vistas as possibilidades de uso, apontamos algumas vantagens atribuídas ao Google Docs:

- Portabilidade (possibilita o acesso de qualquer local ou horário);
- Economia de espaço no disco rígido (não ocupa espaço no computador do usuário);
- Custo (é gratuito, ou seja, *freeware*);
- Facilidade de uso (não requer conhecimentos de programação);
- Apresenta interface amigável (semelhante aos aplicativos usuais).

Poucas pesquisas foram desenvolvidas com o intuito de avaliar os impactos do uso do Google Docs como ferramenta pedagógica. No entanto, os autores acreditam que tais aplicativos têm potencial para promover maior engajamento dos discentes e estimular o trabalho colaborativo, o que é uma possível vantagem do seu uso.

Usando o Google Forms

Avaliações de aprendizagem e levantamentos de opiniões podem ser facilmente implementados no Google Forms, conforme detalhadamente descrito no tutorial que elaboramos e disponibilizamos na Ref. [3]. Nas Figs. 2 a 8 ilustramos os tipos de questões disponíveis.

Para todos os tipos de questão, há a possibilidade de tornar a(s) pergunta(s) obrigatória(s), de modo que o questionário só poderá ser enviado se todas as questões obrigatórias estiverem respondidas.

O formulário construído pode ser disponibilizado através de um endereço (URL) e, quando preenchido pelos respondentes, as respostas aparecem imediatamente na página do Google Docs do usuário que o criou.

Qual o seu nome?

Figura 2 - Questão do tipo “texto”, apropriada para respostas que não exijam mais de uma linha, como, por exemplo, para a identificação do aluno.

Essa é uma das principais vantagens no uso do Google Forms: a visualização dos dados coletados. As respostas aparecem organizadas em uma tabela semelhante à apresentada na Fig. 1, onde cada coluna corresponde às resoluções de uma questão e cada linha corresponde a um respondente. Essa planilha pode ser exportada em diversos formatos, inclusive como uma planilha Excel. Outra forma de visualização é através da opção “resumo das respostas”. A Fig. 9 apresenta um exemplo desta forma de apresentação.

Algumas limitações do Google Docs

Conhecendo algumas possibilidades do Google Docs pode-se perceber facilmente as grandes vantagens do seu uso.

Os eclipses solares ocorrem quando a Lua se interpõe entre a Terra e o Sol. Portanto, este fenômeno só ocorre quando a Lua se encontra em sua fase:

- cheia.
- minguante.
- nova.
- crescente.

Figura 5 - Questão do tipo “múltipla escolha”. O respondente deve escolher uma dentre várias alternativas.

Marque somente as afirmações corretas.

- Uma pessoa dormindo está em repouso absoluto.
- A Lua está em movimento em relação à Terra.
- A Terra está em movimento em relação ao Sol.
- O Sol nunca pode ser considerado um ponto material, pois é muito extenso.
- A Lua pode, dependendo do caso, ser considerada um ponto material.

Figura 6 - Questão do tipo “caixas de seleção”. Permite que o respondente escolha várias alternativas de um dado elenco de opções.

O ponto de partida para a construção do conhecimento científico sempre deve ser a observação e a experimentação.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente				

Modelos científicos apreendem toda a complexidade dos sistemas físicos de interesse.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente				

Figura 7 - As questões do tipo “escala” são ideais para levantamentos de opinião em que se solicita o nível de concordância do respondente com uma determinada afirmativa [5]. O autor do formulário pode escolher qualquer intervalo entre 0 e 10 para os limites de concordância da questão.

Qual a sua turma?

- 101
- 102
- 103
- 104
- 105

Figura 3 - Questão do tipo “escolha de uma lista”. A lista é previamente estabelecida pelo autor do formulário.

No entanto, também há algumas limitações. Como exemplo, podemos citar o fato de o Google Forms ainda não aceitar a inserção de imagens em suas questões. Uma forma de contornar este problema é fazer

Por que é recomendado que a calibragem dos pneus de um automóvel seja realizada somente enquanto os mesmos estiverem frios?

Figura 4 - Questão do tipo “texto do parágrafo” aceita resposta dissertativa que exija mais de uma linha para resposta.

Considere os seguintes fatores: uso de experimentos, uso do computador, trabalho em grupo e interação com o professor. Dentre eles, escolha o que você considera mais importante para:

	Uso de experimentos	Uso do computador	Trabalho em grupo	Interação com o professor
o seu aprendizado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
a sua motivação para aprender	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
auxiliar a sanar suas dúvidas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 8 - Questão do tipo "grade".

Na escola que você tem maior carga horária docente existe laboratório de informática disponível para os alunos?

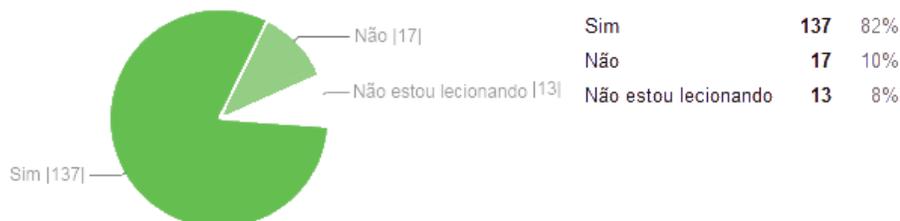


Figura 9 - Exemplo de resumo das respostas de uma questão com três alternativas. O Google Forms informa o número de respondentes em cada alternativa, assim como o percentual.

o *upload* da imagem para o Google Docs, solicitar um *link* de compartilhamento para ela e inserir a URL no enunciado da questão, informando que a pergunta se refere à imagem disponível no citado *link*. Outra limitação do Google Docs refere-se ao fato de que os URL's fornecidos são muito extensos e não apresentam qualquer lógica ao usuário comum, por exemplo, http://spreadsheets.google.com/viewform?key=t3s0oUhcBi_JRIBF8nCydA&hl=pt_BR que dificulta a disponibilização dos formulários e/ou arquivos aos alunos. Tampouco é possível inserir menus ou outras ferramentas gráficas no endereço de publicação. Uma forma interessante de contornar esse inconveniente é utilizar o Google Sites (<http://sites.google.com>). Nele, o usuário pode escolher um domínio do tipo "http://sites.google.com/site/(domínio desejado)" para incorporar o que julgar necessário. Além disso, é possível inserir menus e outras ferramentas gráficas. Dessa forma, o URL terá uma estrutura lógica e simples, tornando fácil a disponibilização dos arquivos e/ou questionários (um tutorial

sobre o Google Sites está disponível na Ref. [3]).

Comentários finais

Nesse trabalho apresentamos o Google Docs, um aplicativo não desenvolvido com a finalidade pedagógica, mas que, como esperamos ter convencido o leitor, pode ser muito útil para o professor. O mesmo pode ser dito sobre o Google Sites e sobre os aplicativos apresentados na Tabela 1.

No curso de especialização em física para a Educação Básica, oferecido a distância pelo Instituto de Física da UFRGS, no âmbito da UAB [6], a disciplina Mídias e Ferramentas Digitais no Ensino da Física [7] teve por objetivo contribuir para a inserção de novas tecnologias no Ensino Médio e estimular uma visão crítica das práticas de ensino em física através do uso da Internet e de objetos de aprendizagem. Nessa disciplina, a maior parte dos professores-alunos mostraram-se surpresos com as potencialidades dessas ferramentas e foram muito receptivos às novas aprendizagens. Usando a autoria como estra-

tégia de aprendizagem, essa disciplina possibilitou que a maior parte dos alunos, embora tomando contato pela primeira vez com essas ferramentas, elaborassem seus próprios objetos digitais, o que em muito contribuiu para a auto-estima dos professores-alunos. Os dois primeiros autores desse trabalho atuaram como tutores nessa disciplina e elaboraram tutoriais sobre essas ferramentas, disponíveis na Ref. [3].

Visto que as tecnologias de informação e comunicação estão presentes no cotidiano dos alunos e que farão parte da sua vida profissional é esperado que elas sejam exploradas nas escolas. Neste sentido, destacamos a importância de os docentes se manterem atentos às possibilidades das ferramentas digitais, independente de elas serem ou não desenvolvidas para fins pedagógicos.

Notas

¹HTML (*HyperText Markup Language*) é uma linguagem de programação utilizada no desenvolvimento de páginas *web*.

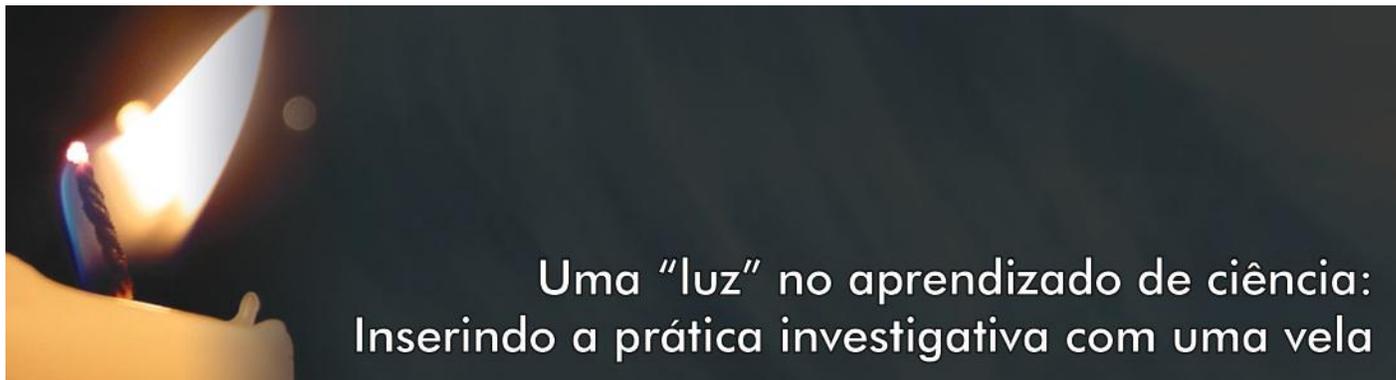
²URL (*Uniform Research Locator*) é o localizador padrão de um recurso (arquivo ou dispositivo) disponível em uma rede.

Referências

- [1] S. Papert, *A Máquina das Crianças. Repensando a Escola na Era da Informática* (Artes Médicas, Porto Alegre, 1994).
- [2] S. Murugesan, in: *Handbook of Research on Web 2.0, 3.0, and X.0: Technologies, Business, and Social Applications: Web X.0: A Road Map*, organizado por S. Murugesan (IGI Global, New York, 2010).
- [3] A.M.M. Oliveira e L.A. Heidemann, *Tutoriais de Mídias e Ferramentas Digitais para o Ensino de Física*. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/midias/ferramentas.html>. Acesso em 8/6/2010.
- [4] M.A. Cavalcante. Laboratório de Estrutura da Matéria da PUC/SP. Disponível em <http://labempucsp.blogspot.com/search/label/Planilha%20compartilhada>. Acesso em 8/6/2010.
- [5] R.V. Brandão, I.S. Araujo e E.A. Veit. *Questionário sobre Ciência, Modelos e Modelagem Científica no Contexto da Física*. Disponível em <http://sites.google.com/site/modelagemcientifica>. Acesso em 8/6/2010.
- [6] Curso de Especialização em Física para a Educação Básica. Disponível em http://www6.ufrgs.br/fisica_uab. Acesso em 8/6/2010.
- [7] I.S. Araujo e E.A. Veit. *Mídias e Ferramentas Digitais no Ensino de Física*. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/midias>. Acesso em 8/6/2010.

Tabela 1 - Ferramentas digitais livres úteis para professores de física.

Ferramenta	Homepage	Finalidade
Jing	http://www.jingproject.com	Captura de imagens e vídeos da saída gráfica do monitor (<i>screenshots</i> e <i>screencasts</i>)
Wink	http://www.debugmode.com/wink	Criação de <i>screencasts</i>
Blogger	http://www.blogger.com	Criação de <i>blogs</i>
Google Sites	http://sites.google.com	Criação de <i>sites</i>
Komposer	http://kompozer.net	Criação de páginas <i>web</i>
YouTube	http://www.youtube.com	Compartilhamento de vídeos



Uma “luz” no aprendizado de ciência: Inserindo a prática investigativa com uma vela

.....
James A. Souza

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

E-mail: jamesfisica@gmail.com

Cleidson S. de Oliveira

Mestrando do Programa de Pós-
Graduação em Ensino de Ciências
Exatas, Universidade Federal de São
Carlos, São Carlos, SP, Brasil
Escola Estadual Prof^a Leonor
Fernandes da Silva, Salto, SP, Brasil
E-mail: cl-santiago@uol.com.br

.....

Ultimamente, em muitos países, várias discussões e reformas curriculares têm dado destaque à importância da prática experimental para o ensino de ciências desde as séries iniciais [1, 2]. O crédito a estas práticas é dado, em grande parte, ao fascínio que a demonstração de alguns fenômenos traz às pessoas por meio da mídia ou feiras de ciências.

Geralmente os professores de ciências atribuem a dificuldade da implementação de aulas práticas à falta de tempo para preparação das atividades, falta de recursos para manutenção dos laboratórios da escola e à carência dos livros didáticos para a orientação das práticas. Outro fator importante para o não sucesso destas atividades é a aplicação do método tradicional de ensino decorrente de materiais e instalações já existentes, onde os alunos são conduzidos passo a passo de maneira mecânica, sem qualquer questionamento ou reflexão, do começo ao fim da atividade proposta. Uma das preocupações atuais é a explicação de fenômenos a partir de materiais didáticos que ofereçam mais espaço para a ação independente e criadora dos estudantes [3, 4].

Temos então um grande desafio no ensino de ciências que reside em como e quando inserir a análise de experimentos científicos na escola. Seria mesmo esta prática imprescindível para aprender ciências? Certamente, para estabelecer a aprendizagem em ciências, a prática experimental pode ser um complemento essencial desde

que seja bem articulada para as questões colocadas. Esta pode facilitar o contraste da abstração científica com a realidade, manter o aluno em contato com novas

tecnologias ou, como bem mencionado por Marie Geneviève e cols. [5], estabelecer relações entre referencial empírico (realidade), conceitos, leis e teorias. Mas devemos estar cientes de que não há necessidade de um laboratório com equipamentos sofisticados para que uma aula prática de ciências seja bem sucedida. O trunfo de uma aula não está na estruturação física da mesma, mas na aprendizagem do aluno. Como o professor do ensino fundamental e médio poderia então trabalhar os recursos próprios da ciência como observação, formulação de hipóteses, experimentação, análise, etc, para explorar o desejo de conhecer e interagir inerentes dos alunos nestes níveis de ensino?

Partindo da concepção de que a aprendizagem no ensino de ciências não é apenas aprender sobre as ciências, mas também fazer ciências [6], podemos explorar o mundo a nossa volta de uma maneira rica e simples mesmo nas séries iniciais. Quando olhamos para um objeto de uma maneira cuidadosa é fácil perceber que qualquer objeto pode ser explorado cientificamente. Neste tipo de desenvolvimento, o professor é a peça principal para sua consolidação, deixando de executar aulas instrucionais e transformando o livro em

uma ferramenta de consulta, de forma que este não seja utilizado como objeto obrigatoriamente norteador com argumentos de autoridade. Neste trabalho exploraremos o que podemos abstrair em termos da prática investigativa da ciência uti-

Os professores de ciências atribuem a dificuldade da implementação de aulas práticas à falta de tempo para preparação das atividades, falta de recursos para manutenção dos laboratórios da escola e à carência dos livros didáticos para a orientação das práticas

lizando apenas uma vela. Não pretendemos mostrar como o ensino de ciência deve ser desenvolvido em sala de aula do ponto de vista pedagógico, apenas ofer-

Este trabalho mostra como é possível explorar em sala de aula diversos fenômenos e conceitos científicos de forma interessante e eficiente a partir de simples experimentos utilizando-se como principal ingrediente uma vela. O objetivo é mostrar que é possível introduzir no ensino de ciências em qualquer nível de ensino de maneira fácil e divertida, explorando a prática investigativa inerente da ciência independentemente se a escola dispõe ou não de muitos recursos.

tamos um exemplo de como a inserção da ciência nas séries iniciais pode ser fácil e divertida.

Introduzindo o assunto

Uma maneira interessante de introduzir um determinado assunto relacionado à ciências para séries iniciais é explorando a curiosidade dos alunos, evidenciada pelas diversas perguntas e pelo interesse em como as coisas funcionam.

No caso da vela, poderíamos apresentá-la em sua utilidade como fonte de luz que ilumina de maneira agradável e singela o ambiente quando acaba a energia de

A convecção ocorre tipicamente em um fluido, como o ar ou a água, e se caracteriza pelo fato de que o calor é transferido pelo movimento do próprio fluido

nossas residências, por exemplo, iniciando com alguns questionamentos: Do que são feitas as velas? Como elas funcionam? Por que sua chama tem diferentes tonalidades? Por que sua chama tem aquele determinado formato? O que alimenta a chama de uma vela? Ela tem um combustível? Por que seu pavio não queima rapidamente? Estas e outras são questões que a princípio parecem ser muito simples de serem respondidas, mas que na verdade podem nos conduzir a diversas dúvidas demandando uma análise cuidadosa para conseguir as respostas.

Mãos à obra

Vamos iniciar nossa investigação falando sobre o que ocorre com o ar em volta da vela para mantê-la acesa. Durante esta discussão vamos tentar introduzir alguns conceitos científicos de maneira simples, para não frustrar a descrição dos fenômenos envolvidos no funcionamento da vela. Devido às diferenças existentes entre as escolas da rede pública em confronto com a rede particular, no que diz respeito à estrutura e até mesmo ao nível de escolaridade dos alunos, é inevitável que o professor forneça maiores detalhes ou diferentes abordagens para a descrição de alguns conceitos.

Quando acendemos uma vela, é comum passarmos a mão sobre sua chama e verificarmos que há um fluxo de ar ascendente bastante aquecido. Este fato está relacionado à transmissão de calor por convecção. A convecção ocorre tipicamente em um fluido, como o ar ou a água, e se caracteriza pelo fato de que o calor é transferido pelo movimento do próprio fluido, constituindo as chamadas correntes de convecção. Este tipo de transmissão de calor pode ser classificado a partir da causa que dá origem ao escoamento do fluido. Se as correntes de convecção são

causadas por diferenças de densidade provocadas por gradientes de temperatura dentro do fluido sob o efeito gravitacional (forças de empuxo), diz-se que a convecção é *natural* ou *livre*. Se o escoamento é mantido por algum dispositivo mecânico, como uma bomba ou um ventilador, as correntes de convecção são *forçadas*.

Note a quantidade de conceitos que introduzimos apenas neste parágrafo como transmissão de calor, convecção, fluido, densidade, gradientes de temperatura e empuxo, sem contar que poderíamos falar sobre o processo de combustão do sistema. Tudo isso foi possível ser introduzido e

poderá ser analisado apenas com uma vela. Vamos tratar agora da convecção natural e mostrar que este fenômeno é essencial para manter a vela acesa. Para isto vamos fazer um experimento, no qual utilizaremos os seguintes materiais:

- Velas;
- Fósforos;
- Tubos de vidro de extremidades abertas em diferentes comprimentos e diâmetro de aproximadamente 3 cm;
- Pequenas bases de metal, madeira, nylon ou PVC (opcional);
- Lâminas de metal em forma de T;
- Incenso.

Antes de iniciar o experimento vamos nos atentar à seguinte curiosidade, que é comumente observada. Quando acendemos uma vela e a tapamos com um copo, observa-se que a vela se apaga em pouco tempo. Muitas pessoas desvendam o segredo facilmente, dizendo que para manter a chama “viva” ou acesa é necessário oxigênio, portanto, quando o oxigênio dentro do copo acaba a vela se apaga. Mas

e se colocarmos um tubo de vidro aberto sobre a vela, o que acontece? Outros poderiam responder, a vela se manterá acesa porque desde tempos remotos tubos abertos eram utilizados para proteger a chama de velas contra o vento, por exemplo. Mas será que para qualquer tamanho de tubo a vela se mantém acesa? E o que isto teria a ver com a quantidade de oxigênio disponível para a combustão e as correntes de convecção citadas anteriormente? Vamos ao experimento.

Nesta demonstração utilizamos três tubos de vidro de diferentes comprimentos, 20, 25 e 30 cm, para tentar descobrir se há alguma influência da altura do tubo com a eficiência da convecção. Uma alternativa para os tubos é o uso de vasos para flores artificiais. Neste caso, é necessário que a base do vaso seja cortada para que o tubo fique aberto. Nunca utilize tubos de lâmpadas fluorescentes, pois, além de possuir vapor de mercúrio, que é altamente tóxico, possuem paredes muito finas o que inviabiliza um corte preciso. Outro cuidado interessante é isolar os cortes do tubo de vidro com fita isolante (Fig. 1a) ou outro material compatível.

Como mostra a Fig. 1a, as três bases para as velas foram feitas com materiais diferentes: madeira, PVC e metal, para mostrar a variedade de materiais que podem ser utilizados para a realização do experimento. Para evitar acidentes, não utilize materiais que possam queimar como isopor e papelão. Note que a base deve encaixar na parte inferior do tubo (Fig. 1b) para evitar a entrada de qualquer fluxo de ar que possibilite a alimentação da chama por esta região. O tubo que utilizamos tem precisamente 3,2 cm de diâmetro interno e o encaixe da base foi feito com 3 cm de diâmetro de modo que seja possível remover o tubo com facilidade. A altura do encaixe pode ser de aproxi-



Figura 1 - (a) Materiais utilizados para a realização do experimento sobre convecção. A fita isolante colocada nas extremidades dos tubos é para isolar o corte do vidro. (b) Configuração do experimento.

madamente 2 cm.

Para as lâminas de metal podem-se utilizar sobras de calha de zinco, destas colocadas em telhados de residências. Estas devem ser cortadas em forma de T para que seja possível apoiá-las na parte superior do tubo sem encostar-se à vela. A extremidade inferior da lâmina pode ficar 4 cm acima da superfície da base. Nestes 4 cm será colocada a vela que pode ter uns 2 cm de altura, já que o comprimento da chama é de aproximadamente 2 a 2,5 cm. Se a extremidade superior da *chama* encostar-se à lâmina não há problema, o único inconveniente é o aquecimento da mesma, mas atenção neste detalhe: a lâmina não pode encostar-se ao *pavio* da vela. Quando algum material de grande porte, como a lâmina, mantém contato com o pavio, a vela se apaga, pois o material “rouba” calor da chama. Se o material for um metal, como neste caso, o processo ocorre mais rapidamente já que os metais são bons condutores de calor. Você pode verificar isto! Após efetuar todo o trabalho a configuração do experimento deve ser parecida com a mostrada na Fig. 1b. Agora a curiosidade deve estar focada na utilidade da lâmina de metal, que ficará clara à medida que formos descrevendo o experimento e entendendo o processo de convecção.

Primeiramente fixe as velas nas bases e em seguida acenda todas. Coloque os tubos sobre as velas do menor para o maior. Verifica-se que a vela do tubo maior (30 cm) se apaga rapidamente enquanto que a do tubo médio (25 cm) se mantém por um tempo razoável de cerca de 1 minuto. Já a vela do tubo menor (20 cm) não se apaga, veja Fig. 2. Este último tubo é muito interessante, porque nos dá a impressão de que a chama da vela desaparece como se tivesse apagado, mas a mesma volta a brilhar com vivacidade. Podemos perceber claramente a chama aumentando e diminuindo com o tempo.

Vamos entender o que está acontecendo. Sem o tubo, o processo de convecção natural na vela ilustra claramente o princípio de Arquimedes, pois como a mistura de ar aquecido pela chama e os produtos da combustão se expandem, estes possuem menor densidade que o ar que ocupa toda a vizinhança da vela. Pela influência da gravidade, o gás de menor densidade é deslocado para cima pelo ar de maior densidade que desce, fornecendo

O sentido da convecção depende de pequenas assimetrias em torno da extremidade da partição próxima à chama da vela, mesmo quando esta é colocada exatamente no meio do tubo. Uma vez que a convecção se dê em um sentido, ela se manterá neste sentido até a vela se extinguir; seu sentido inicial é completamente indeterminado



Figura 2 - Observação da influência da altura do tubo no funcionamento da vela.

o oxigênio necessário para continuar o processo de combustão da vela. Este processo pode ser ilustrado colocando uma bolinha de isopor imersa em uma vasilha com água: quando a abandonamos nós a vemos subir, pois esta possui menor densidade que a água. No momento em que o tubo é colocado a mistura de ar ascendente interfere com o ar descendente próximo ao topo do tubo devido à sua própria viscosidade. Sendo assim, a convecção natural não alcança o nível da chama da vela para o tubo de 30 cm, diferentemente do tubo de 20 cm. Para tornar esta explicação convincente, vamos visualizar este processo de escoamento do ar (convecção) utilizando a lâmina de metal e o incenso.

Coloque o tubo maior sobre a vela acesa e introduza rapidamente a lâmina. Verifica-se que a chama não se apaga

como antes, mostrando que a lâmina restabeleceu o processo de convecção. A introdução da lâmina dividiu o tubo em duas partições, com o gás aquecido (menor densidade) subindo de um lado e o ar de maior densidade descendo do outro, proporcionando o fluxo

de oxigênio na vela. Acenda agora o incenso e aproxime-o das partições no topo do tubo. Verifica-se que de um lado a fumaça irá subir, mostrando que de fato há um fluxo ascendente, e do outro a fumaça irá penetrar no tubo sendo sugada em direção à chama como se o tubo fosse uma trompa. Na Fig. 3 utilizamos um pedaço

de estopa embebido em nitrogênio líquido para obtermos um volume maior de fumaça e sua visualização foi melhorada com uma ponteira laser de cor verde. A visualização do fenômeno com a fumaça produzida pelo incenso é totalmente satisfatória para demonstrações em sala de aula.

Agora poderia surgir a pergunta: quando a lâmina é introduzida em que sentido a convecção é estabelecida, horário ou anti-horário? O sentido da convecção depende de pequenas assimetrias em torno da extremidade da partição próxima à chama da vela, mesmo quando esta é colocada exatamente no meio do tubo [7]. Uma vez que a convecção se dá no sentido horário (anti-horário), a mesma se manterá neste sentido até a vela se extinguir, portanto o sentido é completamente indeterminado. Semelhantemente a isto, não podemos determinar o sentido em que a água irá escoar em uma pia ou banheira quando seu dreno for aberto. Neste caso o sentido é determinado por imperfeições na superfície da pia que provocam pequenos vórtices na água no momento de seu escoamento. Muitas pessoas confundem este fenômeno creditando-o às forças de Coriolis dizendo que a água espirala por um dreno no sentido horário em um hemisfério, Norte ou Sul, e no sentido anti-horário em outro, mas isto é um mito.

A força de Coriolis é uma força de inércia que atua em um corpo em movimento em relação a um referencial girante. A Terra é um referencial deste tipo devido à sua rotação. Os desvios produzidos pelas forças de Coriolis em relação ao sentido do movimento nos hemisférios Norte e Sul são observados em fenômenos de grande magnitude, tais como a erosão das margens de rios, correntes oceânicas, desgastes mais rápidos dos trilhos direito ou esquerdo de estradas férreas, deslocamento de massas de ar, entre outros [8]. Um exemplo clássico e que pode ser a causa da confusão sobre as consequências destas forças é a tendência de ciclones girarem no sentido anti-horário no hemisfério Norte e no sentido horário no hemisfério Sul. Em uma pia ou banheira estes efeitos são completamente desprezíveis. Agora o leitor, professor ou aluno, deve estar pensando o que este parágrafo tem a ver com a vela. Na verdade colocamos este trecho para mostrar que podemos utilizar o assunto que está sendo tratado como base para outras curiosidades como a desmistificação do escoamento da água em uma banheira. Pode-se aproveitar a discussão para inserção de novos conceitos e assuntos curiosos como a força de Coriolis que,

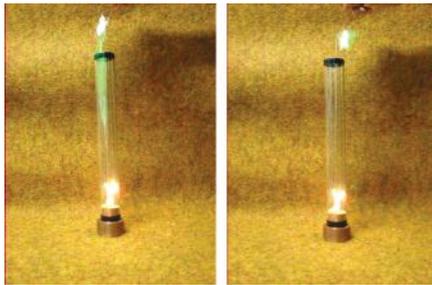


Figura 3 - Peça de estopa embebido em nitrogênio líquido e fumaça iluminada com uma ponteira laser de cor verde para melhorar a visualização da convecção que é restabelecida quando a lâmina de metal é introduzida no tubo de 30 cm. À esquerda temos a sucção do ar de maior densidade e à direita observa-se que há um fluxo de ar ascendente.

de certa forma, está presente no nosso dia a dia. Quando ensinamos ciências não é necessário seguirmos uma ordem rigorosa de tópicos como é mostrado nos livros ou apostilas didáticas. Mesmo que determinados assuntos sejam tratados em outro momento do curso de ciências podemos ir acostumando os alunos, pois as demonstrações podem nos ajudar a pensar e enxergar analogias em diferentes situações.

Voltando à vela, vimos que para o estabelecimento de fluxos convectivos naturais é necessária a existência de gravidade. Este processo explica também o porquê do formato alongado e as diferentes tonalidades da chama da vela. A combustão se dá na base da chama onde a mesma é abastecida com oxigênio apresentando uma cor branco-azulada e uma temperatura $T > 1250\text{ °C}$ [9]. Logo acima desta região observamos uma cor castanha-avermelhada próximo à extremidade superior do pavio. Esta é a região de menor temperatura da chama, $T \approx 520\text{ °C}$ a 1050 °C [9]. Finalmente na região superior da chama temos uma cor amarelada cuja temperatura está entre $T \approx 1050\text{ °C}$ e 1250 °C [9]. Veja as tonalidades da chama da vela na Fig. 4. Se a combustão for incompleta haverá produção de monóxido de carbono (CO), além de CO_2 e H_2O , sendo possível observar ainda a presença de fuligem (fumaça preta) na ascensão da mistura de gás aquecido. Se a presença de gravidade é fundamental para a existência de convecção natural, o que aconteceria com a chama de uma vela em uma nave espacial no estado de imponderabilidade ($g = 0$)?

Como na ausência de gravidade não há um movimento relativo entre a vela e o ar circundante para que haja um fornecimento contínuo de oxigênio, os gases aquecidos provenientes da combustão irão

se expandir e empurrar o ar próximo à chama radialmente em todas as direções para longe da mesma, fazendo com que esta se apague imediatamente. Note a importância do conhecimento deste fenômeno. Se imaginarmos que o sistema de circulação de ar de uma espaçonave quebrasse repentinamente e um astronauta estivesse dormindo preso em sua cama, em vez de estar à deriva pela nave, este estaria correndo sério perigo de vida. Ele poderia morrer por asfixia pelo mesmo processo descrito acima, pois tal como a vela, o astronauta utiliza o oxigênio do ar circundante e o substitui pela liberação de vapor de água e gás carbônico aquecidos. Por isso não devemos tentar respirar embaixo d'água através de um tubo simples, pois rapidamente o oxigênio do tubo seria consumido sendo ocupado por gás carbônico. Existem técnicas iniciais de mergulho como o snorkel, que possibilita a respiração da pessoa através de um tubo em forma de L ou J, mas estes tubos contêm válvulas para viabilizar a respiração e evitar a entrada de água quando a pessoa submerge completamente.

Uma das grandes utilidades da Estação Espacial Internacional (ISS – *International Space Station*) é a instalação de laboratórios que permitem estudar processos físicos em um ambiente de microgravidade, já que muitos fenômenos básicos podem ser mascarados pela presença da gravidade terrestre. A Fig. 4 mostra a imagem de uma vela queimando em microgravidade. Note que a chama tem um comportamento diferente daquele que observamos na Terra, pelo fato do transporte de oxigênio e dos produtos da combustão ocorrer através de processos de difusão molecular que são bem mais lentos que aqueles por convecção. Em decorrência disto é possível estudar com maior facilidade o processo de combustão, já que este é retardado, tornando-o mais eficiente diminuindo efeitos prejudiciais ao ser humano, como a poluição.

Então podemos alterar a forma da chama de uma vela se conseguirmos modificar o movimento relativo do ar na convecção natural, por meio de uma convecção forçada, por exemplo. Vamos



Figura 4 - À esquerda temos uma vela queimando sob o efeito da gravidade terrestre, exibindo um formato alongado e diferentes tonalidades em sua chama. À direita temos uma imagem de uma vela queimando em um ambiente de microgravidade (na ISS) mostrando a alteração no formato e cor da chama devido à mudança no processo de transporte de gases para a combustão [10].

mostrar agora como podemos fazer isto colocando a vela em movimento retilíneo acelerado. Este experimento pode ser feito de diversas maneiras.

Quando ensinamos ciências não é necessário seguirmos uma ordem rigorosa de tópicos como é mostrado nos livros ou apostilas didáticas. Mesmo que determinados assuntos sejam tratados em outro momento do curso de ciências podemos ir acostumando os alunos, pois as demonstrações podem nos ajudar a pensar e enxergar analogias em diferentes situações

Para torná-lo visível e convincente, neste trabalho utilizamos o tubo de vidro maior (30 cm) com uma vela inteira presa a sua base e encaixamos a base (madeira) na parte de baixo de um carrinho comum. Para colocar o sistema em movimento o carrinho foi puxado por um barbante preso a

uma massa de $m = 50\text{ g}$ abandonada sob a ação da gravidade, veja o esquema ilustrativo na Fig. 5. Muita atenção neste experimento, pois é imprescindível colocar o tubo em torno da vela para isolarmos o

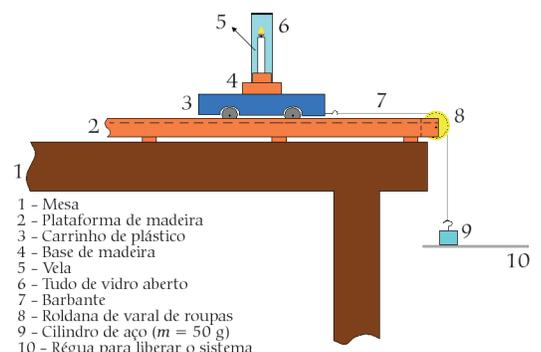


Figura 5 - Esquema ilustrativo mostrando o aparato utilizado para colocar a vela em movimento retilíneo acelerado através da queda de uma massa de $m = 50\text{ g}$.

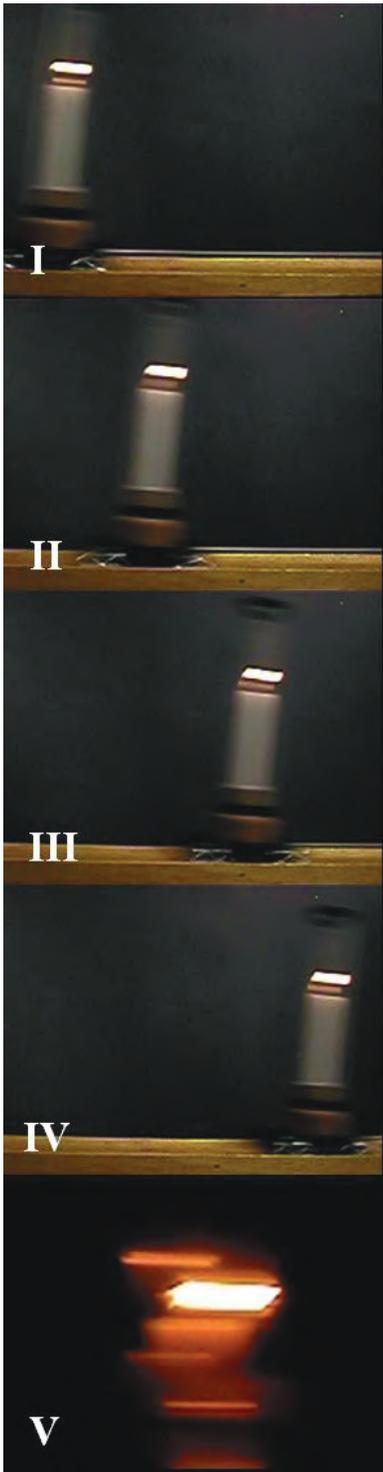


Figura 6 - Da foto I a IV temos o movimento retilíneo e acelerado da vela pela queda de uma massa de $m = 50$ g. Note a deformação da chama da vela na direção do movimento. O sentido do movimento é da esquerda para direita, evidenciado pelo barbante tensionado neste sentido. A foto V foi obtida colocando-se uma vela dentro de um frasco de vidro, utilizado para acondicionar doce de leite, e acelerado manualmente sobre uma mesa no mesmo sentido do sistema anterior.

sistema do movimento relativo do ar, ou seja, aquele vento que sentimos contra nosso movimento quando andamos de bicicleta.

Note na sequência de fotos da Fig. 6 que a chama da vela fica com uma forma quase esférica no início do movimento tornando-se oblata e inclinada no sentido do movimento à medida que o sistema é acelerado. O sentido do movimento é mostrado pelo barbante tensionado, ou seja, o carrinho é puxado da esquerda para a direita. Note que temos um fato muito curioso neste experimento.

Quando estamos sentados em um banco de um carro ou de pé em um ônibus somos impulsionados contra o sentido do movimento do veículo quando o mesmo é acelerado, o que equivaleria a dizermos que somos inclinados para trás, já que nossos pés tendem a ficar fixos pela força de atrito. Por que então a vela é inclinada para frente? Será que encontramos uma violação da primeira lei de Newton e o princípio da inércia não vale para a chama da vela? Na verdade não, e a explicação é muito simples. Lembre-se que no processo de convecção temos dois gases de diferentes densidades onde o de maior densidade é deslocado para a região inferior da chama e o de menor densidade para a região superior. Quando o sistema inicia seu movimento o efeito da aceleração é mais intenso no gás de maior densidade, pois este possui maior inércia. Portanto o gás da região inferior tem maior tendência de permanecer em repouso que o da região superior, fazendo com que o mesmo seja pressionado na parede esquerda do tubo

A capilaridade é responsável pela subida ou descida de um líquido sobre um sólido quando o contato entre os dois é estabelecido, dependendo, é claro, das forças de coesão e adesão na interface dos materiais

de vidro, contrário ao movimento, deslocando o ar de menor densidade para a direita do tubo no sentido do movimento. Em resumo, o que fizemos foi inclinar as correntes de convecção no sentido do movimento do sistema, como mostra o esquema ilustrativo da Fig. 7.

A fronteira entre os gases de diferentes densidades colocada na figura é apenas ilustrativa, pois esta não é bem definida na realidade, pois os gases estão em constante movimento. Para tornar esse experimento mais visível utilize velas com barbantes espessos,

pois estas produzem uma chama maior.

Para finalizarmos, vamos responder o porquê do pavio da vela não queimar rapidamente. A resposta a essa pergunta justifica também a menor temperatura na região próxima à extremidade superior do pavio, onde a chama apresenta uma cor castanha-avermelhada. O material de que é feito o pavio da vela apresenta uma característica muito importante chamada de capilaridade. Esta é responsável pela subida ou descida de um líquido sobre um sólido quando o contato entre os dois é estabelecido, dependendo, é claro, das forças de coesão e adesão na interface dos materiais. Você já deve ter observado este fenômeno ao encostar a ponta de um guardanapo de papel na superfície de um líquido qualquer. Veja a analogia deste experimento mostrando a capilaridade do guardanapo de papel e o pavio da vela nas fotos apresentadas na Fig. 8a. No caso da vela, o sólido é o próprio pavio que absorve a cera líquida (parafina) puxando-a para cima enquanto a vela estiver queimando. Na Fig. 8b utilizamos uma vela colo-

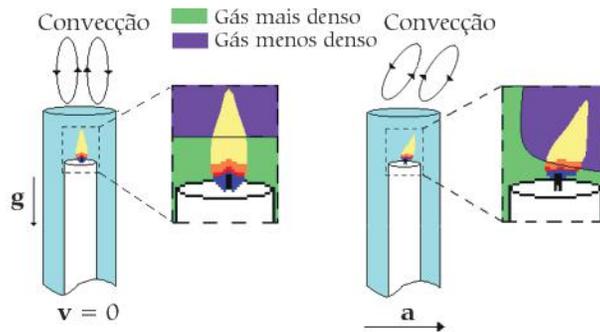


Figura 7 - Esquema ilustrativo do que ocorre com a chama da vela quando a mesma é acelerada da esquerda para a direita. A fronteira entre os gases de diferentes densidades é apenas ilustrativa, pois esta não é bem definida na realidade.

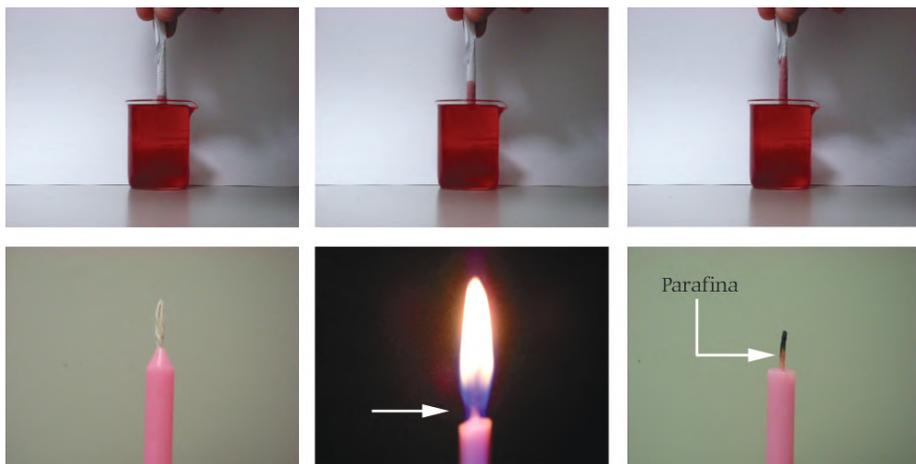


Figura 8 - (a) Efeito da capilaridade de um guardanapo de papel, semelhante ao pavio da vela por onde sobe a parafina (seta) durante o processo de combustão (b). Note que quando a vela se apaga pode-se notar a parafina solidificada no pavio, apresentando a cor da vela.

rida para a melhor visualização deste processo. Note que quando a vela é apagada pode-se observar que parte do pavio está colorido, devido à absorção de parafina pelo pavio através do efeito de capilaridade. A parafina é um hidrocarboneto pesado proveniente do petróleo bruto, sendo então o combustível da vela. Durante sua queima esta evapora e resfria a extremidade superior do pavio retardando seu desgaste e justificando o porquê da chama apresentar menor temperatura nesta região. O pavio funciona como um suporte de combustão para a queima da parafina. Você pode provar isto com um simples experimento.

Pegue uma vela e deixe-a acesa por alguns segundos. Tente apagá-la de maneira suave (coloque um copo sobre a vela) de modo que dê para visualizar a fumaça branca que é emanada do pavio sem dispersá-la. Esta fumaça é parafina condensada. Acenda um palito de fósforo e coloque sua chama nesta fumaça e você verá que a vela se inflamará novamente, mesmo que a chama do fósforo esteja distante do pavio da vela. O processo deve ser rá-

pido, ao apagar a vela é bom estar com o palito de fósforo aceso. A Fig. 9 mostra este experimento. Note como o fogo salta do palito de fósforos para o pavio da vela, através da parafina condensada, fumaça branca. A distância entre a chama do palito de fósforo e o pavio da vela é em torno de 8 cm.

Conclusão

Note a infinidade de assuntos tratados utilizando apenas uma vela, sendo possível investigar os problemas com simples experimentos, questionando e fazendo várias analogias para explicação de diversos fenômenos interessantes.

Além do tratamento dado neste trabalho, o professor pode citar várias outras aplicações do dia a dia dos alunos que utilizam o fenômeno da convecção como o porquê do congelador estar na parte superior de uma geladeira, assim como o porquê da instalação de um aparelho de ar condicionado ser feita próximo ao teto de um cômodo. Poderia levar os alunos a aprender qual a maneira mais eficiente de manter alimentos resfriados em uma

caixa de isopor, ou seja, mantendo o gelo sobre os alimentos, e também o porquê do aquecimento dos alimentos ser mais eficiente pela sua parte inferior como no caso do fogão, entre muitos outros.

Para tornar uma aula de ciências interessante e eficiente não são necessários laboratórios sofisticados ou grandes demonstrações em sala de aula, basta olhar à nossa volta, pois a ciência está presente no carro que dirigimos, nos aviões, no uso de computadores e telefones, nos CD's de músicas que ouvimos ou nos DVD's de filmes, no nosso simples caminhar, no movimento de uma bicicleta, na admiração do céu azul ou na beleza de um arco-íris, ou seja, a ciência está presente em tudo que vemos, basta acender uma pequena vela para enxergarmos isto.

Agradecimentos

Agradecemos à Professora Cristiane S. de Oliveira pela leitura do trabalho e sugestões e ao Professor José P. Rino por nos fornecer uma câmera fotográfica para a filmagem de alguns experimentos.

Referências

- [1] Y.L.N.S. Cerri e M.G.C. Tomazello, in: *Quanta Ciência há no Ensino de Ciências*, organizado por A.C. Pavão e D. Freitas (EdUFSCAR, São Carlos, 2008).
- [2] C.W. Rosa, A.B. Rosa e C. Pecatti, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* **6**, 263 (2007).
- [3] A.T. Borges, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **19**, 291 (2002).
- [4] A.C. Pavão, in: *Quanta Ciência há no Ensino de Ciências*, organizado por A.C. Pavão e D. Freitas (EdUFSCAR, São Carlos, 2008).
- [5] M.G. Séré, S.M. Coelho e A.D. Nunes, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **20**, 30 (2003).
- [6] M. Rodrigo, J.G. Morcillo, R. Borges, M^a.A. Calvo, N. Cordeiro, F. García y A. Raviolo, *Revista Complutense de Educación* **10**, 261 (1999).
- [7] J.C. Sprott, *Physics Demonstrations – A Sourcebook for Teachers of Physics* (The University of Wisconsin Press, 2006).
- [8] H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica I – Mecânica* (Editora Edgard Blücher LTDA, 2002), 4^a edição revista.
- [9] L.C. Menezes e Y. Hosoume *et al.*, *Leituras de Física GREF – Física Térmica, Para Ler, Fazer e Pensar* (Instituto de Física da USP, São Paulo, 1998), versão preliminar.
- [10] Figura obtida no site <http://ciencia.hsw.uol.com.br/estacoes-espaciais5.htm>, acessado dia 10/7/2010.

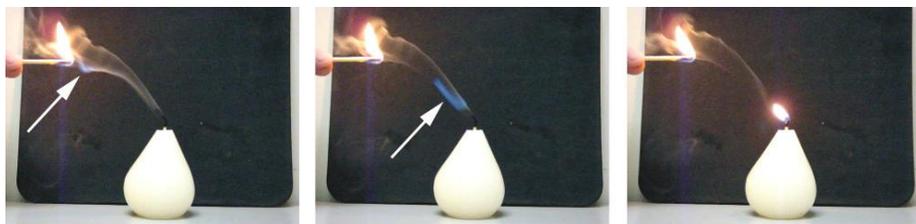


Figura 9 - Sequência mostrando que a vela se ascende pela parafina condensada (fumaça branca) emanada pelo pavio quando a vela é apagada. Note a distância entre a chama do fósforo e o pavio (cerca de 8 cm). As setas indicam o rápido movimento do fogo até o pavio. É um processo extremamente rápido da ordem de milissegundos.



Faça Você MESMO



Propomos uma maneira de mostrar visualmente a existência do campo magnético em torno de um condutor na qual flui uma corrente elétrica. Essa descoberta de Orsted em 1820 é demonstrada por meio de um conjunto de espiras, pequenas bússolas transparentes e um retroprojektor comum. Um passo adiante é a possibilidade do mapeamento plano do campo em torno do conjunto de espiras, por meio de uma plataforma de altura ajustável.

Materiais utilizados

- Fio de cobre esmaltado
- Fita isolante, elástico
- Suportes com duas plataformas horizontais de acrílico transparentes (usamos um suporte que dispúnhamos no laboratório, mas com uma quantidade de trabalho e criatividade é possível construir um suporte similar)
- Bateria de 9 V
- Conjunto de bússolas (reaproveitamos um conjunto de bússolas que acompanhava um kit de eletricidade elementar que, por sua vez, compunha o Projeto MEC, Eximbank, Metrimplex-V)
- Retroprojektor

Construção do experimento

O primeiro passo é a montagem das espiras, que podem estar em um formato retangular, como é o caso do nosso experimento, cujas medidas dos lados são aproximadamente 8 cm e 15 cm. Por volta de onze espiras são confeccionadas com o mesmo fio. A seguir fixamos a bateria na barra vertical do suporte. Isso pode ser conseguido com um pedaço de fita isolante, um elástico ou de qualquer outra maneira criativa de fixação. Acolamos o conjunto de espiras entre as duas plataformas horizontais transparentes (Fig. 1). Em seguida, unimos uma das pontas do fio do conjunto de espiras a um dos pólos da bateria. Outra ponta do fio ficou deliberadamente livre, funcionando como uma chave do tipo liga/

desliga, podendo ser conectado no momento em que o experimentador desejar. Para que a bateria não descarregue rapidamente, um resistor pode ser ligado em paralelo ou aumentando-se o número de espiras. O aparato experimental é posicionado, convenientemente, acima de um retroprojektor (Fig. 2). Variando as posições das plataformas é possível mapear o campo magnético do conjunto de espiras no plano da plataforma. Os efeitos observados servem para uma demonstração do fenômeno e motivar uma análise qualitativa.

Funcionamento

O suporte inferior mostrado na Fig. 1 é colocado convenientemente sobre o retroprojektor, mantendo-o fora de contato com o vidro de projeção do retroprojektor (usamos um plástico fino e transparente). Fechando o circuito, ou seja, deixando uma corrente elétrica fluir no conjunto de espiras, é possível visualizar os movimentos das bússolas (Fig. 2), projetando suas imagens na parede (ou em uma tela). Nota-se nessa situação que existem dois estados estacionários em que as bússolas se posicionam permanentemente. O primeiro é, obviamente, aquele em que o circuito está aberto e não existe campo magnético; o segundo é aquele onde o circuito está fechado e as bússolas se posicionam em suas direções respectivas e assim permanecem. A bateria usada nesse experimento gera uma corrente contínua, mas

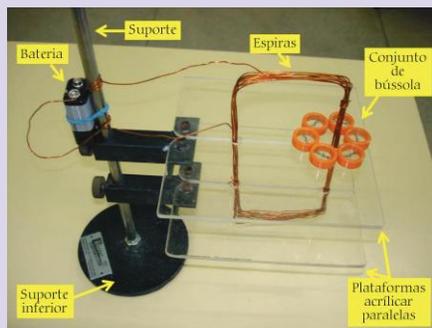


Figura 1 - Componentes relevantes do experimento.

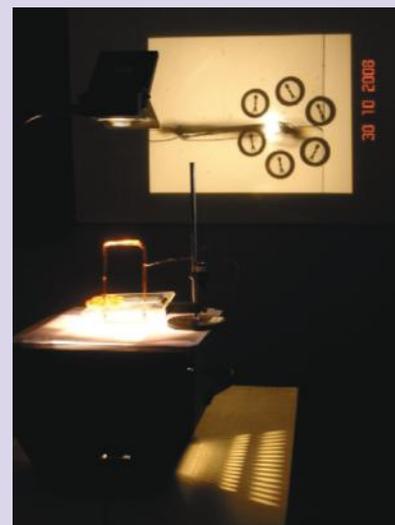


Figura 2 - Experiência em funcionamento.

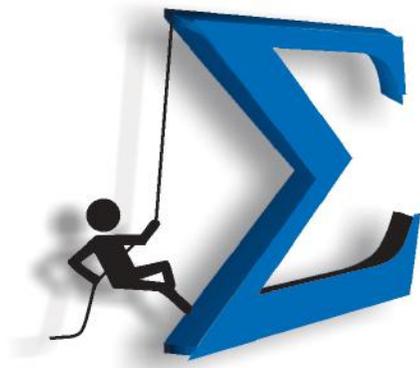
nada impede que esta seja substituída por um gerador de corrente alternada (CA). Nesse caso, os movimentos das bússolas não cessam em um estado de equilíbrio específico. Durante a realização da experiência nessa situação (CA), o experimentador terá que controlar a frequência do sinal para obter o resultado acima declarado. Essa é uma parte de grandes descobertas e intensa aprendizagem.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem suas respectivas instituições pelo apoio concedido.

A.C. de Lima
Centro Federal de Educação
Tecnológica de Petrolina
Petrolina, PE, Brasil
E-mail: aureo@cefetpet.br

A.C. Bertuola
Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de São Paulo,
Campus São Paulo,
São Paulo, SP, Brasil
E-mail: acbertuola@gmail.com



Problemas Olímpicos

Soluções dos problemas do número anterior

1 Cálculo da distância entre duas partículas carregadas ($M, +Q$) e ($m, -q$), soltas em um campo elétrico uniforme E que permanecem a uma distância constante uma da outra.

Para que as partículas mantenham a mesma separação, elas devem ter as mesmas acelerações. Vejamos então as forças que atuam nas partículas. Na partícula Q temos: uma força para a esquerda devido ao campo elétrico E, QE , e uma força para a direita devido à carga $-q, kQ|q|/L^2$. Supondo $Q > |q|$, o sistema formado pelas duas partículas será acelerado para a esquerda. A equação de movimento para a partícula Q (2ª Lei de Newton) é

$$\frac{QE - k|q|Q}{L^2} = Ma.$$

Como as duas cargas estão imersas no campo E , e como elas estão em equilíbrio a uma distância L , ambas terão a mesma aceleração, que é dada por

$$a = \frac{F_{\text{liquida}}}{\text{massa total}} = \frac{(Q - q)E}{M + m}.$$

Combinando as duas equações e resolvendo para L , obtemos

$$L = \sqrt{\frac{(M + m)kQq}{E(qM + Qm)}}.$$

Obviamente o mesmo resultado será

obtido quando a carga $-q$ for analisada ou ainda se $Q < |q|$.

2 Pistão pendurado por uma mola dentro de um cilindro vertical recebe gás a uma temperatura T , subindo a uma altura h . Cálculo da nova altura se o gás for aquecido a $2T$.

Seja k a constante elástica da mola. No equilíbrio, $PA = kh$ (P é a pressão, A a área do pistão e h a altura). Assim,

$$P_1/P_2 = h_1/h_2.$$

Da lei dos gases ideais temos

$$P_1V_1/T_1 = P_2V_2/T_2,$$

sendo T a temperatura absoluta. Como

$$V = hA,$$

então

$$P_1h_1/T_1 = P_2h_2/T_2.$$

Quando

$$T_2 = 2T_1,$$

obtemos

$$P_2 = 2P_1h_1/h_2, (h_1/h_2)^2 = 1/2.$$

Portanto o pistão será elevado para uma altura $\sqrt{2}h$ quando a temperatura do gás for $2T$.

3 Explicação do teto de lona de um carro conversível inflado mesmo com a capota e os vidros do auto-

móvel fechado.

Resposta: alternativa "a". Explicação: um fluido ganha velocidade quando entra em uma região restrita. O carro, conversível ou não, de algum modo restringe o fluxo de ar. Assim, o ar movendo-se sobre o teto do carro é mais rápido, e, segundo o princípio de Bernoulli, a pressão irá decrescer. Como o ar dentro do carro não está sujeito a nenhuma força líquida, e, portanto nenhuma aceleração, terá uma pressão atmosférica maior do que aquela sobre a capota. Esta diferença de pressão fará com que a capota fique inflada.

4 Água com bolhas de ar flui através de um cano que fica mais estreito. Na região estreita a água ganha velocidade e as bolhas de ar são a) maiores, b) menores ou c) do mesmo tamanho?

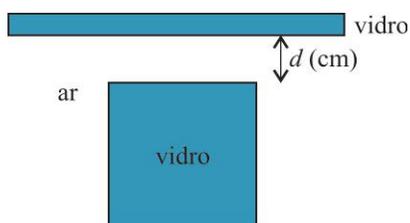
Resposta: alternativa "a". Explicação: uma vez que a água ganha velocidade, a pressão na água decresce, conforme o princípio de Bernoulli. Com o decréscimo da pressão da água, as bolhas serão menos comprimidas, sofrendo, portanto, expansão até que a pressão do ar dentro das bolhas e a pressão da água se equalizem. Caso a água continue fluindo para uma seção mais larga do cano, a sua velocidade irá decrescer, a pressão aumentar e os bolhas tornar-se-ão menores.

Envie sua solução dos problemas para djpr@df.ufscar.br. Não esqueça de incluir a sua Escola na mensagem. Se estiver correta, você se candidata a uma assinatura gratuita de Física na Escola, além de constar na Lista de Honra da seção Desafios

Novos problemas

3ª Olimpíada de Física. Brno, Czechoslovakia (1969)

1 Uma película fina de vidro é mantida sobre um cubo de vidro o qual tem lados da ordem de 2 cm, criando uma camada de ar uniforme entre o cubo e a película (veja figura). Ondas eletromagnéticas com comprimento de onda entre $0.4 \mu\text{m}$ até $1.15 \mu\text{m}$ viajam ao longo da direção perpendicular à película, são refletidos nas fronteiras da camada de ar e sofrem interferência. Observa-se que somente dois comprimentos de onda no intervalo descrito acima resultam em interferência construtiva. Um desses comprimentos de onda é $\lambda = 0.4 \mu\text{m}$. Determine o segundo comprimento de onda e a espessura da camada de ar.

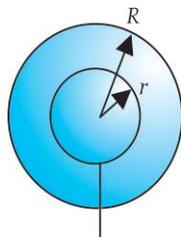


4ª Olimpíada de Física. Moscou, Rússia (1970)

2 A estrutura cristalina do cloreto de sódio, NaCl, consiste de cubos elementares cada qual tendo átomos de Na em cada um de seus oito vértices, bem como átomos de Na no centro de cada uma de suas seis faces (estrutura cúbica de face centrada). O comprimento do cubo elementar é $5.6 \times 10^{-8} \text{ cm}$. Determine a massa do átomo de hidrogênio. Dados: Peso

atômico do Na = 23, peso atômico do Cl = 35,5. Densidade do NaCl = $2,2 \text{ g/cc}$.

3 Uma esfera metálica de raio $r = 10 \text{ cm}$ é colocada concentricamente dentro de outra esfera metálica, oca, de raio $R = 20 \text{ cm}$. As esferas estão separadas uma da outra. A esfera interna está aterrada por um longo fio através de uma abertura na esfera maior. Se a esfera exterior contiver uma carga $Q = 10^{-9} \text{ C}$, determine o potencial da esfera externa. Dado $k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \times 10^9 \text{ Nm/C}^2$.



5ª Olimpíada de Física. Sofia, Bulgária (1971)

4 Um aparelho de Torricelli consiste de um tubo de vidro cheio de mercúrio e mergulhado verticalmente em um vaso contendo também mercúrio. Neste problema o espaço no topo do tubo de vidro contendo mercúrio contém hidrogênio puro. O aparelho é montado dentro de um cilindro com pistão, como ilustrado. O espaço dentro deste cilindro contém ar (veja figura ao lado).

Estágio I:

Altura da coluna de mercúrio:

70 cm

Pressão do ar: 100 cm Hg ($= 1.314 \text{ atm} = 133.4 \text{ kPa}$)

Temperatura: 273 K

Estágio II: o pistão é puxado para cima

Altura da coluna de mercúrio: 40 cm

Pressão do ar: 60 cm Hg

Estágio III: o volume do cilindro é mantido constante e calor é fornecido até $T_3 \text{ K}$.

Altura da coluna de mercúrio: 50 cm

Estágio IV:

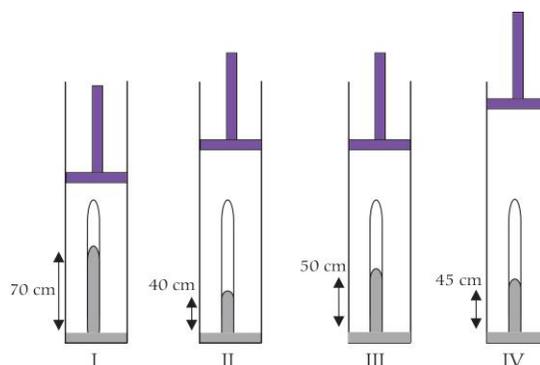
Temperatura: $T_4 \text{ K}$

Altura da coluna de mercúrio: 45 cm

Pressão do ar é a mesma daquela do

Estágio III.

Determine a pressão e a temperatura do gás hidrogênio contido no espaço no topo do tubo de vidro.



Nota

Durante a produção deste fascículo, recebemos soluções de Problemas Olímpicos enviadas por dois professores do Ensino Médio:

- Professor Thiago Felício, do Colégio Cascavelense de Cascavel, Ceará
E-mail: thiagoifce.fisica@gmail.com
- Professor Luiz Henrique de Melo dos Santos, professor particular em São Paulo
E-mail: luizfisico2004@gmail.com

A ambos nossos agradecimentos pela participação.