

COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

FÍSICA



7
VOLUME

Presidência da República

Ministério da Educação

Secretaria Executiva



Os últimos anos têm sido marcados por mudanças significativas no discurso sobre a educação, o ensino, e, particularmente, sobre o Ensino Médio. Nas propostas educacionais, está sendo até mesmo introduzido um novo vocabulário, que inclui palavras como contextualização, interdisciplinaridade, competências e habilidades, apenas para exemplificar algumas, cujos significados vêm pouco a pouco se tornando mais claros, no seu sentido amplo, mas continuam sendo difíceis de serem traduzidos em sala de aula.

E nem poderia ser diferente. É fácil falar, mas difícil fazer. A escola real é muito mais complexa do que os instrumentos disponíveis para descrevê-la ou analisá-la. Mais do que isso, propostas, como resultado de práticas e reflexões, apenas sinalizam possíveis caminhos e não podem (nem deveriam) dar conta de propor receitas de mudanças. Em tempos de mudança, a situação é particularmente estressante, pois é preciso encontrar opções novas, modificar hábitos, romper com rotinas, quase sempre sem a certeza nem a segurança das vantagens e desvantagens dos esforços desenvolvidos.

A implantação das novas diretrizes que estão sendo propostas, ou seja, sua tradução em práticas escolares concretas, não ocorrerá por decreto nem de forma direta. Depende, ao contrário, do trabalho de incontáveis professores, em suas salas de aula, nas mais diversas realidades. Depende, também, de um processo contínuo de discussão, investigação e atuação, necessariamente permeado do diálogo constante entre todos os envolvidos. Um processo lento, com idas e vindas, através do qual espera-se que possam ser identificadas as várias dimensões dos problemas a serem enfrentados e ir introduzindo a correção de rumos necessária. Um processo de construção coletiva.

.....
Maria Regina Dubeux Kawamura e
Yassuko Hosoume

Instituto de Física
Universidade de São Paulo
.....

Este artigo apresenta, de forma resumida, as *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+)*, que buscam complementar as idéias apresentadas na proposta original dos *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio*, publicados em 1999. As autoras participaram da equipe que elaborou ambos os projetos (publicado originalmente na *Física na Escola* v. 4, n. 2, p. 22-27 (2003)).

Assim, o novo Ensino Médio é uma proposta ainda em aberto, que inclui a compreensão de toda a educação básica como um percurso sem rupturas, onde os valores, atitudes e competências possam ser continuamente promovidos, respeitadas as especificidades de cada etapa, e consolidados em níveis progressivos de profundidade e autonomia.

No final de 2002, foram publicados os PCNs+ (MEC/SEMTEC, 2002 disponível em www.sbfisica.org.br), dirigidos aos professores, onde se busca aprofundar, através de exemplos e estratégias de trabalho, a proposta inicial que foi apresentada nos Parâmetros Curriculares para o Ensino Médio (PCNEM), (MEC/SEMTEC, 1998). Foi o resultado de um trabalho longo, envolvendo professores das

As mudanças em educação estão sendo acompanhadas por um novo vocabulário, que inclui conceitos como contextualização, interdisciplinaridade, competências e habilidades

diferentes disciplinas da área de Ciências e Matemática, buscando investigar e explicitar os vínculos e semelhanças entre os processos de ensino e aprendizagem a serem desenvolvidos em todas as disciplinas da área (Física, Química, Biologia e Matemática). Esse texto trata da organização do trabalho escolar, discutindo as competências em Física e de como elas se articulam com os diferentes conteúdos, de forma a estruturar o conhecimento e os objetivos formativos. Aponta, ainda, algumas sugestões de estratégias para o trabalho cotidiano. Mas não pretende trazer soluções, pois essas, como sinalizamos, devem necessariamente

ser construídas dentro de cada realidade escolar.

Retomamos, aqui, algumas das propostas apresentadas, exemplificando-as, para estimular o debate e para explicitar a necessidade de construir espaços de propostas e construção articulados, tornando mais coletivo o trabalho de ensinar. Essa é uma condição indispensável, ainda que não suficiente, para um novo ensino e uma nova escola.

Os novos rumos

Do ponto de vista “oficial”, as idéias educacionais que vinham sendo gestadas e discutidas nas décadas anteriores foram explicitadas, pela primeira vez, em um documento legal, na Lei de Diretrizes e Bases para o Ensino (MEC, LDB 1996).

Dentre as sinalizações mais expressivas, introduzidas nessa proposta, está a mudança quanto ao caráter do Ensino Médio. Durante muitos anos esse período da escolaridade vinha sendo considerado uma preparação para o ensino universitário, tendo como objetivo último o sucesso no vestibular. Essa proposta era coerente com uma educação média restrita a apenas uma pequena parcela da população e com o ensino universitário como um “caminho natural” para os concluintes do Ensino Médio. No entanto, os tempos mudaram: a escolaridade média vem sendo bastante ampliada, assim como também o espaço de atuação social dos egressos da escola média, que não necessariamente buscam o ensino superior.

O objetivo da escola média deve, assim, estar voltado para a formação de jovens, independente de sua escolaridade futura. Jovens que adquiram instrumentos para a vida, para raciocinar, para compreender as causas e razões das coisas, para exercer seus direitos, para cuidar de sua saúde, para participar das discussões em que estão envolvidos seus destinos, para atuar, para transformar, enfim, para realizar-se, para viver. Essa é, portanto, nossa compreensão do que seja uma educação para a cidadania e sobre do objetivo do ensino.

E como isso se reflete no ensino de Física?

Um primeiro aspecto importante é pela própria necessidade de explicitar e discutir objetivos. Não que antes eles não estivessem presentes, mas, apenas, não eram tão discutidos. Ensinar Física significava fazer compreender aos alunos uma série de conhecimentos, ainda que de forma

resumida, que seriam mais tarde retomados de forma mais completa na continuação de seus estudos. O conjunto desses conhecimentos estava pré-determinado nos livros didáticos e no coletivo das pessoas, de uma forma tão completa que parecia não haver espaço para outras escolhas: cinemática, dinâmica, estática, eletrostática etc. Essa era a Física. No entanto, fixar objetivos implica definir estratégias para alcançá-los e selecionar conteúdos. Conteúdos propostos, como veremos, não em função da lógica da Física, mas em decorrência da proposta de educação e da lógica do ensino. A educação vem, ainda que muito vagarosamente, voltando a ocupar seu espaço, pois educar é mais do que ensinar conhecimentos: é promover o desenvolvimento dos jovens, é possibilitar a construção de uma ética, é expor os valores em que acreditamos e discuti-los.

Um segundo aspecto da mudança necessária, e fácil de ser constatado ao analisarmos os livros didáticos tradicionais, diz respeito à ausência neles de muitos dos conhecimentos necessários à compreensão do mundo contemporâneo. Não estão presentes, por exemplo, conhecimentos de Física que permitam compreender as telecomunicações, internet, telefonia celular, ou a contribuição da Física aos desenvolvimentos atuais da área de diagnóstico médico, ou, ainda a Física dos fenômenos ambientais. E não se trata somente da ausência de temas relacionados à Física Moderna, mas também de aspectos cotidianos relacionados ao funcionamento dos aparelhos, como geladeiras, condicionadores de ar, motores etc. Mais do que isso, também não são abordados aspectos relacionados à Cosmologia, mesmo reconhecendo que a preocupação com a origem e a evolução do Universo seja uma indagação humana constante. Para uma formação mais completa de jovens preparados para a cidadania, os temas atuais do mundo contemporâneo deverão necessariamente estar presentes.

Finalmente, outro marco importante das mudanças que estão em curso vem da percepção de que a educação é um processo complexo, que requer muitas ações articuladas. Ou seja, de que não pode ser fragmentada e distribuída para que cada professor tome conta apenas do seu espaço disciplinar. Em uma escola, os alunos dos diversos professores são os mesmos, com as mesmas necessidades e anseios. Cabe à escola não apenas ser o lugar onde cada professor atua, mas transformar-se em espaço e agente de definição e articulação do que aprender e ensinar. Cada escola passa a ter autonomia para pensar no perfil de seus alunos e em suas necessidades mais significativas, organizando-se para atendê-las, refletindo e definindo metas, estabelecendo um projeto que possa organizar sua ação pedagógica.

Nesse sentido, para estabelecer as condições que possam propiciar uma ação mais integrada, foi proposta, também, uma organização do conhecimento por grandes áreas, reunindo em cada área diversas disciplinas afins. Ao contrário do que muitas vezes parece, não se trata de “acabar com as disciplinas” e substituí-las por um só professor de área. Essa seria uma enorme deformação. Trata-se, sim, de estabelecer objetivos e estratégias de ação mais convergentes para um conjunto de disciplinas que tenham características comuns.

Assim, foram definidas três grandes áreas de conhecimento [1], para permitir uma maior articulação das competências e conteúdos de diferentes disciplinas:

Linguagens e Códigos (Português, Língua estrangeira, Artes, Educação Física, Informática e demais formas de expressão).

Ciências da Natureza e Matemática (Biologia, Física, Química e Matemática).

Ciências Humanas (História, Geografia e demais áreas das Ciências Humanas, como, por exemplo, Psicologia, Sociologia e Filosofia).

O objetivo da escola média deve, nos dias de hoje, estar voltado para a formação de jovens, independente de sua escolaridade futura

Além disso, nessa busca por um conhecimento mais integrado, cada área não pode ser considerada como um domínio de conhecimento isolado das outras áreas. Ainda que a Física pertença à área de Ciências da Natureza, seu ensino deve também contemplar as dimensões de linguagem e conteúdo humano-social. Essa é uma das faces da interdisciplinaridade desejada. Assim, o trabalho de aprendizagem em cada disciplina deve estar atento ao domínio das outras disciplinas e das outras áreas. E para dar conta dessa inter-relação, em cada disciplina podem ser consideradas três dimensões. Uma delas, interna à própria área, diz respeito à *investigação e compreensão* propriamente dita dos fenômenos físicos. A outra, para expressar a relação da Física com a área de linguagens e códigos, diz respeito a questões relativas à *representação e comunicação* em Física, ou seja, à linguagem específica da Física e às formas de expressão próprias ao seu campo. Finalmente, para estabelecer com mais clareza a relação da Física com as Ciências Humanas, há que se considerar a contextualização sócio-cultural dos conhecimentos científicos, que incluem os aspectos históricos e sociais envolvidos na produção de seu conhecimento e no desenvolvimento tecnológico. São essas três dimensões, portanto, que possibilitam melhor organizar o trabalho em uma dada disciplina de forma integrada com as demais, que estão representadas, para o caso da Física, na Figura 1.

De forma sintética, o que queremos enfatizar é que as mudanças dizem respeito a toda a escola de Ensino Médio e à forma de pensar o trabalho de ensinar. Não se restringem a repensar o ensino de Física, mas à busca de uma postura diferente em muitos e diversificados aspectos. A Física continuará sendo uma disciplina específica, com presença no currículo. Mas repensá-la tem de necessariamente extrapolar os limites disciplinares que lhe são próprios. Ou seja, ainda que possamos passar a falar só de Física, do que e do como ensiná-la, sem a compreensão desse panorama mais amplo que está sendo proposto, ficará inviabilizada uma mudança significativa.

Em resumo, o que muda para o ensino de Física?

A Física enquanto um corpo de conhecimento estruturado permanece sendo a mesma, com suas leis e princípios reconhecidos e estabelecidos, ainda que continuamente incorporando novos conhecimentos e estabelecendo novas descobertas. Mas entre a Física dos físicos e a Física do Ensino Médio há certamente um longo percurso. Assim, podem mudar as seleções de conteúdos, as escolhas de temas, as ênfases, as formas de trabalhar ou os objetivos formativos propostos para a Física a ser trabalhada no Ensino Médio.

É possível estabelecer novas escolhas e para isso seria necessário pensar em quais critérios utilizar. Esses critérios deveriam, entre outras condições, deixar de considerar o que um futuro profissional vai precisar saber para sua formação universitária, passando a tomar como referência

o que precisará saber um jovem para atuar e viver solidariamente em um mundo tecnológico, complexo e em transformação. Os critérios básicos passam, então, a referir-se ao que esse jovem deve saber e saber fazer, às competências em Física que deve ter para lidar com o seu dia-a-dia, suas aspirações e seu trabalho.

De forma bastante resumida, poderíamos dizer, portanto, que a principal consequência das mudanças propostas é que teremos de passar a nos preocupar menos com a lista dos tópicos a serem ensinados, para passar a concentrar nossa atenção nas competências em Física que queremos promover.



Figura 1

Relação da Física com as áreas de conhecimento

Ou seja, privilegiar competências e habilidades. Já que não será possível ensinar toda a Física, pois isso implicaria uma visão muito superficial e abreviada do conhecimento, mais informativa e pouco formativa, teremos de identificar aquelas competências que caracterizam o saber da Física e concentrar nossa atenção em desenvolvê-las.

Há uma grande discussão na literatura atual sobre o que sejam competências, o que sejam habilidades. Talvez não seja necessário um aprofundamento desses conceitos, mesmo porque são controversos e permitem entendimentos diferentes. Uma opção ao rigor de definições teóricas consiste em, sempre que possível, fazer uso de exemplos concretos, estabelecendo, através da prática, uma linguagem comum.

Quais as competências que a Física deve promover? Quais são as características que reconhecemos como específicas do *saber Física* e que podem ser consideradas essenciais para uma formação nessa área? De novo, não há listas confiáveis e completas, não há elencos oficiais de competências. E certamente não haveria um acordo dentro da própria comunidade dos físicos quanto a isso. Nenhuma proposta pode ser única e universal, substituir a percepção e a experiência profissional do professor a partir da realidade que vivencia.

Como exemplo, apresentamos algumas das competências que consideramos importantes promover, para estimular a discussão e orientar possíveis escolhas. Levando em conta as três dimensões descritas, organizamos essas competências em três conjuntos distintos.

Onde ficam os conteúdos básicos? Podemos abrir mão de alguns deles?

O conhecimento acumulado pela humanidade através de sua História constitui um patrimônio precioso e é também função da educação dar-lhe continuidade. Em nenhum momento, o que se propõe é deixarmos de promover a construção do conhecimento em Física. Mesmo porque, competências e habilidades somente podem ser desenvolvidas em torno de assuntos e problemas concretos, que se referem a conhecimentos e temas de estudo. E para enfrentar uma situação-problema dentro de uma abordagem física é necessário conhecer leis, conceitos e princípios, aprendidos através de um processo de construção cuidadoso, com determinadas relações internas que é necessário identificar e respeitar.

No entanto, não será possível tratar de toda a Física no curto intervalo de tempo do Ensino Médio, especialmente com a ênfase no desenvolvimento das competências de que estamos tratando. Por outro lado, há certos assuntos ou tópicos com maior potencial que outros para os objetivos pretendidos, o que impõe escolhas criteriosas. Essas escolhas dependem, novamente, de cada realidade escolar, e os critérios para estabelecê-las devem levar em conta os processos e fenômenos físicos de maior relevância no mundo contemporâneo, além de procurar cobrir diferentes campos de fenômenos e diferentes formas de abordagem, privilegiando as características mais essenciais que dão consistência ao saber da Física e permitem um olhar investigativo sobre o mundo real.

O tratamento de diferentes campos de fenômenos implica preservar, até certo ponto, a divisão do conhecimento em áreas da Física tradicionalmente trabalhadas, como Mecânica, Termologia, Ótica e Eletromagnetismo, não só pela unidade conceitual que esses campos estabelecem, mas também por permitir uma “transcrição” da proposta nova em termos da compartimentalização anteriormente adotada, reconhecendo-a para superá-la.

No entanto, é essencial que se faça uma releitura dessas áreas, para que a definição dos temas privilegie os objetos de estudo, explicitando, desde o início, os objetivos estabelecidos.

Apresentamos, no quadro da página anterior, uma proposta de temas estruturadores. Esses temas apresentam uma das possíveis formas para a organização das atividades escolares, explicitando para os jovens os elementos de seu mundo vivencial que se desejam considerar. Não se

Exemplos de habilidades e competências

Investigação e compreensão em Física

- Desenvolver a capacidade de investigação física: observar, classificar, organizar, sistematizar. Estimar ordens de grandeza. Compreender o conceito de medir. Fazer hipóteses, testar.
- Conhecer e utilizar conceitos físicos. Reconhecer a relação entre diferentes grandezas ou relações de causa e efeito, como meios para estabelecer previsões. Compreender e utilizar leis e teorias Físicas.
- Identificar regularidades, reconhecer a existência de transformações e conservações, assim como de invariantes. Saber utilizar princípios básicos de conservação.
- Reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos explicativos ou representativos para fenômenos ou sistemas naturais e tecnológicos.
- Diante de situações físicas, identificar parâmetros relevantes, quantificar grandezas e relacioná-las. Investigar situações problemas: identificar a situação física, utilizar modelos, generalizar de uma a outra situação, prever, avaliar, analisar previsões.
- Articular o conhecimento físico com conhecimentos de outras áreas do saber científico.

Representação e comunicação em Física

- Compreender enunciados que envolvam códigos, símbolos e a nomenclatura de grandezas físicas, como por exemplo aqueles presentes em embalagens, manuais de instalação e utilização de equipamentos ou artigos de jornais.
- Ler e interpretar tabelas, gráficos, esquemas e diagramas. Compreender que tabelas, gráficos e expressões matemáticas constituem-se em diferentes formas de representação de relações físicas, com especificidades. Ser capaz de diferenciar e traduzir entre si as linguagens matemática, discursiva e gráfica para a expressão do saber físico.
- Expressar-se corretamente utilizando a linguagem física adequada e elementos de sua representação simbólica. Apresentar de forma clara e objetiva o conhecimento apreendido, através de tal linguagem.
- Conhecer fontes de informações e formas de obter informações relevantes, sabendo interpretar e criticar notícias científicas veiculadas nas várias mídias.

Contextualização sócio-cultural da Física

- Compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época.
- Compreender a Física como parte integrante da cultura contemporânea, identificando sua presença em diferentes âmbitos e setores.
- Reconhecer o papel da Física no sistema produtivo, compreendendo a evolução dos meios tecnológicos e sua relação dinâmica com a evolução do conhecimento científico.
- Dimensionar a capacidade crescente do homem, propiciada pela tecnologia, em termos de possibilidades de deslocamentos, velocidades, capacidade para armazenar informações, produzir energia etc., assim como o impacto da ação humana, fruto dos avanços tecnológicos, sobre o meio em transformação.
- Reconhecer e avaliar o caráter ético do conhecimento científico e tecnológico e utilizar esses conhecimentos para o exercício da cidadania. Ser capaz de emitir juízos de valor em relação a situações sociais que envolvam aspectos físicos e ou tecnológicos relevantes (uso de energia, impactos ambientais, uso de tecnologias específicas etc.).

Temas estruturadores: Uma proposta

Movimentos: variações e conservações

A área tradicionalmente associada à Mecânica pode corresponder às competências que permitem, por exemplo, lidar com a observação e classificação dos movimentos de coisas que observamos, identificando seus “motores” ou suas “causas”, sejam carros, aviões, animais, objetos que caem, ou até mesmo as águas do rio ou o movimento do ar. Nessa abordagem, a Mecânica permite desenvolver competências para lidar com aspectos práticos, concretos e macroscópicos, ao mesmo tempo que propicia a compreensão de leis e regularidade, expressos nos princípios de conservação. Pode propiciar, também, elementos para que os jovens tomem consciência da evolução tecnológica relacionada às formas e à velocidade do transporte ou do aumento da capacidade produtiva do ser humano.

Calor, ambiente e usos de energia

O estudo do calor e de fenômenos térmicos será importante para desenvolver competências que permitam lidar com fontes de energia, processos e propriedades térmicas de diferentes materiais, permitindo escolher aqueles mais adequados a cada tarefa. Poderão ser promovidas, também, competências para compreender e lidar com as variações climáticas e ambientais ou, da mesma forma, com os aparatos tecnológicos que envolvem o controle do calor em ambientes. Acompanhando a evolução do trabalho humano ao longo da história, haverá que saber reconhecer a utilização do calor para benefício do homem, em máquinas a vapor ou termelétricas, ou o calor como forma de dissipação de energia, impondo limites às transformações de energia e restringindo o sentido do fluxo de calor. Nesse contexto, será ainda indispensável aprofundar a questão da “produção” e utilização de diferentes formas de energia em nossa sociedade, adquirindo as competências necessárias para a análise dos problemas relacionados aos recursos e fontes de energia no mundo contemporâneo, desde o consumo doméstico ao quadro de produção e utilização nacional, avaliando necessidades e impactos ambientais.

Som, imagem e informação

A Ótica e o estudo de ondas mecânicas podem se tornar o espaço adequado para discutir a imagem e o som como formas de transmissão de informação, analisando os fenômenos e processos de formação de imagens e de produção de sons, mas também os processos de codificação, registro e transmissão de informações através do som e da imagem. O estudo do som pode ainda permitir

trata, certamente, da única releitura e organização dos conteúdos da Física em termos dos objetivos desejados, mas serve, sobretudo, para exemplificar, de forma concreta, as possibilidades e os caminhos para o desenvolvimento das competências e habilidades em Física. Exemplificam também como reorganizar as áreas tradicionalmente trabalhadas, como a Mecânica, Termologia, Eletromagnetismo e Física Moderna, de forma a atribuir-lhes novos sentidos.

Cada um desses temas, contudo, não pode ser compreendido como um tema isolado, já que há inúmeras sobreposições e inter-relações entre os objetos que se pretende estudar. Com certeza, eles somente completam seu sentido através de suas interseções e de suas relações com outras áreas do conhecimento.

Da mesma forma, dentro de cada tema, haverá que realizar novas escolhas sobre como e o quê trabalhar, que aspectos e fenômenos privilegiar. Para organizar o trabalho dentro de cada

uma interface importante com as artes, a música em particular, ou ainda, o reconhecimento dos vários instrumentos associados a diferentes culturas. Nessa releitura, o tema imagem e som redireciona o estudo da ótica e das ondas mecânicas, colocando em destaque as competências para a compreensão do mundo da informação que se deseja privilegiar.

Equipamentos elétricos e telecomunicações

O desenvolvimento dos fenômenos elétricos e magnéticos, por exemplo, pode ser dirigido para a compreensão dos equipamentos elétricos que povoam nosso cotidiano, desde aqueles de uso doméstico aos geradores e motores de uso industrial, provendo competências para utilizá-los, dimensioná-los ou analisar condições de sua utilização. Ao mesmo tempo, esses mesmos fenômenos podem explicar os processos de transmissão de informações, desenvolvendo competências para lidar com as questões relacionadas às telecomunicações. Dessa forma, o sentido para o estudo da eletricidade e do eletromagnetismo pode ser organizado em torno desses aspectos mais presentes no mundo vivencial.

Matéria e radiação

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma a que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e *lasers* presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores. A compreensão dos modelos para a constituição da matéria deve, ainda, incluir as interações no núcleo dos átomos e os modelos que a ciência hoje propõe para um mundo povoado de partículas. Mas será também indispensável ir mais além, aprendendo a identificar, lidar e reconhecer as radiações e seus diferentes usos. Ou seja, o estudo da matéria e radiação indica um tema capaz de organizar as competências relacionadas à compreensão do mundo material microscópico.

Universo, terra e vida

Finalmente, será indispensável uma compreensão de natureza cosmológica, permitindo ao jovem refletir sobre sua presença e seu “lugar” na história do universo, tanto no tempo como no espaço, do ponto de vista da ciência. Espera-se que ele, ao final da educação básica, adquira uma compreensão atualizada das hipóteses, modelos e formas de investigação sobre a origem e evolução do Universo em que vive, com que sonha e que pretende transformar.

tema, as atividades planejadas podem ser sistematizadas em três ou quatro unidades temáticas, cuja delimitação e sequência favoreçam o objetivo desejado. Essa estruturação pode contribuir para evitar que as limitações de tempo ou outras dificuldades acabem por restringir o âmbito e o sentido, em termos de compreensão de mundo, que se venha a atribuir a cada tema estudado. Uma proposta mais detalhada de possibilidades em relação às unidades temáticas pode ser encontrada nos PCNs+, onde é realizada uma tentativa de exemplificar as possibilidades de relação entre temas e competências.

Estratégias para o ensino de Física

A discussão sobre as competências e os conhecimentos a serem promovidos não pode ocorrer dissociada da discussão sobre as estratégias de ensino e aprendizagem a serem utilizadas em sala de

aula, na medida em que são essas mesmas estratégias que expressam, de forma bem mais concreta, o que se deseja promover. As mudanças esperadas para o Ensino Médio se concretizam na medida em que as aulas deixem de ser apenas de “quadro negro e giz”.

Para enfatizar os objetivos formativos e promover competências, é imprescindível que os conhecimentos se apresentem como desafios cuja solução, por parte dos alunos, envolve mobilização de recursos cognitivos, investimento pessoal e perseverança para uma tomada de decisão. Nessas circunstâncias, importa o desenvolvimento de atividades que solicitem dos alunos várias habilidades, entre elas, o estabelecimento de conexões entre conceitos e conhecimentos tecnológicos, o desenvolvimento do espírito de cooperação, de solidariedade e de responsabilidade.

Fazer opções por determinadas formas de ação ou encaminhamento das atividades não é tarefa simples, já que exige o reconhecimento do contexto escolar específico, suas características e prioridades, expressas nos projetos dos professores e alunos e nos projetos pedagógicos das escolas. Discutir estratégias não deve, também, confundir-se com a prescrição de técnicas a serem desenvolvidas em sala de aula.

Mesmo reconhecendo a complexidade da questão, será sempre possível apresentar alguns exemplos, com o objetivo de reforçar o significado último que se deseja do trabalho escolar, no que diz respeito mais de perto ao fazer da Física. Algumas propostas nessa direção estão apresentadas nos PCNs+. Dizem respeito à necessidade de tomar o mundo vivencial como ponto de partida, de refletir mais detidamente sobre o sentido da experimentação e sua importância central na formação em Física. Tratam da necessidade de reconhecer e lidar com a concepção de mundo dos alunos, com seus conhecimentos prévios, com suas formas de pensar e com a natureza da resolução de problemas. Por outro lado, e respondendo às exigências dos jovens, discutem possíveis espaços da Física enquanto atividade cultural e as formas de tornar realidade a responsabilidade social deles frente às exigências do ambiente em que vivem.

Conclusão

O conjunto das idéias aqui resumidas (e um pouco mais bem detalhadas nos PCNs+) é apenas um ponto de partida para uma nova forma de encarar a presença da Física na escola média. Será somente através de práticas concretas, tentativas, erros e sucessos, experiências compartilhadas e muita discussão que, de fato, começarão a ser produzidas novas alternativas ao ensino atual.

É necessário que seja dada uma atenção toda especial para a articulação entre as competências, conhecimentos e estratégias a serem propostos e desenvolvidos. Essa, com certeza, é uma articulação que demanda atenção e discussão, para que gradualmente possam ser identificados os fatores que integrem esses vários aspectos, concretizando novas práticas de sala de aula. Discussão, reflexão, troca de experiências e vivências são as tarefas de sempre, mas prioritárias no momento. E embora a questão educacional tenha sempre se revelado como altamente complexa, a garantia de sucesso para a empreitada é nunca perder de vista o objetivo último da cidadania desejada, uma cidadania consciente, atuante e solidária.

Para enfatizar os objetivos formativos e promover competências, é imprescindível que os conhecimentos se apresentem como desafios cuja solução, por parte dos alunos, envolve mobilização de recursos cognitivos, investimento pessoal e perseverança para uma tomada de decisão

Nota

[1] Artigo 10 da Resolução nº 3, CEB/CNE, jun. 1998.



.....
Elio Carlos Ricardo

Doutorando em Educação Científica e
Tecnológica – UFSC

E-mail: elio_ricardo@hotmail.com
.....

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB/1996) aponta para a necessidade de uma reforma em todos os níveis educacionais, que se inspira, em parte, nas visíveis transformações por que passa a sociedade contemporânea. Isso é mais claramente expresso nas Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM), que traduzem os pressupostos éticos, estéticos, políticos e pedagógicos daquela lei sendo, portanto, obrigatórias.

Para o nível médio, foram elaborados os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e, mais recentemente, os PCN+ [1], os quais procuram oferecer subsídios aos professores para a implementação da reforma pretendida e são divididos por áreas de conhecimento, a fim de facilitar, conforme as DCNEM, um trabalho interdisciplinar. Entretanto, há uma distância entre o que está proposto nesses documentos e a prática escolar, cuja superação tem se mostrado difícil. As dificuldades vão desde problemas com a formação inicial e continuada à pouca disponibilidade de material didático-pedagógicos; desde a estrutura verticalizada dos sistemas de ensino à incompreensão dos fundamentos da lei, das Diretrizes e Parâmetros. Especialmente essas últimas é que serão tratadas nesse texto, discutindo-se, ainda, possíveis caminhos para sua superação.

Um dos pontos centrais da LDB/96 é a nova identidade dada ao Ensino Médio como sendo a etapa final do que se entende por educação básica. Ou seja, espera-se que ao final desse nível de ensino o aluno esteja em condições de partir para a realização de seus projetos pessoais e coletivos; é a formação necessária para a constituição do cidadão, na concepção da lei. Assim, não é por outra razão que as DCNEM destacam a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico como objetivo central do Ensino Médio.

Este artigo discute alguns conceitos presentes nas Diretrizes Curriculares Nacionais e nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, cuja incompreensão tem se mostrado um dos entraves à implementação das propostas desses documentos em sala de aula. Aponta ainda para a dimensão da reforma pretendida e a necessidade de rever não só os conteúdos a ensinar, mas as concepções e práticas educacionais correntes (publicado originalmente na Física na Escola v. 4, n. 1, p. 8-11 (2003)).

Somente esse caráter de terminalidade já seria suficiente para compreender que a reforma pretendida transcende a mera alteração de conteúdos a ensinar, mas tem a dimensão mais ampla de desenvolver as várias qualidades humanas; daí a idéia de um ensino por competências.

Em relação à primeira dificuldade que será aqui tratada, qual seja, a estrutura atual da escola e sua hierarquia verticalizada, é imperativo que os professores leiam e discutam a LDB/96 e os documentos elaborados pelo Ministério da Educação (MEC), a saber: DCNEM, PCN e PCN+. Essa exigência serve até para que os professores não sejam “enganados” em nome desses documentos, a partir de discussões isoladas e fragmentadas. Ao contrário, o professor terá de assumir seu papel de ator principal da reforma, assegurado pela lei, e deixar de ser mero executor de programas impostos. Para isso, a leitura, a discussão e a busca de compreensão dos documentos do MEC em seu todo, assim como do projeto político-pedagógico da escola, são condições necessárias. Necessárias mas não suficientes, pois as propostas por elas mesmas não mudam as práticas de sala de aula, mas a reflexão e a avaliação dessas podem levar a reorientações significativas.

Essa apropriação do todo da proposta, e não apenas de partes isoladas, é enfatizada pelos PCN e DCNEM, pois, dada a dimensão da proposta de reforma, inovações solitárias em uma disciplina correm o risco de serem um “clamor no deserto” e não envolvem a escola. A elaboração do projeto político-pedagógico da escola deveria ser uma construção coletiva. Isso, por outro lado, não implica inventar novas disciplinas ou que a escola trabalhe com um único tema, mas que haja uma ação articulada com vistas aos problemas e desafios da comunidade, da cidade, enfim, que a escola não seja mero cenário, mas que de fato seja um ambiente privilegiado das relações sociais. E, que a ética, valores e atitudes sejam também conteúdos a ensinar.

Nesse sentido, as DCNEM ressaltam como princípios pedagógicos a identidade, a diversidade e a autonomia. Autonomia para a escola elaborar seu projeto verdadeiramente político e substancialmente pedagógico, que contemple as características regionais e ao mesmo tempo cumpra a base curricular comum estabelecida em lei e que será objeto de avaliação pelo MEC, envolvendo também a diversidade. E, que cada escola tenha e assuma uma identidade, proporcionada especialmente pela parte diversificada do currículo, na qual poderão ser complementados e aprofundados alguns dos saberes trabalhados no núcleo comum. Nessa parte do currículo a escola pode “ousar” mais, ou seja, partir para o desenvolvimento de projetos inovadores, engajar os alunos, a comunidade, enfim, não há uma receita pronta, há sim uma escola que precisa mudar e os professores querem mudar! Como educar um sujeito autônomo se a escola não dá espaço para que o aluno discuta, fale, participe? Como levar os alunos a continuar aprendendo se o professor não o faz?

Certamente, essa reorientação não se dá de uma hora para outra. É um processo de continuidade e rupturas. Continuidade das propostas, avaliações, reavaliações e inovações que dão resultados satisfatórios; e rupturas com práticas que se mostram inadequadas ou ineficientes, como o ensino

Um dos pontos centrais da LDB é a nova identidade dada ao Ensino Médio como sendo a etapa final do que se entende por educação básica. Ou seja, espera-se que ao final desse nível de ensino o aluno esteja em condições de partir para a realização de seus projetos pessoais e coletivos

O Ensino Médio irá preparar não só para o prosseguimento dos estudos, mas também para que o aluno possa fazer escolhas e, tanto quanto possível, decidir seu futuro

propedêutico, no qual o que se ensina só terá sentido, se é que tem, em etapas posteriores à educação formal. Isso não se aplica mais a um nível de ensino que é etapa final. O Ensino Médio irá preparar não só para o prosseguimento dos estudos, mas também para que o aluno possa fazer escolhas e, tanto quanto possível, decidir seu futuro, que pode não ser um vestibular, mas um curso profissionalizante, por exemplo. Isso não significa admitir que haja um caminho inevitável ao mercado de trabalho, significa sim, pensar que nem todos os alunos egressos do Ensino Médio irão imediatamente para um curso superior. Para esses, do que servirá a escola? Do que

servirá a Física?

Os PCN+ se aliam aos PCN procurando dar um novo sentido ao ensino da Física, destacando que se trata de “construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade”

Algumas dessas preocupações estão presentes nos PCN+, que trazem importantes subsídios para a implementação da proposta de reforma. O objetivo central desse documento é proporcionar uma possibilidade de organização escolar, dentro de cada área de conhecimento, buscando esclarecer formas de articulação entre as competências gerais e os conhecimentos de cada disciplina em potencial. Para isso, oferecem ainda um conjunto de temas estruturadores da ação pedagógica. Entretanto, o documento salienta que não se trata de uma imposição, mas de um exercício que procura contemplar as competências gerais e os conhecimentos, os quais não se excluem, mas se complementam, se desenvolvem mutuamente.

A partir das três grandes competências de representação e comunicação, investigação e compreensão, contextualização sócio-cultural, os PCN+ sugerem para a Física os seguintes temas: *movimentos: variações e conservações; calor, ambiente e usos de energias; som, imagens e informações; equipamentos elétricos e telecomunicações; matéria e radiação; Universo, Terra e vida*. Cada um desses temas são subdivididos em unidades temáticas e evidenciadas suas relações entre as competências mais específicas e os conhecimentos físicos envolvidos. Os PCN+ se aliam aos PCN procurando dar um novo sentido ao ensino da Física, destacando que se trata de “construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade” [2]. É, portanto, de se perguntar não somente sobre “o que ensinar de Física”, mas principalmente “para que ensinar Física”. Acrescentam ainda os PCN+ que o nível de aprofundamento e as escolhas didáticas dependem das necessidades/

É de se perguntar não somente sobre “o que ensinar de Física”, mas principalmente “para que ensinar Física”

realidade de cada escola, por isso é que o projeto político-pedagógico terá de ser uma elaboração coletiva, pois tais decisões ultrapassam o alcance de um professor isoladamente.

Mas, o que se poderia entender por competências no contexto da reforma? Ao que parece, a discussão acerca da noção de competências na educação brasileira ganhou força após a LDB/96. Um dos autores que tem sido fonte de leitura e discussão sobre esse tema é Philippe Perrenoud, já com vários livros traduzidos para o português. Paradoxalmente, a compreensão do que seria um ensino por competências ainda está longe de acontecer. Segundo esse autor, a noção de competências pode ser entendida como “uma capacidade de agir eficazmente em um determinado tipo de situação, apoiada em conhecimentos, mas sem se limitar a eles” [3]. As competências seriam então a mobilização de recursos cognitivos, entre eles o conhecimento, a fim de responder a uma situação-problema em tempo real. Essa

utilização, integração e mobilização se dará em uma transposição de contextos, com vistas a inferir possíveis soluções ou elaborar hipóteses.

Assim, é possível dizer que não se ensinam diretamente competências, mas criam-se condições para seu desenvolvimento. As habilidades, que estariam mais ao alcance da escola, não deveriam ser compreendidas como um simples saber-fazer procedimental, mas talvez um *saber o que fazer*, ou ainda *saber e fazer*, articulando assim competências e habilidades, pois essas são indissociáveis.

Entretanto, além de se compreender o conceito de competências, é também essencial repensar a concepção de educação presente na escola. É pôr em perspectiva os objetivos educacionais e se perguntar que sujeito pretende-se formar e para qual sociedade? Em um ensino por competências não serão os conteúdos que determinarão as competências, mas o contrário. No ensino tradicional poderia se pensar que a sequência para as escolhas didáticas é: conteúdo, transposição didática, sala de aula, pré-requisitos, expectativa futura a cargo do aluno. Ou seja, os conteúdos são os primeiros a serem escolhidos e o que se vai fazer com eles ao final do Ensino Médio está a cargo do aluno. Ele “tem” todos os pré-requisitos, basta juntar tudo! Será que isso ocorre?

O que se pretende em um ensino por competências é mudar essa sequência de modo que as competências gerais norteiem as escolhas didáticas e práticas pedagógicas, inclusive dos conteúdos, exigindo uma nova transposição didática. Certamente que esse caminho não é linear, mas dinâmico, a partir das exigências do que se pretende conhecer/ensinar. Ao proporem novas orientações para o ensino por meio de temas estruturadores, os PCN+ ressaltam que “competências e conhecimentos são desenvolvidos em conjunto e se reforçam reciprocamente.” [4]

Um outro autor que trata do tema competências é Guy le Boterf [5], o qual descreve o desenvolvimento de competências como sendo a passagem pelos estados de *incompetente inconsciente*, no qual o sujeito não sabe que não sabe alguma coisa; de *incompetente consciente*, onde o sujeito sabe que não sabe algo; de *competente consciente*, no qual o sujeito sabe o que sabe sobre algo; e de *competente inconsciente*, onde o sujeito não sabe o que sabe, pois teria recursos cognitivos mobilizáveis em situações-problema que ainda não conhece. A palavra incompetente pode parecer pejorativa, mas não é esse sentido usual dado ao termo aqui.

Nos textos de Philippe Perrenoud aparecem ainda outros conceitos, especialmente da didática francesa, que podem ser obstáculos à compreensão da noção de competências, entre eles o de transposição didática e de contrato didático. A idéia de transposição didática ganhou notoriedade no ensino das ciências a partir de Yves Chevallard [6], a qual trata basicamente dos processos de descontextualização, despersonalização, e outros por que passa um *saber sábio*, ou acadêmico, até chegar nos programas escolares (saber a ensinar) e na sala de aula (saber ensinado). Essa transposição implica uma mudança de forma e conteúdo e uma passagem de um domínio a outro. Philippe Perrenoud alerta

Além de se compreender o conceito de competências, é também essencial repensar a concepção de educação presente na escola. É por em perspectiva os objetivos educacionais e se perguntar que sujeito pretende-se formar e para qual sociedade

Não se ensina diretamente competências, mas cria-se condições para seu desenvolvimento. As habilidades, que estariam mais ao alcance da escola, não deveriam ser compreendidas como um simples saber-fazer procedimental, mas talvez um saber o que fazer, ou ainda saber e fazer

que não é garantido que a mera transposição da física dos físicos seja seguro para fazer os adolescentes adquirirem noções de Física, especialmente os que não se destinam à formação científica. Para esse autor a noção de competências é um problema de transposição didática, em sentido amplo, pois não basta a legitimação acadêmica do que se pretende ensinar, mas há necessidade de se buscar legitimação cultural, tanto quanto de compreender esse processo.

Perrenoud alerta que não é garantido que a mera transposição da física dos físicos seja seguro para fazer os adolescentes adquirirem noções de Física, especialmente os que não se destinam à formação científica

Nesse sentido, também as práticas sociais, as experiências, os saberes dos alunos entram em jogo e é preciso compreender que muitas regras desse “jogo da aprendizagem” são implícitas, o que se poderia entender como um contrato didático. Nessa relação entre o professor, o saber e o aluno/alunos não há um único saber, embora exista um programa, mas os alunos têm suas relações pessoais com os saberes que, em muitos casos, são de difícil acesso. “Colocar o aluno em jogo” e fazer com que ele continue essa relação com os saberes, agora saberes científicos, para além da escola também tem a ver com a noção de competências. Esse é um dos objetivos da “negociação” desse contrato didático, qual seja, de ampliar os espaços de diálogo, a fim de que a relação didática não se torne um “diálogo de surdos” [7].

Dois outros conceitos presentes nos PCN e DCNEM, entendidos como eixos estruturadores da organização curricular, carecem de discussão a contextualização e a interdisciplinaridade. A contextualização visa a dar significado ao que se pretende ensinar para o aluno. Ou seja, se o ponto de partida é a realidade vivida do aluno, também será o ponto de chegada, mas com um novo olhar e com uma nova compreensão, que transcende o cotidiano, ou espaço físico proximal do educando. A contextualização auxilia na problematização dos saberes a ensinar, fazendo com que o aluno sinta a necessidade de adquirir um conhecimento que ainda não tem. Todavia, a aprendizagem se dá pela elaboração de pensamento e capacidade de abstração, de modo que não se pode confundir a contextualização com uma diluição em informações genéricas e superficiais, desprezando o rigor que as disciplinas científicas exigem.

As mudanças na sociedade atual estão ocorrendo e há, bem ou mal, uma reforma educacional em andamento. Podem-se considerar duas alternativas: protagonizar a reforma, dentro do alcance de cada um, ou ser atropelado por ela

Também a interdisciplinaridade é mais que a mera justaposição de metodologias e linguagens de mais de uma disciplina. É a complexidade do objeto que se pretende conhecer/compreender que exige reconhecer e ultrapassar os limites de uma única disciplina. É o diálogo, o complemento, o confronto com outros conhecimentos com vistas a uma melhor compreensão do mundo. Isso coloca a interdisciplinaridade em uma dimensão epistemológica e não apenas uma prática metodológica, ou multidisciplinar, ou ainda simples exemplos ilustrativos que envolvam outras áreas.

As DCNEM, os PCN e os PCN+ ainda são documentos relativamente novos e, portanto, suas propostas precisam ser discutidas e debatidas. Um exemplo disso são alguns entendimentos de que a noção de competências, ao centralizar unicamente no indivíduo o processo formativo, poderia esconder a intenção de lhe atribuir a responsabilidade por não conseguir realizar seus planos pessoais e coletivos, em vez de responsabilizar aspectos sócio-econômicos excludentes ainda presentes em nossa sociedade. Por outro lado, tais documentos oferecem importantes subsídios que possibilitam uma

reorientação no ensino das ciências que pode contribuir para a superação dessa condição. O que a Física pode fazer pelos alunos? Essa é uma questão fundamental.

Observa-se ainda que há uma distância a ser vencida entre a proposta e a prática, cujo sucesso depende da superação de algumas dificuldades detectadas em pesquisas anteriores [8], dentre as quais se destacam: falta de espaço para discussão das propostas do MEC em seu todo e para a elaboração coletiva do projeto político-pedagógico da escola; ausência de programas de formação continuada; desencontro de informações entre as instâncias federais, estaduais e a escola; pouco material didático disponível verdadeiramente compatível com os PCN e outras.

No entanto, as mudanças na sociedade atual estão ocorrendo e há, bem ou mal, uma reforma educacional em andamento. Podem-se considerar duas alternativas: protagonizar a reforma, dentro do alcance de cada um, ou ser atropelado por ela. Espera-se que esse convite à reflexão seja também um convite a se optar pela primeira possibilidade.

Agradecimento

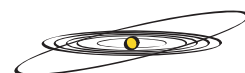
Gostaria de agradecer ao Prof. Dr. Arden Zylbersztajn, do Departamento de Física da UFSC, pelas contribuições dadas a este artigo.

Referências

- [1] MEC, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. (MEC SEMTEC, Brasília, 2002). 144 p.
- [2] MEC, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias* (MEC SEMTEC, Brasília, 2002b), p. 59.
- [3] P. Perrenoud, *P. Construir as Competências desde a Escola* (Trad. Bruno Charles Magne, Artes Médicas Sul, Porto Alegre, 1999), 90 p.
- [4] P. Perrenoud, *Construir as Competências desde a Escola* (Trad. Bruno Charles Magne, Artes Médicas Sul, Porto Alegre, 1999b), p. 13.
- [5] Guy le Boterf. *L'ingénierie des compétences* (Paris, 1998). Pode ser encontrado resumido no site: http://www.adbs.fr/site/emploi/guide_emploi/competen.pdf.
- [6] Yves Chevallard, *La Transposición Didáctica: del saber sabio al saber enseñado* (Trad. Claudia Gilman, Aique Grupo Editor, Buenos Aires, 1991), 196 p.
- [7] J.P. Astolfi e M. Develay, *A Didática das Ciências* (Trad. Magda S. Fonseca, Papirus, São Paulo, 1995), 132 p., 5. ed.
- [8] E.C. Ricardo, *Ensaio - Avaliação e Políticas Públicas em Educação*. **10**, 141-160 (2002).
- [9] E.C. Ricardo e Arden Zylbersztajn, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **19**, 351-370 (2002).



Novas Estratégias de Divulgação Científica e de Revitalização do Ensino de Ciências nas Escolas



.....
Eduardo de Campos Valadares

Centro de Inovação Multidisciplinar
Depto. de Física – ICEx
Universidade Federal de Minas Gerais
C.P. 702, CEP 30123-970 Belo Horizonte-MG
E-mail: ecampos@dedalus.lcc.ufmg.br
.....

Introdução

Nas últimas três décadas houve no Brasil um notável avanço nos programas de pós-graduação e uma expansão significativa do sistema universitário como um todo. Entretanto, o país ocupa ainda uma posição muito modesta no cenário internacional no que concerne à geração de patentes e de inovação tecnológica, para não mencionar o enorme contingente de pessoas excluídas socialmente.

O cenário descrito acima pode ser também atribuído ao nosso sistema educacional, em todos os níveis, que dá pouca ênfase à valorização do espírito empreendedor e ao trabalho manual criativo voltado para a inovação. O ensino de ciências praticado no Brasil, na grande maioria das escolas de nível Médio e Fundamental e, em grande extensão, também nas universidades, pressupõe uma atitude passiva dos alunos que não favorece a criatividade, a inovação e a transformação de conhecimento em riquezas. Ciente dessa realidade, desenvolvemos no Departamento de Física da UFMG um projeto-piloto de divulgação científica de baixo custo que pretende estimular uma atitude mais pró-ativa no nosso sistema educacional e estreitar a relação das escolas com a comunidade. A experiência que acumulamos gerou uma metodologia de ensino de ciências [1] com potencial para reverter o quadro vigente.

Neste trabalho apresentamos um relato de nossa trajetória e as várias estratégias adotadas para popularizar a ciência a partir de protótipos baseados em materiais reciclados e de baixo custo, aliando trabalho em equipe, criatividade e o prazer da descoberta. Alguns experimentos são também descritos visando a ilustrar o espírito da presente proposta.

Este artigo apresenta um novo enfoque de divulgação científica voltado para a revitalização do ensino de Ciências nas escolas dos ensinos Médio e Fundamental. Sua meta é a realização de projetos práticos de baixo custo visando ao desenvolvimento da criatividade e da cidadania através de uma atitude pró-ativa de alunos e professores (publicado originalmente na Física na Escola v. 2, n. 2, p. 10-13 (2001)).

Exposições interativas em shoppings, praças e em outros locais públicos

A idéia original de nosso projeto² era disponibilizar para o grande público uma série de protótipos de baixo custo associados aos avanços tecnológicos de nossa época (aquecimento solar, robótica, foguetes, fibras ópticas de água, discos voadores/*hovercrafts* e testes aerodinâmicos, dentre outros). Para implementar a nossa proposta, contamos com a simpatia e o apoio financeiro do Instituto Euvaldo Lodi de Minas Gerais (IEL-MG), da Federação das Indústrias de Minas Gerais (FIEMG) e da UFMG através das Pró-Reitorias de Graduação e de Extensão. Com isto pudemos realizar pesquisa e desenvolvimento utilizando materiais reciclados e de baixo custo em condições compatíveis com a realidade da maioria de nossas escolas do Ensino Médio e Fundamental. Nossa meta era demonstrar que é possível dotar as escolas de uma nova metodologia viável que revitalize o interesse de nossas crianças e adolescentes pela ciência e suas aplicações práticas e que contribua ao mesmo tempo para o desenvolvimento de uma atitude pró-ativa. É notório em nosso meio a predominância do ensino estritamente livresco e formal, sem vínculos com a realidade prática, e a ausência de desafios, o que inevitavelmente contribui para o desinteresse dos alunos pelas ciências e suas aplicações práticas, a despeito de elas estarem presentes no seu dia-a-dia.

Organizamos diversas exposições em parques, *shoppings* [2,3] festas infantis e até em acampamentos de escoteiros, além de participarmos da UFMG-Jovem, evento anual realizado no *campus* da UFMG que abrange as diversas áreas do saber e que atrai milhares de crianças e adolescentes. Uma preocupação que sempre tivemos foi o uso de uma linguagem acessível ao público leigo e a criação de um ambiente favorável à descoberta. A excelente acolhida do público nos encorajou a dar o próximo passo – a organização de oficinas de criatividade.

Oficinas de criatividade: Desafios e descobertas

O objetivo das oficinas é criar um verdadeiro ateliê científico e tecnológico, um ambiente instigante onde os participantes se sintam estimulados a trabalhar em equipe e a desenvolver novas idéias, associando conceitos básicos a projetos práticos. Um dos desafios é a realização de projetos inovadores utilizando materiais reciclados e de baixo custo, o que torna a nossa proposta acessível a *todas* as escolas.

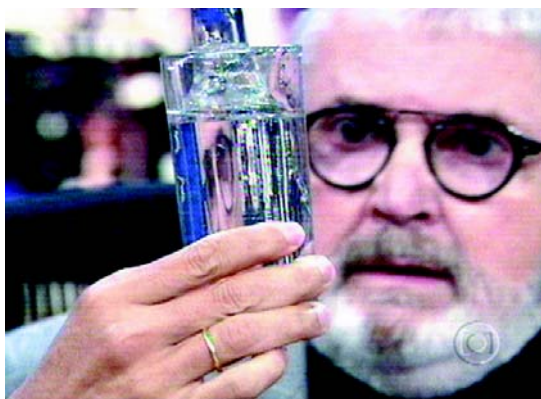
Num primeiro estágio os participantes realizam projetos simples, visando a adquirir habilidades manuais e uma base prática de como resolver problemas específicos utilizando ferramentas de uso doméstico e materiais encontrados em toda parte. Já nesse estágio é comum surgirem novas idéias e o projeto adquire então um caráter inovador. Os protótipos são testados exaustivamente, convertendo-se em instrumentos de descoberta e tornando-se fonte de novas idéias.

Em uma etapa posterior das oficinas é colocado aos participantes o desafio de conceber e implementar os seus próprios projetos.

Temos testado nossa metodologia em escolas públicas e privadas, centros de criatividade e na própria UFMG, abrangendo crianças na faixa de 6 a 12 anos, adolescentes e adultos, incluindo professores do Ensino Médio e Fundamental, com excelentes resultados.



O autor de *Física Mais que Divertida*, prof. Eduardo Valadares, no programa de Jô Soares.



Jô Soares torna invisível uma garrafa contendo glicerina ao inseri-la em um copo contendo também glicerina, cujo índice de refração é quase igual ao do vidro.

população e para a disseminação da importância da criatividade e da atitude empreendedora para o nosso desenvolvimento socioeconômico. Outro ponto fundamental a ser ressaltado é o interesse da mídia por projetos educacionais dessa natureza, permitindo atingir um público bastante amplo.

Produção de material didático

Como resultado de nossas ações produzimos um livro com mais de 100 experimentos de baixo custo, *Física Mais que Divertida*⁴, cuja versão em alemão será publicada no início de 2002. Atualmente estamos atuando no ambiente das escolas através de oficinas com projetos baseados no livro. Os resultados obtidos são bastante animadores. A nossa expectativa é levar uma visão mais prática do ensino de ciências para um número cada vez maior de escolas e, uma vez gerada uma massa crítica, pretendemos realizar competições locais de projetos inovadores e incentivar as

equipes mais inovadoras a participarem de competições internacionais.

A nossa meta é ampliar o escopo do nosso projeto através da produção de novos livros e de um portal na internet com um banco de idéias e espaço para troca de experiências. Concebemos também uma exposição interativa permanente de "Física divertida", sediada no Museu de História Natural da UFMG, a primeira do gênero de Belo Horizonte. Além disso, estamos concebendo programas educacionais voltados para professores e pretendemos divulgar nossa metodologia em escolas de periferia, em esforço integrado envolvendo a universidade, o poder público e a comunidade. Um ponto a ser ressaltado é que o sucesso de tais ações depende crucialmente da formação de uma ampla rede envolvendo escolas, universidade, mídia, livrarias, *shoppings*, indústria, governos estaduais e municipais e agências federais de fomento, dentre outros. Vivemos um momento extremamente propício à disseminação de novos paradigmas educacionais, já que tais instituições demonstram consciência da importância da inovação no contexto educacional para o progresso econômico e social do país, disponibilizando recursos financeiros para programas dessa natureza.

***Física Mais que Divertida,*
com mais de 100
experimentos de baixo
custo, leva uma visão mais
prática do ensino de
ciências para um número
cada vez maior de escolas**

Exemplos de experimentos de baixo custo

Sustentação das asas de aviões

Material: folha de papel, linha fina de costura ou pequenas tiras de papel, cola ou fita adesiva.

Passo a passo: Segure uma folha de papel (“asa”) com os dedos das duas mãos e depois sopre por cima da folha e depois por baixo dela, como indicado na Figura 1. Esse experimento mostra que tanto as correntes de ar que passam por baixo da “asa” como as que passam por cima da mesma contribuem para a sustentação da asa. A velocidade do ar que sai da boca praticamente só tem uma componente horizontal. A folha de papel força o ar a se mover ao longo de sua superfície curva, de modo que a velocidade do ar adquira uma componente vertical no sentido para baixo. Para observar este efeito basta você fixar uma das pontas de pequenos pedaços de linha fina de costura ou tiras de papel com cola ou fita adesiva em diferentes pontos na parte de cima e na parte de baixo da folha. Observe as linhas/tiras enquanto você sopra. A força de reação correspondente, em ambos os casos, é para cima, contrabalançando o peso da folha.

Túnel de vento e ângulo de ataque

Material: garrafa pet de 2 L, cartolina, arame, cola, canudinho, ventilador (ou um bom fôlego)

Passo a passo: Corte a garrafa de modo a obter um tubo de 21 a 22 cm de comprimento com duas aberturas (túnel de vento). Com o arame, fabrique um garfo com dois longos dentes, conforme indicado na Figura 2. Faça dois rasgos paralelos de 7 cm de comprimento e uns 3 mm de largura na parte superior do tubo e dois furos na parte inferior do mesmo para encaixe dos dentes (veja a figura). Fabrique uma asa de cartolina com 7 cm de comprimento, como indicado. Faça nela dois furos com o diâmetro ligeiramente menor que o dos canudinhos atravessando a sua parte de cima e a de baixo e encaixe neles dois pedaços de canudinho (veja a Figura 2). Introduza os dentes do garfo nos dois rasgos, depois nos furos da asa e finalmente nos furos do tubo. Ao mover o cabo do garfo você pode modificar facilmente a inclinação da asa (o “ângulo de ataque”). Coloque a saída do túnel em frente a um ventilador ligado, como mostrado, e veja o que acontece com a asa quando você varia o ângulo



Figura 1. Ilustração do princípio de sustentação de uma asa de avião.

de ataque. Ao aumentar este ângulo, o vento, que acompanha o perfil da asa, adquire uma componente vertical cada vez maior, no sentido para baixo, como observado no experimento anterior com a folha de papel. A força de reação para cima tende então a aumentar. Entretanto, para ângulos de ataques acima de um certo valor crítico, a força de sustentação (reação) começa a diminuir devido ao aparecimento de turbulência. Para observar esses efeitos basta fixar na extremidade inferior da asa pedaços de fio de linha ou tiras pequenas de papel e aumentar gradualmente o ângulo de ataque da asa. Pode-se demonstrar facilmente que a asa se mantém suspensa pela ação do vento mesmo quando o avião fica de cabeça para baixo [5,6].

Raquetadas de sabão [4,7]

Material: aro de arame com cerca de 12 cm de diâmetro (tente aros com diâmetros menores!), tubo de caneta, água, detergente e glicerina (encontrada em farmácias em tubos de 100 mL).

Solução de sabão: Misture em um recipiente água (2 L), 250 mL de detergente 100 mL de glicerina.

Passo a passo: Mergulhe o aro na solução. Ao retirá-lo, um filme de sabão ficará ancorado no aro. Eis a sua raquete! Segure o seu cabo e mergulhe a ponta do tubo de caneta por alguns segundos na solução de sabão. Retire o tubo e sopre pela outra extremidade para obter uma bolha de sabão. Está pronta a bola! Pode começar a dar suas ракетadas. Você pode jogar tênis dessa forma graças às propriedades das moléculas típicas dos detergentes, chamadas de *hidrocarbonetos*. Cada uma dessas moléculas tem uma “cabeça” e uma “cauda”. Se a cabeça da molécula adora água, a sua cauda detesta. Pelas figuras, você pode ver que tanto na bola como na raquete as “caudas” das moléculas de detergente estão do lado de fora do filme de sabão. A bola e a raquete tendem a não se grudar porque as “caudas” de uma procuram evitar a água que está no filme da outra, devido a forças de repulsão de van der Waals (interação dipolo-dipolo).

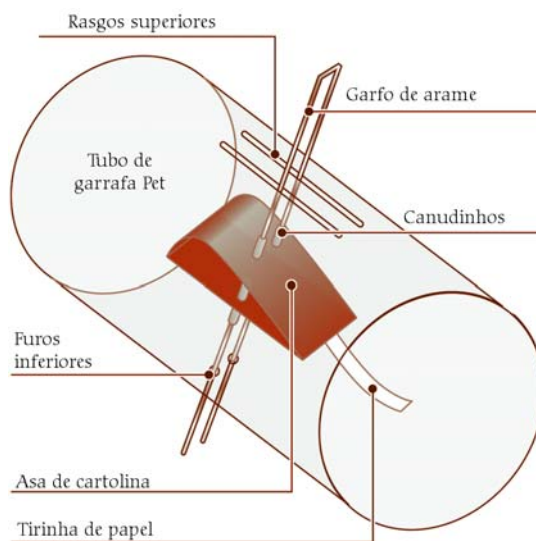


Figura 2. Esquema do túnel de vento.

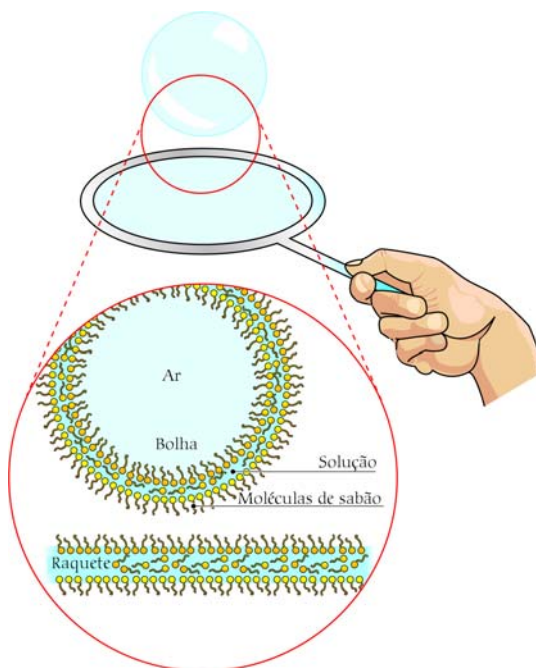


Figura 3. Ilustração de como a interação dipolar atua em uma solução de sabão.

“Tunelamento” de objetos macroscópicos⁴

Material adicional: bola de isopor com aproximadamente 2,4 cm de diâmetro ou bolinha de gude ou pedra (tente outros objetos) e uma garrafa pet de 2 L.

Passo a passo: Mergulhe o aro na solução para obter um filme de sabão ancorado no mesmo (a “raquete”). Mergulhe em seguida a bola de isopor ou a bolinha de gude (ou outro objeto qualquer) na solução e em seguida deixa-a cair sobre a raquete. Esse experimento mostra que a bola pode atravessar o filme sem destruí-lo, de modo análogo ao fenômeno atômico conhecido como *tunelamento quântico*. Nesse caso um elétron pode atravessar uma “barreira” sem alterar as características da mesma. É como se o elétron cavasse um túnel enquanto atravessa a barreira, que se fecha à medida que ele avança. Você pode ainda ancorar nas paredes internas de um tubo de garrafa pet (veja “túnel de vento”) dois filmes de sabão paralelos (“barreira dupla”) e fazer a bola “tunelar” com ambos os filmes sem destruí-los. Tente repetir o truque com duas raquetes, uma em cima da outra. É pura diversão!

6. Observações finais

Acreditamos que a valorização da criatividade e da inovação, através das ações propostas, possa criar um clima mais favorável à inovação nas escolas e ao desenvolvimento pleno de nossas crianças e adolescentes e, por conseguinte, de nossa sociedade como um todo. Essa preocupação nos parece pertinente tendo em vista a crescente eliminação de postos de trabalho decorrentes do uso de robôs e *softwares*. Trata-se, em última análise, de uma questão de cidadania e de inserção socioeconômica, já que na sociedade do conhecimento as pessoas serão valorizadas pela sua capacidade criativa de encontrar oportunidades e soluções para problemas e desafios.

Agradecimento

As ilustrações dos experimentos, gentilmente cedidas pela Editora UFMG, foram retiradas da segunda edição do livro “Física Mais que Divertida”.

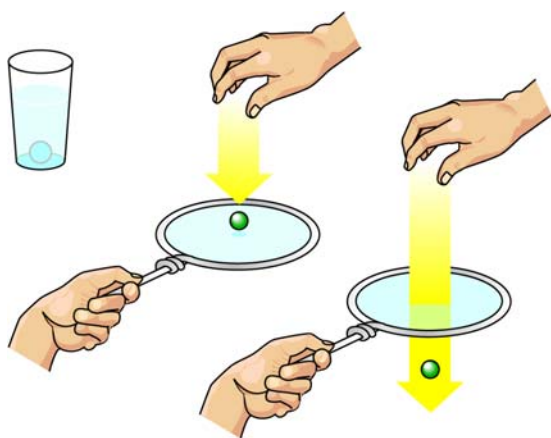


Figura 4. Exemplo macroscópico de ‘tunelamento quântico’: a bolinha passa pela ‘barreira’ sem alterar as características da mesma.

Referências

- [1] Propostas de experimentos de baixo custo centradas no aluno e na comunidade, Eduardo de Campos Valadares, *Química Nova na Escola* **13** (2001). Veja também na *internet*: www.fisica.ufmg.br/divertida.
- [2] Eduardo de Campos Valadares, *Physics World* **12**, 64 (1999).
- [3] Eduardo de Campos Valadares, *Ciência Hoje das Crianças* **97**, 23 (nov. 1999).
- [4] Eduardo de Campos Valadares, *Física Mais Que Divertida* (Editora UFMG, Belo Horizonte, 2000).
- [5] Klaus Weltner, *Am. J. Phys.* **55**, 50-54 (1987)
- [6] Klaus Weltner, *The Physics Teacher* **28**, 78-82 (1990).
- [7] Alexsandro Jesus Ferreira de Oliveira, Esdras Garcia Alves e Eduardo de Campos Valadares, *Ciência Hoje das Crianças* **106**, 14-15 (2000).



.....
A. Tarciso Borges

Colégio Técnico da UFMG,
 Belo Horizonte, MG

Este trabalho discute o papel das atividades práticas no ensino de Ciências e revê como o laboratório escolar de Ciências tem sido usado. Discute os pressupostos sobre a natureza do conhecimento que suportam esses usos e os equívocos a que conduzem. Descreve algumas alternativas potencialmente mais relevantes e pedagogicamente interessantes que temos estudado, em contraste com os tipos de atividades fortemente estruturadas tradicionalmente utilizadas pelos professores. Em particular, defende a adoção de uma ampla gama de atividades prático-experimentais – não necessariamente dirigidas como os tradicionais roteiros experimentais – e uma mudança de foco no trabalho no laboratório, com o objetivo de deslocar o núcleo das atividades dos estudantes da exclusiva manipulação de equipamentos, preparação de montagens e realização de medidas, para outras atividades que se aproximam mais do fazer Ciência. Essas atividades mais envolvem a manipulação de interpretações e idéias sobre observações e fenômenos que objetos, com o propósito de produzir conhecimento. Entre elas: a análise e interpretação dos resultados, a reflexão sobre as implicações desses e a avaliação da qualidade das evidências que suportam as conclusões obtidas (publicado originalmente no Caderno Brasileiro de Ensino de Física v. 19, n. 3, p. 291-313 (2002)).

Introdução

A qualidade do ensino provido pelos sistemas escolares às crianças e jovens tem sido objeto de debates ao longo de várias décadas, culminando com os chamados para a reforma desses sistemas e dos currículos vigentes. O ensino tradicional de Ciências, da escola primária aos cursos de graduação, tem se mostrado pouco eficaz, seja do ponto de vista dos estudantes e professores, quanto das expectativas da sociedade. Essa situação não é privilégio das Ciências, mas se estende a outras áreas de conhecimento, como indicam os resultados conseguidos por grupos de estudantes brasileiros nas avaliações nacionais e no recente projeto PISA [18]. A escola tem sido criticada pela baixa qualidade de seu ensino, por sua incapacidade de preparar os estudantes para ingressar no mercado de trabalho ou na universidade, por não cumprir adequadamente seu papel de formação das crianças e adolescentes, e pelo fato de que o conhecimento que os estudantes exibem ao deixar a escola é fragmentado e de aplicação limitada. Tampouco a escola conseguiu fazer dos mesmos pessoas acostumadas a tomar decisões, a avaliar alternativas de ação de maneira crítica e independente e a trabalhar em cooperação.

Várias são as causas apontadas para explicar a ineficiência do sistema escolar. A educação, como absoluta prioridade nacional, ainda permanece apenas no plano da retórica oficial dos governos dos estados e federação. No entanto, algumas medidas foram e continuam sendo implementadas, como o aumento da carga horária obrigatória, introdução de novas disciplinas, programa de avaliação de livros didáticos e mudanças na forma de organização do trabalho escolar. Essas mudanças ocorrem lentamente, ao passo que outras, igualmente impor-

tantes e urgentes, vão sendo proteladas, como a valorização dos espaços educacionais, da profissão de professor e de programas para o aperfeiçoamento e desenvolvimento profissional dos docentes. Ao lado dessas dificuldades gerais, as várias disciplinas que compõem o currículo apresentam problemas específicos de aprendizagem. Os pesquisadores educacionais têm se debruçado sobre essas questões e, se ainda não há consenso, há um razoável entendimento do que poderia ser feito para diminuir a enorme distância que nos separa, em termos de qualidade de educação pública, de outras nações. No entanto, as pesquisas educacionais permanecem igualmente desconhecidas para governantes e professores.

No caso de Ciências, têm havido em vários países movimentos de reforma curricular, desde os “grandes projetos” de intervenção da década de 60 até ações mais localizadas e orientadas pelo crescente corpo de conhecimento sobre as concepções alternativas dos estudantes a respeito de vários tópicos de Física e das dificuldades específicas de aprendizagem que eles enfrentam. Antes de tudo é preciso enfatizar que o ensino, não só de Ciências, é uma atividade complexa e problemática. Isso se deve ao fato de não existir uma tradição de práticas sociais de ensino suficientemente estáveis que possam ser amplamente compartilhadas e que resistam às mudanças contínuas, não só no contexto físico e sócio cultural da escola, mas também mudanças nos professores e seus estudantes, provocadas por novos valores, conhecimentos e crenças, novas percepções e maturação. Isso nos remete para a formação dos professores, visto que cada um deles deveria estar consciente desse espectro de possibilidades de transformações – em si próprio, em seus colegas, em seus estudantes e em seu ambiente de trabalho – e flexível para modificar sua forma atuação em resposta às mudanças percebidas.

Trata-se de um problema extremamente complexo e de larga escala. Nesse trabalho, nossa preocupação será apenas com as consequências advindas de como os professores de Ciências entendem aquilo que ensinam e como crêem que podem fazê-lo melhor. Isso está relacionado, em grande parte, com as metas estabelecidas pelos currículos (reconhecidas como legítimas pelos professores), para a educação em Ciências. As mudanças nessas metas acarretam mudanças nos próprios conteúdos de ensino e nas técnicas de ensino. As metas que mais comumente expressam aquilo que os estudantes devem aprender têm sido:

- 1) adquirir conhecimento científico;
- 2) aprender os processos e métodos das ciências;
- 3) compreender as aplicações da ciência, especialmente as relações entre Ciência e sociedade, e ciência-tecnologia-sociedade [1].

De acordo com essa proposta, os estudantes deveriam conhecer alguns dos principais produtos da Ciência, ter experiência com eles, compreender os métodos utilizados pelos cientistas para a produção de novos conhecimentos e como a Ciência é uma das forças transformadoras do mundo. Um exemplo disso pode ser encontrado nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio [13] que propõem que o ensino de Ciências deva propiciar “ao educando compreender as Ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade” (p. 107).

Os professores de Ciências, tanto no Ensino Fundamental como no Ensino Médio, em geral acreditam que a melhoria do ensino passa pela introdução de aulas práticas no currículo. Curiosamente, várias das escolas dispõem de alguns equipamentos e laboratórios que, no entanto,

**Professores de Ciências dos
Ensinos Fundamental e
Médio acreditam que a
melhoria do ensino passa
pela introdução de aulas
práticas no currículo...**

por várias razões, nunca são utilizados, dentre às quais cabe mencionar o fato de não existirem atividades já preparadas para o uso do professor; falta de recursos para compra de componentes e materiais de reposição; falta de tempo do professor para planejar a realização de atividades como parte do seu programa de ensino; laboratório fechado e sem manutenção. São basicamente as mesmas razões pelas quais os professores raramente utilizam os computadores colocados nas escolas. Muitos professores até se dispõem a enfrentar isso, improvisando aulas práticas e demonstrações com materiais caseiros, mas acabam se cansando dessa tarefa inglória, especialmente em vista dos poucos resultados que alcançam. É um equívoco corriqueiro confundir atividades práticas com a necessidade de um ambiente com equipamentos especiais para a realização de trabalhos experimentais, uma vez que podem ser desenvolvidas em qualquer sala de aula, sem a necessidade de instrumentos ou aparelhos sofisticados. Os movimentos de reforma curricular nas últimas décadas deram imenso destaque ao ensino no laboratório, como por exemplo, PSSC, e os vários cursos da Nuffield Foundation. Não obstante, o papel que o laboratório deve ter no ensino de Ciências estava longe de ser claro para o professor. Em parte, as dificuldades com as atividades práticas derivam de uma postura equivocada quanto à natureza da Ciência [10,15].

A importância e o prestígio que os professores atribuem ao ensino prático deve-se à popularização, nas últimas décadas, das idéias progressistas ou desenvolvimentistas no pensamento educacional que descendem de Rousseau, Pestalozzi, Spencer, Huxley, Dewey, entre outros [1].

...mas várias das escolas públicas dispõem de alguns equipamentos e laboratórios que, no entanto, por várias razões, nunca são utilizados...

A idéia central é: qualquer que seja o método de ensino-aprendizagem escolhido, deve mobilizar a atividade do aprendiz, em lugar de sua passividade. Usualmente, os métodos ativos de ensino-aprendizagem são entendidos como se defendessem a idéia de que os estudantes aprendem melhor por experiência direta. Embora verdadeiro em algumas situações, esse entendimento é uma simplificação grosseira, como apontam os trabalhos baseados nas idéias de Dewey, Piaget e Vigotsky, entre outros. O importante não é a

manipulação de objetos e artefatos concretos, e sim o envolvimento comprometido com a busca de respostas/soluções bem articuladas para as questões colocadas, em atividades que podem ser puramente de pensamento. Nesse sentido, podemos pensar que o núcleo dos métodos ativos (pode-se até chamá-lo de trabalhos ou atividades práticas, para significar que está orientado para algum propósito), não envolve necessariamente atividades típicas do laboratório escolar.

Atividades de resolução de problemas, modelamento e representação, com simulações em computador, desenhos, pinturas, colagens ou simplesmente atividades de encenação e teatro, cumprem esse papel de mobilizar o envolvimento do aprendiz. Essas atividades apresentam, muitas vezes, vantagens claras sobre o laboratório usual, uma vez que não requerem a simples manipulação, às vezes repetitiva e irrefletida, de objetos concretos, mas de idéias e representações, com o propósito de comunicar outras idéias e percepções. Obviamente, todas elas podem ser associadas a certos aspectos materiais. A materialização de um modelo, de uma representação, de uma encenação, etc., requer objetos que não são necessariamente os mesmos de uma atividade de laboratório. A riqueza desse tipo de atividade está em propiciar ao estudante a oportunidade – e ele precisa estar consciente disso – de trabalhar com coisas e objetos como se fossem outras coisas e objetos, em um exercício de simbolização ou representação. Ela permite conectar símbolos com coisas e situações imaginadas, o que raramente é buscado no laboratório, expandindo os horizontes de sua compreensão.

O laboratório tradicional

Para um país onde uma fração considerável dos estudantes nunca teve a oportunidade de entrar em um laboratório de Ciências, pode parecer um contra-senso questionar a validade de aulas práticas, especialmente porque na maioria das escolas elas simplesmente não existem. De fato, há uma corrente de opinião que defende a idéia de que muitos dos problemas do ensino de Ciências se devem à ausência de aulas de laboratório. Para os que compartilham dessa opinião, uma condição necessária para a melhoria da qualidade de ensino consiste em equipar as escolas com laboratórios e treinar os professores para utilizá-los. Entretanto, mesmo nos países onde a tradição de ensino experimental está bem sedimentada, a função que o laboratório pode, e deve ter, bem como a sua eficácia em promover as aprendizagens desejadas, têm sido objeto de questionamentos, o que contribui para manter a discussão sobre a questão há alguns anos [22, 23].

Dessa discussão parece resultar uma posição unânime de desaconselhar o uso de laboratórios no esquema tradicionalmente usado, pelo seu impacto negativo sobre a aprendizagem dos estudantes. White comenta que os resultados e conclusões de muitas pesquisas sobre a eficácia dos laboratórios decepcionam, *“pois conflita com teorias e expectativas. Nós preferimos pensar que os laboratórios funcionam porque acrescentam cor, a curiosidade de objetos não-usuais e eventos diferentes, e um contraste com a prática comum na sala de aula de permanecer assentado”* [22]. No que é denominado laboratório tradicional, o aluno realiza atividades práticas, envolvendo observações e medidas acerca de fenômenos previamente determinados pelo professor [20]. Em geral, os alunos trabalham em pequenos grupos e seguem as instruções de um roteiro. O objetivo da atividade prática pode ser o de testar uma lei científica, ilustrar idéias e conceitos aprendidos nas ‘aulas teóricas’, descobrir ou formular uma lei acerca de um fenômeno específico, ‘ver na prática’ o que acontece na teoria, ou aprender a utilizar algum instrumento ou técnica de laboratório específica. Não se podem deixar de reconhecer alguns méritos nesse tipo de atividade: por exemplo, a recomendação de se trabalhar em pequenos grupos, o que possibilita a cada aluno a oportunidade de interagir com as montagens e instrumentos específicos, enquanto divide responsabilidades e idéias sobre o que devem fazer e como fazê-lo; outro é o caráter mais informal do laboratório, em contraposição à formalidade das demais aulas.

As principais críticas que se fazem a essas atividades práticas é que elas não são efetivamente relacionadas aos conceitos físicos; que muitas delas não são relevantes do ponto de vista dos estudantes, já que tanto o problema como o procedimento para resolvê-lo estão previamente determinados; que as operações de montagem dos equipamentos, as atividades de coleta de dados e os cálculos para obter respostas esperadas consomem muito ou todo o tempo disponível. Com isso, os estudantes dedicam pouco tempo à análise e interpretação dos resultados e do próprio significado da atividade realizada. Em geral, eles percebem as atividades práticas como eventos isolados onde o objetivo é chegar à ‘resposta certa’ [19]. Não é surpreendente, assim, que o laboratório seja pouco efetivo em provocar mudanças nas concepções e modelos prévios dos estudantes, em proporcionar uma apreciação sobre a natureza da Ciência e da investigação científica e em facilitar o desenvolvimento de habilidades estratégicas [5, 22]. Alguns críticos mais veementes argumentam que, além disso, os laboratórios de Ciências são caros, que o uso de equipamentos só encontrados nos laboratórios torna o ensino distante da experiência fora de sala de aula do aluno e que a própria complexidade das montagens constitui uma forte barreira para que o estudante compreenda as idéias e conceitos envolvidos nas atividades práticas.

As críticas que se colocam ao modo como as atividades práticas são tradicionalmente utilizadas nas escolas apontam que, além de sua completa inadequação pedagógica, sua fundamentação

epistemológica é equivocada [10, 15]. Esse quadro não é exclusivo do laboratório, haja vista que vários dos livros-textos de Física e de ciências mais populares no país sofrem da mesma deficiência [16]. Essa concepção empirista-indutivista da Ciência, a qual Chalmers [3] denomina de indutivismo ingênuo, assume que o conhecimento científico é a verdade provada ou descoberta que tem origem no acúmulo de observações cuidadosas de algum fenômeno por uma mente livre de pré-concepções e sentimentos que aplica o *método científico* para chegar a generalizações cientificamente válidas. Essa concepção de Ciência acaba por conferir um peso excessivo à observação, em detrimento das idéias prévias e imaginação dos estudantes. Além disso, representa o método científico como um algoritmo infalível, capaz de produzir conhecimento cientificamente provado, começando com observações objetivas e neutras, formulação de hipóteses, comprovação experimental e generalização das conclusões. Há dois problemas sérios e sem solução com essa visão.

Em primeiro lugar, essa concepção particular do processo de produção do conhecimento sugere para professores e estudantes que as atividades práticas escolares são da mesma natureza e têm a mesma finalidade que as atividades experimentais e de observação que os cientistas fazem nos seus laboratórios de pesquisa. As atividades práticas e os experimentos científicos são atividades bem distintas, com objetivos bastante diferentes. O cientista passou anos de sua vida estudando uma determinada área da Ciência e quando se prepara para realizar um experimento ou conjunto de experimentos, ele o faz para resolver um problema que o interessa, e para o qual pode estar buscando uma solução há muito tempo. Assim, quando ele realiza um experimento, esse vem precedido de muito estudo e reflexão, planejamento e preparação. Nesse período anterior à efetiva concretização do experimento, o cientista toma uma série de decisões para definir e delimitar o que irá fazer e medir/observar, que critérios usará para checar a precisão e a confiabilidade dos resultados, que controles exercerá sobre a situação, entre outras. Em segundo lugar, tendo sido criticada por vários filósofos, como por exemplo Popper, Russel-Hanson, Feyerabend, Kuhn e Toulmin, essa imagem da Ciência, que ainda permeia muitos dos nossos livros didáticos de Ciências Naturais, especialmente aqueles utilizados na Educação Básica, está completamente superada nos círculos acadêmicos há várias décadas.

A aceitação dessas críticas não implica, entretanto, aceitar a argumentação de que as atividades prático-experimentais de Ciências são supérfluas, e que elas podem, portanto, ser descartadas para o bem dos professores, dos estudantes e da própria escola que esses poderiam repensar o aproveitamento do tempo destinado a tais atividades, bem como dos espaços ocupados por salas especiais de laboratório, onde existem. Aliás, da forma como vemos a questão, não há a necessidade de um ambiente especial reservado para tais atividades, com instrumentos e mesas para experiências, mas somente que haja planejamento e clareza dos objetivos das atividades propostas. Segundo Tamir [20], um dos principais problemas com o laboratório de Ciências é que se pretende atingir uma variedade de objetivos, nem sempre compatíveis, com um mesmo tipo de atividade. É certo que, com um mesmo conjunto de materiais, um professor criativo pode planejar várias atividades diferentes, com objetivos claramente distintos, como, por exemplo, aprender a usar um instrumento para fazer leituras, obter uma imagem de um fenômeno ainda não observado, aprender estratégias para lidar com os erros e incertezas inerentes ao processo de medição, procurar evidências da existência de alguma relação entre grandezas envolvidas na situação, e outros. Sem dúvida que as atividades práticas podem propiciar ao estudante imagens vividas e memoráveis de fenômenos interessantes e importantes para a compreensão dos conceitos científicos. Através delas, o estudante pode ser educado para fazer medições corretamente e procurar relações entre variáveis.

A questão que se coloca é: o laboratório pode ter um papel mais relevante para a aprendizagem escolar? Se pode, de que maneira ele deve ser organizado? A resposta para a primeira questão é

sem dúvida afirmativa: o laboratório pode, e deve, ter um papel mais relevante para a aprendizagem de Ciências. O fato de estarmos insatisfeitos com a qualidade da aprendizagem, não só de Ciências, sugere que todo o sistema escolar deve ser continuamente repensado. Com raras exceções, não se cogita a extinção da escola, por causa de suas dificuldades. Da mesma forma, o que precisamos é encontrar novas maneiras de usar as atividades prático-experimentais mais criativa e eficientemente e com propósitos bem definidos, mesmo sabendo que isso apenas não é solução para os problemas relacionados com a aprendizagem de Ciências.

A Ciência, em sua forma final, se apresenta como um sistema de natureza teórica. Contudo, é necessário que procuremos criar oportunidades para que o ensino experimental e o ensino teórico se efetuem em concordância, permitindo ao estudante integrar conhecimento prático e conhecimento teórico. Descartar a possibilidade de que os laboratórios têm um papel importante no ensino de Ciências significa destituir o conhecimento científico de seu contexto, reduzindo-o a um sistema abstrato de definições, leis e fórmulas. Muito do que se faz nas aulas de Física em nossas escolas de Ensino Médio e universidades assemelham-se a isso, preocupando-se mais com a apresentação das definições, conceitos e fórmulas que os alunos memorizam para resolver exercícios. Sem dúvida que as teorias físicas são construções teóricas e expressas em forma matemática; mas o conhecimento que elas carregam só faz sentido se nos permite compreender como o mundo funciona e por que as coisas são como são e não de outra forma. Isso não significa admitir que podemos adquirir uma compreensão de conceitos teóricos através de experimentos, mas que as dimensões teórica e empírica do conhecimento científico não são isoladas. Não se trata, pois, de contrapor o ensino experimental ao teórico, mas de encontrar formas que evitem essa fragmentação no conhecimento, para tornar a aprendizagem mais interessante, motivadora e acessível aos estudantes.

Os objetivos do laboratório

Mesmo em locais com forte tradição de ensino experimental, por exemplo, nos cursos superiores e cursos das escolas técnicas, quase nunca ocorre o planejamento sistemático das atividades, com a explicitação e discussão dos objetivos de tal ensino. A formulação de um planejamento para as atividades de ensino, quando existe, destina-se mais a atender às demandas burocráticas do que explicitar as diretrizes de ação do professor e dos estudantes, ao longo de um curso. Assim, o professor trabalha quase sempre com objetivos de ensino pouco claros e implícitos, confiando em sua experiência anterior com cursos similares. Com isso, os estudantes não percebem outros propósitos para as atividades práticas que não os de verificar e comprovar fatos e leis científicas. Isso é determinante na sua compreensão acerca da natureza e propósitos da Ciência [10], e também da importância que eles atribuem às atividades experimentais. Alguns dos objetivos implícitos que os professores e estudantes tradicionalmente associam aos laboratórios de Ciências serão discutidos a seguir.

Verificar/comprovar leis e teorias científicas

Este objetivo é enganoso, pois o sucesso da atividade é garantido de antemão por sua preparação adequada. O teste que se pretende fazer é, em geral, de um aspecto específico de uma lei ou teoria, e não de seus fundamentos. Hodson [10] aponta que, como consequência, o estudante tende a exagerar a importância de seus resultados experimentais, além de originar um entendimento equivocado da relação entre teoria e observação. Outro aspecto é que o estudante logo percebe que sua 'experiência' deve produzir o resultado previsto pela teoria, ou que alguma regularidade deve ser encontrada. Quando ele não obtém a resposta esperada, fica desconcertado com seu erro,

mas, se percebe que o ‘erro’ pode afetar suas notas, ele intencionalmente ‘corrige’ suas observações e dados para obter a ‘resposta correta’, e as atividades experimentais passam a ter o caráter de um jogo viciado. Infelizmente esse é daquele tipo de jogo que se aprende a jogar muito rapidamente. Muitas vezes, os próprios professores são vítimas desse raciocínio, e sentem-se inseguros quando as atividades que propõem não funcionam como esperavam, passando a evitá-las no futuro porque ‘não dão certo’. As causas do erro não são investigadas e uma situação potencialmente valiosa de aprendizagem se perde, muitas vezes, por falta de tempo. Nesse sentido, o que se consegue no laboratório é similar ao que se aprende na sala de aula, onde o resultado se torna mais importante que o processo, em detrimento da aprendizagem.

Ensinar o método científico

Muitas vezes, o que o professor deseja é que o aluno aprenda ou adquira uma apreciação sobre o método científico e a natureza da Ciência. A compreensão subjacente é a de que fazer Ciência significa descobrir fatos e leis pela aplicação de um método experimental indutivo, e fazer invenções. A motivação para a atividade experimental dos cientistas é verificar se suas próprias idéias estão corretas. Tal concepção assume que existe um único método científico que pode ser adequadamente representado como uma sequência de etapas, como um algoritmo. Essa concepção do papel das atividades práticas e as suas conseqüências para a aprendizagem de Ciências foram discutidas por vários autores [9, 15, 16]. Ela assume que a atividade experimental é essencial à Ciência e que a observação e a experimentação fornecem dados puros, verdadeiros e objetivos, e, por isso mesmo, confiáveis, em vista de sua independência de quaisquer idéias teóricas do observador, ou seja, está apoiada na idéia de que qualquer observador não tendencioso registrará as mesmas observações sobre aquela parte da realidade para a qual ele volta sua atenção. A essência daquela parte observada da realidade descortina-se e impõe-se da mesma forma para todos os observadores com esse perfil.

Há uma ingenuidade inerente a esse entendimento que consiste em assumir que os dados são imediatos, no sentido de que são lidos diretamente da parcela observada do mundo, e não problemáticos. Tudo o que o cientista precisa fazer é selecionar quais os fenômenos ou aspectos da realidade deseja investigar e, então, aplicar o método científico. A natureza/realidade se encarregará de produzir as respostas do tipo sim/não para as suas indagações [7]. A descoberta científica assemelha-se assim (para usar uma analogia mais acessível) à descoberta de novas terras pelos navegantes de uns poucos séculos atrás, os quais treinados, com uma pequena frota e tripulação (ou mesmo um barco isolado), perscrutando os mares pouco navegados, com olhos atentos para os indícios de novas terras e ilhas, como pássaros e raízes e troncos nas águas. Alguns podiam até tardar em conseguir sucesso, mas as terras e ilhas desconhecidas estavam lá, à espera de algum descobridor atento e destemido. Essa concepção assume também que os professores e estudantes percebem o propósito de um experimento escolar em Ciências de forma clara, igual e inequívoca, o que os conduzirá à descoberta de novos fatos e leis, conforme prescrito pelo roteiro de atividades.

Há várias décadas, é amplamente questionada a idéia de que a descoberta seja um processo, ou um conjunto hierárquico de processos lógicos. Apesar de que os informes e relatos das descobertas científicas, especialmente como apresentado nos livros escolares e pelos meios de comunicação, sugiram para o leigo que as descobertas científicas resultam do acúmulo de vastos conjuntos de observações detalhadas e repetidas acerca de um fenômeno segundo as prescrições do método científico, ou então resultem de idéias inspiradas de mentes geniais, o processo é bem diferente disso. Os cientistas utilizam métodos, mas isso não significa que haja *um método científico* que determine exatamente como fazer para produzir conhecimento. O laboratório pode proporcionar

excelentes oportunidades para que os estudantes testem suas próprias hipóteses sobre fenômenos particulares, para que planejem suas ações, e as executem, de forma a produzir resultados dignos de confiança. Para que isso seja efetivo, devem-se programar atividades de explicitação dessas hipóteses antes da realização das atividades. Faz-se também necessário que os professores enfatizem as diferenças entre os experimentos realizados no laboratório escolar, com fins pedagógicos, e a investigação empírica realizada por cientistas. É necessária uma análise mais cuidadosa da relação entre observação, experimento e teoria [3]. Além disso, devem encorajar a discussão aberta das limitações e suposições que permeiam cada atividade no laboratório escolar.

Facilitar a aprendizagem e compreensão de conceitos

Para se alcançar esse objetivo recomenda-se que a atividade concentre-se apenas nos aspectos desejados, com um planejamento cuidadoso que considere as idéias prévias dos estudantes a respeito da situação estudada, o tempo necessário para completar a atividade, as habilidades requeridas e aspectos ligados à segurança [10]. Ao desenvolver tais atividades, o professor deve ter em mente que aquilo que qualquer pessoa observa depende fortemente de seu conhecimento prévio e de suas expectativas [3, 8]. Em um laboratório tradicional, com atividades realizadas sob a orientação do professor e seguindo os roteiros fornecidos, pode-se acreditar que tal objetivo possa ser conseguido. Mas não se pode tomar como certo que se todos os membros de um grupo vêem o mesmo fenômeno, todos o interpretem da mesma forma ou aceitem a validade e legitimidade das observações [7]. O fato de um estudante realizar uma atividade adequadamente planejada não garante que ele aprenda aquilo que era pretendido.

Essas considerações sugerem a necessidade de atividades pré e pós-laboratório, para que os estudantes explicitem suas idéias e expectativas, e discutam o significado de suas observações e interpretações. Antes de realizar a atividade prática, deve-se discutir com os estudantes a situação ou fenômeno que será tratado. Pode-se pedir que eles escrevam suas previsões sobre o que deve acontecer e justificá-las. Na fase pós-atividade, faz-se a discussão das observações, resultados e interpretações obtidos, tentando reconciliá-las com as previsões feitas. Aqui é o momento de se discutirem as falhas e limitações da atividade prática [7].

Uma vez que os estudantes não são desafiados a explorar, desenvolver e avaliar as suas próprias idéias, e os currículos de Ciências não oferecem oportunidades para a abordagem de questões acerca da natureza e propósitos da Ciência e da investigação científica [2]. A forma de trabalhar proposta proporciona o contexto adequado para a discussão desse tipo de questão.

Ensinar habilidades práticas

A aquisição de habilidades práticas e técnicas de laboratório é um objetivo que pode e deve ser almejado nas atividades práticas. Há, entretanto, um certo grau de confusão sobre o que tais habilidades e técnicas são. Para alguns, trata-se de habilidades cognitivas relacionadas com os processos básicos da Ciência. Vários currículos de Ciências desenvolvidos nos Estados Unidos, Canadá e Europa adotaram tal perspectiva, buscando ensinar ou desenvolver certas habilidades gerais e independentes do contexto, tais como fazer observações, classificar, prever, formular hipóteses que poderiam, então, ser aplicadas em outros contextos. Há uma forte crítica acerca da possibilidade de transferência dessas habilidades entre contextos distintos, da necessidade e mesmo da possibilidade de se ensiná-las [14, 15].

O argumento utilizado é que elas são processos cognitivos gerais que as pessoas empregam desde muito cedo, e que as associar com os processos da Ciência é o mesmo que insistir em uma concepção ultrapassada da atividade científica. Como Millar e Driver [14] argumentam, pode-se

desejar que “as crianças aprendam a observar cuidadosamente, a notar detalhes, a fazer observações relevantes”. Entretanto, o que é ou não relevante depende das expectativas e idéias prévias de cada um acerca de um fenômeno. Não existe algo relevante em uma situação ou fenômeno, independentemente de quem o observa, ou formula hipóteses sobre ele.

Millar [14, 15] argumenta que há um conjunto de habilidades práticas ou técnicas básicas de laboratório que vale a pena ser ensinado. Por exemplo, aprender a usar equipamentos e instrumentos específicos, medir grandezas físicas e realizar pequenas montagens, são coisas que dificilmente o estudante tem oportunidade de aprender fora do laboratório escolar. Dentro de cada laboratório há um conjunto básico de técnicas que pode ser ensinado e que forma uma base experiencial sobre a qual os estudantes podem construir um sistema de noções que lhes permitirá relacionar-se melhor com os objetos tecnológicos do cotidiano. Além delas, existem as chamadas técnicas de investigação [15]; são ferramentas importantes e úteis para qualquer cidadão e relacionam-se com a obtenção de conhecimento e a sua comunicação. Por exemplo: repetir procedimentos para aumentar a confiabilidade dos resultados obtidos, aprender a colocar e a obter informação de diferentes formas de representação – como diagramas, esquemas, gráficos, tabelas, etc. Muitas dessas habilidades são utilizadas inconscientemente por todas as pessoas e se refletem nas decisões e procedimentos que cada um de nós toma ou utiliza ao resolver problemas ou ao lidar com situações práticas. Elas fazem parte do nosso arsenal de estratégias de pensamento informal e que toda a pessoa inteligente deveria estar apta a empregar em qualquer situação. Embora possam ser desenvolvidas através da escolarização, não são necessariamente vinculadas à aprendizagem de Ciências. A organização das atividades para se conseguir tais objetivos dependerá do conhecimento que os estudantes já possuem. Por exemplo, se o objetivo é que os alunos, sem nenhum conhecimento anterior, aprendam a utilizar corretamente o voltímetro e o amperímetro, então, uma atividade orientada pelo professor e baseada em um roteiro pode ser a melhor alternativa. Se, ao contrário, eles já têm algum conhecimento em circuitos elétricos, provavelmente é melhor que eles aprendam a partir do estudo dos manuais técnicos que acompanham os equipamentos.

Alternativas para o laboratório escolar

As pesquisas sobre ensino-aprendizagem de Ciências produziram evidências de que as crianças trazem para a escola um conjunto de concepções sobre vários aspectos do mundo, mesmo antes de qualquer introdução à ciência escolar. Essas concepções alternativas são adquiridas a partir de sua inserção na cultura comum e da experiência cotidiana com fenômenos e eventos, e, freqüentemente, interferem com a aprendizagem das idéias científicas. A psicologia cognitiva tem contribuído, junto com a pesquisa em ensino e aprendizagem de Ciências, para a análise da prática educacional. Entretanto, pela própria complexidade da questão, o que tem sido possível fazer é a obtenção de diretrizes muito genéricas sobre como ensinar e como contribuir para a aprendizagem escolar, o que é ainda muito distante das expectativas excessivamente otimistas da década de 50 [4]. Uma dessas recomendações, a qual exprime a idéia básica das concepções construtivistas – a de que o aluno constrói seu próprio conhecimento através da ação – é a de que os processos educacionais devem respeitar e favorecer a atividade do estudante, e que esta deve ser o centro do processo de aprendizagem. Algumas vertentes do construtivismo argumentam que qualquer atividade pedagógica só tem valor se tiver origem no aprendiz e se esse detiver pleno controle das ações, para justificar uma forma de ativismo empirista. Como Coll [4] aponta, *“pouco importa que essa atividade consista de manipulações observáveis ou em operações mentais que escapem ao observador; pouco importa também que responda total ou parcialmente à iniciativa do aluno, ou que tenha sua*

origem no incentivo e nas propostas do professor. O essencial é que se trate de uma atividade cuja organização e planejamento fique a cargo do aluno”.

O trabalho no laboratório pode ser organizado de diversas maneiras, desde demonstrações até atividades prático-experimentais dirigidas diretamente pelo professor ou indiretamente, através de um roteiro. Todas podem ser úteis, dependendo dos objetivos que o professor pretende com a realização das atividades propostas. Uma alternativa que temos defendido há mais de uma década, e mais recentemente temos investigado e utilizado com nossos alunos, consiste em estruturar as atividades de laboratório como investigações ou problemas práticos mais abertos, que os alunos devem resolver sem a direção imposta por um roteiro fortemente estruturado ou por instruções verbais do professor. Um problema, diferentemente de um exercício experimental ou de um de fim de capítulo do livro-texto, é uma situação para a qual não há uma solução imediata obtida pela aplicação de uma fórmula ou algoritmo. Pode não existir uma solução conhecida por estudantes e professores ou até ocorrer que nenhuma solução exata seja possível. Para resolvê-lo, tem-se de fazer idealizações e aproximações. Diferentemente, um exercício é uma situação perturbadora ou incompleta, mas que pode ser resolvida com base no conhecimento de quem é chamado a resolvê-lo.

O que julgamos importante é chamar a atenção para o fato de que uma situação, percebida como um problema por uma pessoa, pode ser entendida como um mero exercício por outra. De qualquer forma, para resolver um problema, um estudante deve fazer mais que simplesmente lembrar-se de uma fórmula ou de uma situação similar que conseguiu resolver. Nesse sentido, um problema é um desafio proposto para o aluno, e pode ser expresso em diferentes níveis: desde um problema completamente ‘fechado’ até um problema ‘aberto’ [6]. No primeiro caso, o problema, os procedimentos e recursos são dados pelo professor, livro ou roteiro, ficando para o aluno a tarefa de colher dados e tirar as conclusões. Ao contrário, em uma investigação aberta, cabe ao estudante toda a solução, desde a percepção e geração do problema; sua formulação em uma forma suscetível de investigação; o planejamento do curso de suas ações; a escolha dos procedimentos, a seleção dos equipamentos e materiais, a preparação da montagem experimental, a realização de medidas e observações necessárias; o registro dos dados em tabelas e gráficos; a interpretação dos resultados e enumeração das conclusões. A Figura 1 representa as atividades investigativas e o laboratório tradicional, contrastando-os segundo três aspectos: o grau de abertura, o objetivo da atividade e a atitude do estudante em relação à atividade. O que denominamos ‘grau de abertura’ indica o quanto o professor ou o roteiro que ele fornece especifica a tarefa para o aluno.

A Figura 1 sugere, quanto ao aspecto abertura, a existência de um contínuo, cujos extremos seriam: exercícios, de um lado, e problemas completamente abertos, do outro. Entre esses dois extremos que determinam quem tem o controle ou a responsabilidade por certas etapas da atividade prática, há um número de possibilidades com divisão dessas tarefas entre o professor e os estudantes. Outra forma de entender essa distinção entre problema fechado e aberto foi proposta por Tamir [20], baseada em estudos anteriores e mostrada na Figura 2. Ele propõe a categorização das

Aspectos	Laboratório tradicional	Atividades investigativas
Quanto ao grau de abertura	Roteiro pré-definido Restrito grau de abertura	Variado grau de abertura Liberdade total no planejamento
Objetivo da atitude do estudante	Comprovar leis Compromisso com o resultado	Explorar fenômenos Responsabilidade na investigação

Figura 1. Contínuo problema-exercício.

Nível de Investigação	Problemas	Procedimentos	Conclusões
Nível 0	Dados	Dados	Dados
Nível 1	Dados	Dados	Em aberto
Nível 2	Dados	Em aberto	Em aberto
Nível 3	Em aberto	Em aberto	Em aberto

Figura 2. Níveis de investigação no laboratório de Ciências.

atividades investigativas em quatro níveis, de acordo com a Figura 2. No nível 0, o qual corresponde aproximadamente ao extremo de ‘problema fechado’, são dados o problema, os procedimentos e aquilo que se deseja observar/verificar, ficando a cargo dos estudantes coletar dados e confirmar ou não as conclusões. No nível 1, o problema e procedimentos são definidos pelo professor, através de um roteiro, por exemplo. Ao estudante cabe coletar os dados indicados e obter as conclusões. No nível 2, apenas a situação-problema é dada, ficando para o estudante decidir como e que dados coletar, fazer as medições requeridas e obter conclusões a partir deles. Finalmente, no nível 3 – o nível mais aberto de investigação – o estudante deve fazer tudo, desde a formulação do problema até chegar às conclusões.

Um sistema de categorias, mesmo simples como esse, serve como um organizador de nosso entendimento do que está envolvido no grau de abertura de uma situação-problema. Como exemplo de um problema de nível 2, considere a situação a seguir, que realizamos recentemente com todas as turmas do primeiro ano de Ensino Médio, trabalhando em grupos de 3 ou 4 estudantes cada, como uma atividade normal de laboratório, durante o estudo de cinemática. A Figura 3 reproduz o esquema apresentado aos alunos. O problema foi especificado e a montagem previamente preparada, mas não fornecemos indicação do que e como deveria ser medido, portanto parecia correto nosso entendimento de que se tratava de um problema de nível 2. Após uma fase rápida de planejamento do grupo, praticamente todos decidiram por medir a altura máxima que a bolinha atingia ou o tempo necessário para ela atingir o ponto de maior altura. A partir dos valores obtidos, eles usaram uma das equações para movimento com aceleração constante, por exemplo, a equação de Torricelli, para determinar V_0 . Apesar de simples, a atividade propiciou discussões sobre como medir a altura máxima alcançada pela bolinha, a pouca acuracidade conseguida na medida do tempo (eles facilmente conectaram isso com o tempo de reação deles – atividade que já haviam feito anteriormente), e a necessidade do experimento ser replicado. Nem todos os grupos conseguem imaginar um caminho para solucionar o problema dentro do período do laboratório, e recorrem ao professor ou aos seus colegas, em busca de sugestões de procedimento. Para esses grupos, não podemos dizer que a atividade é um problema de nível 2, mas talvez de nível 1.

Um curso baseado em investigações apresenta a característica única de combinar processos, conceitos e procedimentos na solução de um problema. Vários estudos foram realizados em nosso grupo procurando compreender as dificuldades que os estudantes, com e sem experiência pessoal com trabalhos práticos escolares, enfrentam ao formular um problema a partir de uma situação proposta a eles, em planejar a sua solução e executar o seu planejamento. Nosso aprendizado a partir dessas pesquisas sugere que uma atividade aberta pode ser muito difícil para estudantes sem conhecimento de conteúdo e sem experiência anterior com laboratório. No entanto, temos evidências de que os estudantes, mesmo sem conhecimento específico sofisticado e experiência com aulas de laboratório, conseguem formular problemas mais simples e planejar a sua solução em laboratório.

Desafio prático

Um lançador de projéteis, consistindo de uma mola comprimida por um êmbolo dentro de um tubo de pvc, como o mostrado ao lado, lança uma pequena bola verticalmente para cima com uma velocidade inicial V_0 . Como você faria para determinar essa velocidade inicial? Planeje um experimento que lhe permita fazer isso.

Utilize a montagem do lançador de projéteis e faça as medidas que julgar necessárias para resolver esse problema. Escreva em seu relatório o procedimento utilizado, os valores das medidas que você fez e o valor encontrado para a velocidade inicial.

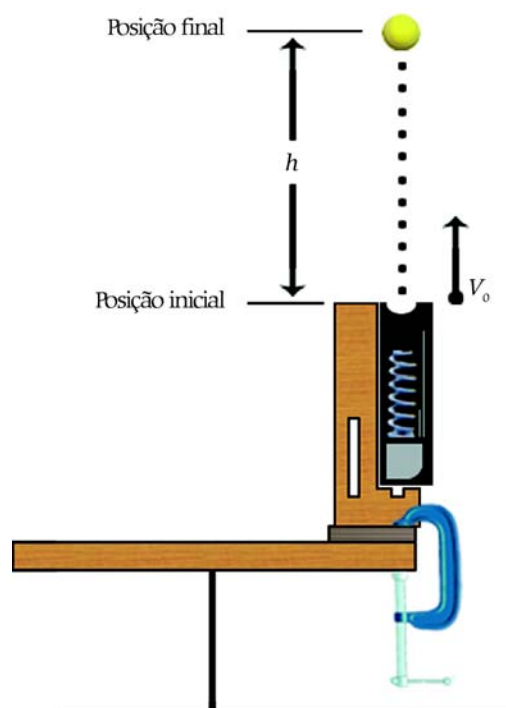


Figura 3. Exemplo de um problema para estudantes do 1º ano do Ensino Médio.

O entendimento e formulação do problema são as atividades que mais exigem dos alunos, que, muitas vezes, só conseguem entender o que devem fazer e formular o problema de maneira mais ou menos clara, depois de passar várias vezes pelas mesmas etapas. De qualquer forma, o processo todo de formulação, planejamento e solução, não parece ser linear. Apesar de demandar atenção e auxílio do professor, essa forma de organização da atividade prática captura a atenção dos estudantes e melhora seu envolvimento com a atividade. Durante as etapas de resolução do problema há ciclos de realimentação para as etapas anteriores, vindas da percepção da necessidade de mudanças no planejamento, na formulação do problema ou nas técnicas experimentais utilizadas. Nossos estudos anteriores, com alunos conduzindo atividades investigativas, produziram evidências de que essas etapas não ocorrem sequencialmente e independentemente umas das outras, mas que ao contrário, elas acontecem concomitantemente e de forma recursiva, conforme ilustra a Figura 4. Isso nos alerta para o fato de que, ao investigar como os alunos resolvem problemas e desafios, não devemos esperar reconhecer essas etapas nitidamente, nem observar progressos rápidos e espetaculares em seu desempenho e em sua autonomia. Podemos nos perguntar se vale o esforço; continuamos acreditando que sim, mas não nos iludamos, pois ensinar e aprender a pensar criticamente é difícil e requer tempo.

Baseado nisso, sugerimos que as investigações devam ser inicialmente simples e feitas em pequenos grupos, embora com um sentido claro de progressão ao longo do curso. Idealmente deveriam ser introduzidas já no Ensino Fundamental. Nossos dados de pesquisa sugerem que alunos de sexta série em diante estão aptos a realizar atividades desse tipo. A programação de atividades deve também levar em conta tanto sua experiência com atividades do mesmo tipo, como o conhecimento dos alunos referente ao tópico a ser investigado. Quando esse for pouco

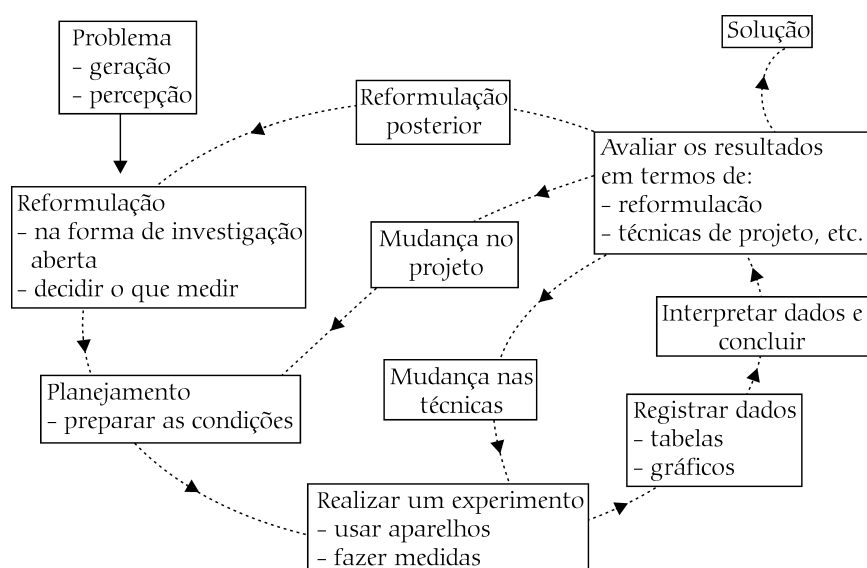


Figura 4. Esquema de solução de um problema.

conhecido, pode-se recorrer a consultas a livros ou a materiais especialmente preparados para apresentá-lo aos estudantes. O professor atua como um mediador entre o grupo e a tarefa, intervindo nos momentos em que há indecisão, falta de clareza ou consenso. Seu objetivo deve ser deixar que o grupo, progressivamente, assuma maior controle sobre sua atividade. Entretanto e, principalmente, ao iniciar cada tema novo, o professor deve monitorar mais cuidadosamente o progresso dos grupos. Essa é uma atividade que demanda muito esforço do professor, especialmente se há muitos grupos em sua turma.

Defendemos que essas abordagens deveriam ser adotadas na formação de professores. Os licenciandos precisam exercitar o planejamento, a preparação e a execução de atividades mais abertas, se desejamos que eles venham a adotá-las em suas aulas no futuro. Como exemplo, considere o problema de determinar que tipo de material de um dado conjunto é melhor para confecção de roupas de frio. Uma maneira de resolver o problema seria envolver um recipiente, contendo uma certa quantidade de água gelada com amostras de cada um dos materiais do conjunto especificado, e determinar o tempo gasto para a temperatura da água subir até um determinado valor, como consequência da troca de calor com o ambiente em volta. Dessa forma, está se determinando que material fornece a melhor isolamento térmica. Os estudantes podem, no entanto, interpretar isso em termos de concepções alternativas, concluindo que naquele caso em que a temperatura da água subir até o valor desejado mais rapidamente é que se tem o melhor material, isto é, o material que aquece mais. Foi exatamente o que aconteceu quando propusemos a uma turma de professores de Ciências, em uma disciplina de um curso de especialização, que pensassem como esse problema poderia ser solucionado. Eles chegaram à mesma solução errada, embora muito comum, pois está em acordo com as concepções prévias dos alunos e deles próprios. Ao serem questionados sobre o significado das conclusões que um aluno poderia formular a partir dos resultados conseguidos dessa forma, os professores perceberam a inadequação do procedimento para uso na sala de aula. As discussões que se seguiram visando à modificação do procedimento para evitar a possibilidade de reforçar as concepções iniciais dos estudantes foram ricas e fizeram

emergir algumas das dificuldades dos próprios professores tanto com o tópico, quanto com o planejamento de atividades de laboratório.

Uma mudança na maneira de resolver o problema tornou-se necessária: repetir o procedimento, mas agora começando com água da torneira à temperatura ambiente, em lugar de água gelada. A seguir, repetiu-se o procedimento utilizando água quente e medindo-se quanto tempo é necessário em cada caso para a temperatura cair, por exemplo, de dez graus. Essas modificações forneceram muitas oportunidades para se discutirem as concepções prévias dos estudantes sobre o fenômeno investigado e avaliar as possíveis soluções para o problema.

Outras alternativas que têm o potencial de propiciar aos estudantes atividades relevantes e motivadoras, que os desafiem a utilizar suas habilidades cognitivas para construir modelos mais robustos, capazes de dar sentido às suas experiências com o mundo, envolve o uso de simulações em computador e os laboratórios investigativos baseados em computadores combinados com sensores de vários tipos. O computador não é usado apenas como uma ferramenta convencional para exibir animações, fazer gráficos e para o tratamento estatístico de dados observacionais, mas com interfaces apropriadas para a aquisição e exibição de dados em tempo real. Sistemas desse tipo são usados em algumas escolas exatamente como os equipamentos tradicionais; a pouca novidade fica por conta do uso dos equipamentos de alta tecnologia. Em princípio, um sistema desse tipo não determina o que deve ser investigado, nem os passos de uma investigação, mas temos defendido que pode mudar o papel do estudante, se as atividades forem pensadas de forma adequada. Em um laboratório investigativo baseado em microcomputador, a coleta de dados pode ser feita em tempo real, de forma rápida, e pode ser repetida muitas vezes, se necessário. Em situações que a coleta de dados é lenta com material convencional (por exemplo, coletar dados de intensidade da corrente ou diferença de potencial durante a carga ou descarga de um capacitor, ou construir uma tabela de posição em função do tempo para um dado movimento), ela pode ser feita rápida e facilmente, com a aquisição automática de dados.

Atualmente, há interfaces para ambiente Windows e calculadoras de bolso, além de uma variedade enorme de sensores para detectar e medir a temperatura, velocidade, posição, aceleração, força, pressão, intensidade luminosa, condutividade térmica, umidade relativa do ar, pressão sanguínea, pH e várias outras grandezas. Nos últimos anos o custo desses equipamentos caiu muito e eles passaram a ser alternativas competitivas com os equipamentos convencionais de laboratório. Os softwares de controle dispõem de muitos recursos, tais como exibição automática de diferentes formas de gráficos, controle da interface via software, ajustes de escalas, tabelas, recursos de ajuste de curvas a um conjunto de pontos, entre outros. Nossa experiência indica que os estudantes aprendem rapidamente a usar os recursos básicos do sistema. O uso de laboratório baseado em computador permite que o estudante possa deixar de dedicar tanto tempo à coleta e apresentação dos dados; com isso, ele dispõe de mais tempo para o controle de outras partes do processo, como o planejamento da atividade, a seleção do que medir, execução da investigação e interpretação e avaliação dos resultados. Além disso, esses recursos permitem a execução de investigações em tempo real, bem como a pronta alteração do planejamento, caso seja necessário, o que freqüentemente é o caso numa investigação. Possibilitam também que situações mais complexas, como por exemplo as que envolvem grande número de variáveis ou as que acontecem muito rapidamente para serem observadas por meios convencionais, possam ser estudadas no laboratório, sob diferentes condições.

A posição que defendemos não é a de mera adesão a um modismo ou a de investir em aquisição automática de dados por causa do apelo das novas tecnologias. A mera escolha de equipamentos alternativos ou o uso de laboratórios baseados em computador não resolve os problemas relacionados com a aprendizagem de Ciências a partir de atividades prático-experimentais. A clareza

sobre o que se pretende conseguir com o uso do laboratório, orientada pela pesquisa educacional, continua sendo tão importante quanto o é no laboratório convencional. Nosso ponto central é: mesmo onde as atividades práticas são comuns, onde já existe uma tradição de aulas de laboratório, em geral, acabam se tornando improdutivas ou rotineiras, pois o currículo propõe metas não factíveis para o laboratório escolar. Além disso, quase sempre o manuseio dos objetos e equipamentos e a coleta de dados passam a ser vistos, por professores e alunos, como as atividades mais importantes. Sobra muito pouco tempo e esforço para refletir, discutir e tentar ajudar os alunos a compreender o significado e implicações das observações que fizeram e os resultados que obtiveram.

Conclusões

Há evidências de pesquisas sugerindo que o uso de computadores como ferramentas de laboratório oferece novas maneiras para ajudar os estudantes na construção de conceitos físicos [12] e permitem aos estudantes planejarem seus próprios experimentos. Ambientes desse tipo fornecem

A introdução de atividades práticas nos cursos não resolve as dificuldades de aprendizagem dos estudantes, se continuarmos a tratar o conhecimento científico e suas observações, vivências e medições como fatos que devem ser memorizados e aprendidos

oportunidades para propor e refinar questões, fazer e testar previsões, formular planos para experimentos, coletar e analisar dados, além de contribuir para reforçar a habilidade em interpretar gráficos e resultados [11]. Pelo fato de serem interativos e por ligarem experiências concretas de coleta de dados com a sua representação simbólica em tempo real, os laboratórios baseados em computadores deixam mais tempo para os estudantes se dedicarem a atividades mais centrais para o pensamento crítico, para a solução de problemas e o monitoramento de suas ações e pensamento, para modelar soluções e testá-las na prática, em lugar de apenas responderem às questões levantadas pelo professor.

O laboratório de Ciências fornece uma base fenomenológica sobre fenômenos e eventos que se contrapõem à percepção desordenada do cotidiano. O argumento aqui desenvolvido é simples: a introdução de atividades práticas nos cursos de Física e de Ciências não resolve as dificuldades de aprendizagem dos estudantes, se continuarmos a tratar o conhecimento científico e suas observações, vivências e medições como fatos que devem ser memorizados e aprendidos, ao invés de eventos que requerem explicação. Apontamos também que alguns dos objetivos, pretendidos por professores e autores de materiais de ensino, derivam de concepções equivocadas acerca da natureza dos processos de aprendizagem e de produção de conhecimento cientificamente válidos. Para que as atividades práticas sejam efetivas em facilitar a aprendizagem, devem ser cuidadosamente planejadas, levando-se em conta os objetivos pretendidos, os recursos disponíveis e as idéias prévias dos estudantes sobre o assunto.

Recomenda-se que o professor utilize-se de atividades pré-laboratório para clarificar os objetivos pretendidos, idéias iniciais dos estudantes e suas expectativas acerca do fenômeno estudado. Após a atividade prática, recomenda-se a discussão dos resultados obtidos, bem como as limitações da atividade. Para evitar que os estudantes adquiram uma concepção errônea do que é feito nos laboratórios, é necessário que o professor distinga claramente as atividades práticas para fins pedagógicos da investigação experimental executada por cientistas. Além disso, é urgente que livros-texto e os cursos de formação de professores nos vários níveis passem a se preocupar mais com as imagens sobre a natureza da Ciência que, implícita ou explicitamente, transmitem aos professores e estudantes de Ciências.

Referências

- [1] R.W. Bybee and G.E. Deboer, *Research on Goals for the Science Curriculum*, edited by D.L. Gabel, *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (National Science Teachers Association, McMillan Pub, New York, 1996), p. 357-387.
- [2] S. Carey *et al.*, *International Journal of Science Education* **11**, 514, (1989).
- [3] A.F. Chalmers, *O Que É a Ciência Afinal?* (Brasiliense, São Paulo, 1993).
- [4] C. Coll, *As Contribuições da Psicologia para a Educação: Teoria Genética e Aprendizagem Escolar*, editado por L.B. Leite e A.A. Medeiros, *Piaget e a Escola de Genebra* (Cortez, São Paulo, 1987), p. 164-197.
- [5] R.M. Gagné, *The Conditions of Learning* (Holt, Rinehart and Winston, New York, 1970).
- [6] R.M. Garret, *Studies in Science Education* **13**, 70 (1988).
- [7] R. Gunstone, *Reconstructing Theory from Practical Work*. Edited by B. Woolnough, *Practical Science* (Open University Press, Milton Keynes, 1991), p. 67-77.
- [8] N.R. Hanson, *Patterns of Discovery* (Cambridge University Press, Cambridge, 1958).
- [9] D. Hodson, *School Science Review* **68**, 17 (1986).
- [10] D. Hodson, *Science Education* **72**, 1 (1988).
- [11] M.C. Linn, J.W. Layman and R. Nachmias, *Contemporary Educational Psychology* **12**, 244 (1987).
- [12] M.C. Linn, N.B. Songer, E.L. Lewis, and J. Stern, *Using Technology to Teach Thermodynamics: Achieving Integrated Understanding*, edited by D.L. Fergusson, *Advanced Educational Technologies for Mathematics and Science* (Springer-Verlag, Berlin, 1993), p. 5-60.
- [13] MEC, *PCN Ensino Médio* (SEMTEC/MEC, Brasília, 1999).
- [14] R. Millar and R. Driver, *Studies in Science Education* **14**, 33 (1987).
- [15] R. Millar, *A Means to an End: The Role of Process in Science Education*, Edited by B. Woolnough, *Practical Science* (Open University Press, Milton Keynes, 1991), p. 43-52.
- [16] M.A. Moreira e F. Ostermann, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **10**, 108 (1993).
- [17] P. Murphy, *Physics Education* **23**, 331 (1988).
- [18] OCDE, *The OCDE Programme for International Student Assessment*, Pisa (2001). Disponível em: <<http://www.Pisa.OCDE.org>>.
- [19] P. Tamir, *Science Education* **73**, 59 (1989).
- [20] P. Tamir, *Practical Work at School: An Analysis of Current Practice*, edited by B. Woolnough, *Practical Science* (Open University Press, Milton Keynes, 1991).
- [21] R.K. Thornton, *Physics Education* **22**, 230 (1987).
- [22] R.F. White, *International Journal of Science Education* **18**, 761 (1996).
- [23] B. Woolnough (ed.), *Practical Science* (Open University Press, Milton Keynes, 1991).



.....
Alexandre Medeiros

Universidade Federal Rural de
 Pernambuco, Departamento de Física e
 Matemática, Recife, PE

.....
Cleide Farias de Medeiros

Universidade Federal Rural de
 Pernambuco, Departamento de
 Educação, Recife, PE

Este artigo aborda a importância das animações e das simulações no ensino da Física. Uma apresentação das afirmações de alguns de seus defensores é contrastada com as argumentações de parte relevante dos seus críticos. O propósito do artigo não é defender o abandono da Informática na Educação, mas sim encorajar uma visão mais crítica e equilibrada da mesma. Dessa forma, são discutidos os fundamentos educacionais e epistemológicos que existem subjacentes às linhas de argumentação apresentadas. A importância dos pressupostos e dos limites de validade das teorias é posta em destaque como uma forma de por em relevo aquilo que fundamenta as simulações computacionais utilizadas no ensino da Física. O texto conclui apontando a importância de não se concentrar o ensino da Física exclusivamente na veiculação de informações, mas de ter-se em mente a construção do conhecimento em um contexto mais amplo que englobe os conteúdos e os seus processos de construção (publicado originalmente na Revista Brasileira de Ensino de Física v. 24, n. 2, p. 77-86 (2002)).

A Informática no ensino da Física

Nas últimas duas décadas, as utilizações da Informática na Educação têm experimentado um enorme avanço no seu potencial e na sua diversidade de usos. Em países desenvolvidos, já em 1996, Baser [1] observava que aproximadamente 90% dos laboratórios de pesquisa em Física eram assistidos por computadores e que os laboratórios de ensino caminhavam na mesma direção. Parece sensato, portanto, que sejam feitas reflexões sobre as possibilidades, as vantagens e as desvantagens de um processo tão acelerado.

Como toda essa corrente de inovações começou e qual a sua relação com a corrente mais ampla da Tecnologia Educacional?

Como assinala Oppenheimer [19], a revolução da Informática Educacional faz parte de uma história mais longa da Tecnologia da Educação. Desde o início do século XX, várias ondas tecnológicas inovadoras têm assolado a Educação com promessas e perspectivas mirabolantes. Já em 1922, Thomas Edison, referindo-se ao cinema, afirmava que *“as figuras em movimento estão destinadas a revolucionar o nosso sistema educacional. Em poucos anos, elas suplantarão amplamente senão inteiramente, o uso dos livros didáticos”* (apud Oppenheimer, *ibid*). Embora uma tal predição não tenha se confirmado, afirmativas semelhantes foram feitas, em outras ocasiões, sobre as possibilidades educacionais de outros meios tecnológicos. Em 1945, por exemplo, William Levenson afirmou que *“aproxima-se o tempo em que rádios portáteis serão tão comuns nas salas de aula quanto os quadros-negros”* (*id, ibid*). Expectativas semelhantes foram alardeadas em relação à televisão, aos projetores de *filmstrips*, *slides*, *filmloops* e aos retroprojetores, aos gravadores de áudio, ao Super-8, ao vídeo-cassete e às calculadoras. Todas essas

maravilhas tecnológicas tiveram o seu ciclo de promessas e expectativas ousadas, seguidas, entretanto, por um certo desencanto. Os insucessos educacionais ocorridos e as dificuldades em atender às expectativas iniciais, foram sempre creditados ao despreparo dos professores, às inadequações das escolas, à falta de verbas e coisas assim. Mesmo nos países desenvolvidos, quando após programas de treinamento e obtenção de fundos, os problemas continuaram a existir, dúvidas passaram a ser lançadas sobre as tão propaladas capacidades revolucionárias de todos aqueles aparatos tecnológicos. O aprofundamento do questionamento do uso de tais aparatos na Educação foi, entretanto, sempre estancado pelo aparecimento de uma nova e promissora tecnologia fazendo com que o ciclo recomeçasse com novas e renovadas expectativas. Por mais que se fique fascinado com os avanços e as possibilidades da Informática Educacional, é conveniente lembrarmos que os seus desdobramentos fazem parte do mesmo ciclo de Tecnologias da Educação acima referido. Por isso, é preciso analisarem-se, criticamente, os seus horizontes.

É preciso assinalar que a simples utilização da Informática não garante que os estudantes tenham uma boa aprendizagem

Na atualidade, a Informática tem uma aplicação muito diversificada no ensino da Física, sendo utilizada em medições, gráficos, avaliações, apresentações, modelagens, animações e simulações [14, 16, 17, 21, 22, 37].

Alguns defensores mais entusiastas da Informática no ensino da Física têm alegado que apesar de existirem dúvidas sobre as vantagens do uso de computadores para o desenvolvimento da personalidade, a utilidade dos mesmos no campo educacional do desenvolvimento do pensamento lógico da Física seria inquestionável [35]. Mesmo tais pesquisadores, admitem, porém, que equívocos na confecção dos softwares devidos a uma certa falta de cuidado ou mesmo a uma falta de conhecimento em Física podem ocorrer e conduzir as crianças a pensarem de modo incorreto e, conseqüentemente, a não compreenderem a natureza (Id, Ibid).

Questionamentos mais profundos da utilização da Informática no ensino da Física vão além da denúncia da existência de possíveis equívocos na elaboração dos softwares. É preciso assinalar que a simples utilização da Informática não garante que os estudantes tenham uma boa aprendizagem. Como Pintó e Gómez (1996) alertam, toda experiência proposta aos estudantes têm, intencionalmente ou não, uma abordagem que corresponde a esquemas conceituais, epistemológicos, pedagógicos e psicológicos. A reflexão, portanto, sobre as possibilidades e limitações da Informática no ensino da Física equivale a analisarem-se as afirmativas dos seus defensores e dos seus críticos buscando-se a fundamentação das suas argumentações. Este presente trabalho é uma tentativa de ocupar, ainda que parcialmente, este espaço de análise.

Possibilidades das simulações computacionais no ensino da Física

O ensino da Física nas escolas e nas universidades não tem parecido ser uma tarefa fácil para muitos professores. Uma das razões para essa situação é que a Física lida com vários conceitos, alguns dos quais caracterizados por uma alta dose de abstração, fazendo com que a Matemática seja uma ferramenta essencial no desenvolvimento da Física. Além disso, a Física lida com materiais que, muitas vezes, estão fora do alcance dos sentidos do ser humano tais como partículas subatômicas, corpos com altas velocidades e processos dotados de grande complexidade. Uma tal situação, freqüentemente, faz com que os estudantes sintam-se entediados ou cheguem mesmo a odiarem o estudo da Física [29, 31].

Numa tentativa de dar conta dessa situação problemática, os professores têm freqüentemente utilizado o recurso ao real concreto e às imagens como um complemento ao uso das linguagens verbal, escrita e da Matemática. Nesse sentido, os livros-texto de Física têm recorrido,

crescentemente, ao uso de um grande número de ilustrações, muitas das quais referentes a fenômenos dinâmicos. A dificuldade, porém, de representar movimentos e processos através de ilustrações estáticas é algo que não deve ser subestimado. Para contornar essa dificuldade de representação visual, os livros têm utilizado alguns truques como o de representar situações iniciais e finais de um processo por uma série de gravuras em diferentes instantes de tempo ou mesmo apelando para o uso de fotografias estroboscópicas. Tem sido, igualmente, utilizado o recurso de mostrar objetos em movimento com a adição de várias linhas na direção da velocidade

Simulações computacionais vão além das simples animações. Elas englobam uma vasta classe de tecnologias, do vídeo à realidade virtual, que podem ser classificadas em certas categorias gerais baseadas fundamentalmente no grau de interatividade entre o aprendiz e o computador

ou de representar carros desacelerados com deformações exageradas dos pneus ou ainda de desenhar objetos velozes com linhas difusas e assim por diante. Imagens apresentadas desse modo precisam, entretanto, serem animadas nas mentes dos leitores. A experiência tem mostrado que em muitos casos essas ilustrações não têm sido de grande ajuda. O auxílio gestual provido pelos professores para a interpretação dessas imagens em sala de aula, assim como as suas ilustrações adicionais no quadro-negro, não têm sido também de grande eficiência. Esses gestos e ilustrações auxiliares podem parecer claros para aqueles que conheçam bem o fenômeno em causa, mas podem parecer incompreensíveis para outros. Além disso, desenhos no quadro-negro tomam muito tempo e não são tarefas de fácil execução. Os defensores da informática no

ensino da Física têm apontado o uso de animações por computadores como uma solução para tais problemas. Alguns têm mesmo advogado que os livros-texto de Física deveriam vir acompanhados por CDs contendo hipertextos repletos de animações [15].

Simulações computacionais vão além das simples animações. Elas englobam uma vasta classe de tecnologias, do vídeo à realidade virtual, que podem ser classificadas em certas categorias gerais baseadas fundamentalmente no grau de interatividade entre o aprendiz e o computador [8]. Tal interatividade consiste no fato de que o programa é capaz de fornecer não apenas uma

Experimentos perigosos ou de realizações muito caras ou fenômenos muito lentos ou extremamente rápidos estão dentro da classe de eventos bastante adequados para simulações computacionais

animação isolada de um fenômeno em causa, mas uma vasta gama de animações alternativas selecionadas através do *input* de parâmetros pelo estudante. Dessa forma, por exemplo, para ilustrar o movimento de um projétil, uma simulação computacional permite ao estudante a escolha de parâmetros relevantes tais como a velocidade inicial e o ângulo de tiro, para os quais o programa fornece-lhe as respectivas animações geradas a partir de grandes bancos de dados. Evidentemente, qualquer simulação está baseada em um modelo de uma situação real, modelo esse matematizado e processado pelo computador a fim de fornecer animações de uma realidade

virtual. A construção, portanto, de uma simulação computacional pressupõe, necessariamente, a existência de um modelo que lhe dá suporte e que lhe confere significado.

As simulações podem ser vistas como representações ou modelagens de objetos específicos reais ou imaginados, de sistemas ou fenômenos. Elas podem ser bastante úteis, particularmente quando a experiência original for impossível de ser reproduzida pelos estudantes. Exemplos de tais situações podem ser uma descida na Lua, uma situação de emergência em uma usina nuclear ou mesmo um evento histórico ou astronômico [23]. Experimentos perigosos ou de realizações

muito caras, assim como os que envolvam fenômenos muito lentos ou extremamente rápidos, estão, também, dentro da classe de eventos a serem alvos prioritários de simulações computacionais no ensino da Física [28].

Do ponto de vista educacional, uma das deficiências clássicas do sistema de ensino tradicional tem sido a dificuldade de prover as necessidades individuais dos estudantes. Esse tem sido um obstáculo central para o desenvolvimento de uma educação efetiva desde os tempos em que a demanda por um ensino universal levou à formação de currículos bem estruturados, grandes escolas e salas de aula. Dentre as buscas de solução para essa problemática, o computador se insurge como uma alternativa educacional desacreditada por alguns críticos e apoiada por numerosos adeptos. Não é de hoje que o uso de computadores tem sido apontado como uma forma de retirar do professor a necessidade de ensinar aos seus estudantes os mesmos materiais, de um mesmo modo e ao mesmo tempo [26].

Essa crença na capacidade de o computador poder prover condições ideais para um ensino personalizado tem levado vários pesquisadores a desenvolverem simulações de fenômenos físicos na esperança de que seus estudantes possam trabalhar sobre problemas seguindo os seus próprios ritmos individuais. Um exemplo de simulação elaborada, deliberadamente, com tal objetivo pode ser encontrado em um programa para demonstrar a dinâmica de circuitos elétricos fundamentais e desenvolver nos estudantes a habilidade de raciocinar de forma sistêmica e estruturada mediante a utilização de softwares alegadamente de grande potencial interativo [34].

Outras simulações computacionais, elaboradas para o ensino da Física, podem ser encontradas nos trabalhos de vários pesquisadores. Trampus e Velenje [31], por exemplo, desenvolveram um programa para simular linhas de força para diferentes distribuições de cargas. Uma vez tendo o estudante escolhido uma dentre certas distribuições disponíveis, e assinalado um ponto específico para uma carga de prova, o computador representava graficamente as linhas de força e a força atuando sobre a referida carga de prova. De modo semelhante, Snoj [27] desenvolveu simulações computacionais com o objetivo de fornecer explicações rápidas e simples para o fenômeno da difração. Escolhendo dentre três tipos de aberturas sobre as quais ondas planas incidiam, o computador fornecia imagens dos padrões de difração obtidos para uma tela distante. Snoj fez questão de assinalar que os seus experimentos virtuais mostravam uma boa concordância com os resultados de experimentos reais realizados pelos seus estudantes. Esse casamento da realização de experimentos reais com simulações computacionais tem sido seguido por muitos pesquisadores e sido alvo de intenso debate.

Seguindo essa mesma linha de comparação entre simulações e experimentos reais, Kamishina [12] desenvolveu uma simulação para o ensino da Física, em nível universitário, referente ao estudo de oscilações não muito fáceis de serem entendidas pela complexidade matemática de suas descrições. O complexo conceito de entropia, por sua vez, foi o alvo de uma outra simulação elaborada por Sperandeo-Mineo [30] para dar conta do ensino de uma abordagem estatística da segunda lei da Termodinâmica. Nos últimos anos, a produção de simulações para o ensino da Física, muitas das quais disponibilizadas na Internet, tem se tornado uma verdadeira 'coqueluche'. Apesar do número crescente de seguidores desta vertente da utilização da Informática no ensino da Física, os objetivos e os fundamentos das simulações continuam ainda sendo alvo de acesas discussões.

Do ponto de vista educacional, uma das deficiências clássicas do sistema de ensino tradicional tem sido a dificuldade de prover as necessidades individuais dos estudantes

Muitas têm sido as vantagens apontadas para a utilização das simulações no ensino das Ciências pelos seus defensores. Em recente trabalho de doutorado, Gaddis [8] fez um amplo levantamento das principais justificativas apontadas para tal uso. A análise de tais posicionamentos constitui-se em um importante campo de pesquisa da educação científica atual. Dentre tais posicionamentos, podemos assinalar os seguintes benefícios, além dos acima apontados, supostamente trazidos pelas simulações computacionais no ensino da Ciência:

1. reduzir o ‘ruído’ cognitivo de modo que os estudantes possam concentrar-se nos conceitos envolvidos nos experimentos;
2. fornecer um *feedback* para aperfeiçoar a compreensão dos conceitos;
3. permitir aos estudantes coletarem uma grande quantidade de dados rapidamente;
4. permitir aos estudantes gerarem e testarem hipóteses;
5. engajar os estudantes em tarefas com alto nível de interatividade;
6. envolver os estudantes em atividades que explicitem a natureza da pesquisa científica;
7. apresentar uma versão simplificada da realidade pela destilação de conceitos abstratos em seus mais importantes elementos;
8. tornar conceitos abstratos mais concretos;
9. reduzir a ambigüidade e ajudar a identificar relacionamentos de causas e efeitos em sistemas complexos;
10. servir como uma preparação inicial para ajudar na compreensão do papel de um laboratório;
11. desenvolver habilidades de resolução de problemas;
12. promover habilidades do raciocínio crítico;
13. fomentar uma compreensão mais profunda dos fenômenos físicos;
14. auxiliar os estudantes a aprenderem sobre o mundo natural, vendo e interagindo com os modelos científicos subjacentes que não poderiam ser inferidos através da observação direta;
15. acentuar a formação dos conceitos e promover a mudança conceitual.

Diante de um quadro tão otimista sobre as possibilidades educacionais das simulações no ensino da Ciência, faz-se necessário questionarem-se quais as limitações existentes para a consecução das mesmas. Há de se observar, certamente, que por trás de todo esse decantado otimismo há toda uma linha de argumentação a ser devidamente examinada em sua mais fundamental base de sustentação. Cumprem-se analisar não apenas as alegadas vantagens educacionais, mas, igualmente, as bases epistemológicas das simulações computacionais que dão sustento aos prodigiosos benefícios que as mesmas poderiam trazer para o ensino, no dizer de seus mais ardorosos defensores.

Há de se observar, sobretudo, que enquanto muitos educadores conferem às simulações poderes educacionais quase miraculosos, outros tantos continuam ainda avessos às mais simples introduções da Informática no ensino da Ciência. Entre a euforia e o pânico existe, portanto, todo um campo de argumentações a ser devidamente explorado e criteriosamente examinado com o necessário rigor analítico.

Limitações das simulações computacionais no ensino da Física

Uma grande ênfase é dada comumente ao fato de que novas tecnologias educacionais, tais como as simulações computacionais, possibilitaram uma mudança radical no modo de se ensinar a Física. Em muitos aspectos, essa mudança equivale à quebra de um antigo paradigma educacional

baseado em aulas expositivas e laboratórios tradicionais. Pouca referência é feita, entretanto, aos perigos que uma tal mudança educacional pode, igualmente, trazer consigo. O excesso de entusiasmo acerca das novas tecnologias pode obscurecer o fato de que, com o seu uso, alguns conhecimentos e habilidades importantes estejam sendo inadvertidamente perdidos [18]. Há um grande risco implícito na adoção acrítica das simulações no ensino da Física, pois elas apresentam certas desvantagens, algumas vezes negligenciadas. Seria primordial notar-se que um sistema real é freqüentemente muito complexo e as simulações que o descrevem são sempre baseadas em modelos que contêm, necessariamente, simplificações e aproximações da realidade. Uma tal modelagem de um sistema físico é crucial para que as simulações construídas possam constituir-se em boas aproximações da realidade [3]. Existe uma diferença significativa entre o ato de experienciar-se um fenômeno através de um experimento real e através de uma simulação computacional e se tal diferença não for percebida, as simulações podem, por vezes, comunicar concepções do fenômeno opostas àquelas que o educador pretendia veicular com o seu uso, como a pesquisa educacional tem mostrado [33].

As modernas técnicas computacionais têm tornado as representações visuais e simulações computacionais fáceis e verdadeiramente espetaculares. Ao mesmo tempo, contudo, elas têm criado uma tendência perigosa de um uso exagerado de animações e simulações considerando-as como alternativas aos experimentos reais, como se as mesmas tivessem o mesmo *status* epistemológico e educacional. Destacando a importância do realismo e trabalhando com estudantes de Engenharia num laboratório assistido por computador, Edward [5] observou que as simulações mostravam-se menos efetivas do que os experimentos reais. A necessidade, entretanto, de um certo realismo nas simulações não é tarefa simples como possa parecer à primeira vista. Pressupostos contidos nas necessárias simplificações que fundamentam os modelos, nos quais as simulações estão baseadas, passam freqüentemente despercebidos pelos estudantes e mesmo por muitos professores.

É verdade que uma boa simulação pode comunicar melhor do que imagens estáticas, ou mesmo do que uma seqüência delas, idéias sobre movimentos e processos em geral. Nisso fundamenta-se, basicamente, a decantada superioridade das representações computacionais àquelas contidas nos livros didáticos. Inferir-se daí, entretanto, que as simulações seriam ao menos equiparáveis aos experimentos reais, constitui-se em um enorme equívoco. É preciso estar-se em alerta para o fato de que essa arma poderosa da animação computacional pode servir, paradoxalmente, também, para comunicar imagens distorcidas da realidade com eficiência igualmente maior do que a das figuras estáticas. Uma animação não é, jamais, uma cópia fiel do real. Toda animação, toda simulação está baseada em uma modelagem do real. Se essa modelagem não estiver clara para professores e educandos, se os limites de validade do modelo não forem tornados explícitos, os danos potenciais que podem ser causados por tais simulações são enormes. Tais danos tornar-se-ão ainda maiores se o modelo contiver erros grosseiros. A nossa própria experiência educacional tem mostrado-nos vários casos nos quais estudantes, por vezes talentosos, têm sido ludibriados pela beleza e pelo fascínio da realidade virtual em certas simulações. Em um caso, por exemplo, pudemos observar o encanto de um estudante com uma simulação computacional que representava um tubo de raios catódicos. Ao serem injetados diferentes parâmetros de tensão no sistema,

**As técnicas computacionais
têm criado uma tendência
perigosa de um uso
exagerado de animações e
simulações considerando-as
como alternativas aos
experimentos reais, como se
as mesmas tivessem o
mesmo *status* epistemológico
e educacional**

podiam ser observadas belíssimas imagens do brilho das ampolas. Nosso estudante, fascinado, afirmou: *“Isso é certamente melhor, mais barato e mais fácil de manipular do que um experimento real. Podemos ver, com clareza, todos os efeitos provocados pela variação da tensão elétrica no tubo. Além disso, a simulação torna evidente que os raios catódicos recebem tal nome pois emanam diretamente do catodo”*.

Apesar de compartilharmos com o nosso estudante a impressão de encanto sobre a beleza das imagens, ficamos atônitos com o ‘conhecimento’ que ele havia inferido daquela bela, porém infeliz, simulação. A semelhança com o real extinguiu-se na beleza do fenômeno exibido. Por mais que variássemos os parâmetros referentes à tensão elétrica na simulação em causa, ela jamais exibiria

É difícil avaliar o potencial destrutivo de simulações belas mas equivocadas sobre a mente desavisada de um possível aprendiz

qualquer espaço escuro, dentro do tubo, que interrompesse a trilha dos raios catódicos. Naquela realidade virtual, não existia o espaço escuro de Crookes, lugar principal da formação de plasma e origem dos raios catódicos no experimento real. Outros espaços escuros mais sutis, como o de Aston, evidentemente, também não eram exibidos. Perguntamos ao nosso estudante: mas onde estão os espaços escuros? Não há uma forma de variar a tensão para que eles apareçam? A

resposta foi: *‘Já tentei, eles não aparecem. Mas, isso é só um detalhe sem grande importância. Mais importante, para mim, é o aspecto realístico dessa simulação com que podemos fazer o aluno ver que os raios catódicos se originam de fato no catodo’*. Chocados com aquela impressão, fizemos ver ao nosso estudante que aquela não era absolutamente uma questão menor, mas, ao contrário, uma questão crucial na compreensão do fenômeno. As regiões escuras, contidas na direção dos raios catódicos, eram, na realidade, as fontes principais de emissão daqueles raios e não o catodo em si mesmo como mostravam aquelas belas imagens da simulação. Em outras palavras, o aspecto visual era encantador, mas a simulação havia sido construída baseada em um modelo com simplificações exageradas, ou melhor, com graves equívocos. E aí residia o seu maior perigo e aparente aspecto real. Havia um modelo subjacente à simulação e esse não estava claro para o estudante que tomava, assim, os equívocos veiculados por uma tal simulação como os aspectos demonstrativos de um fenômeno real. Em outras ocasiões, pudemos observar diferentes exemplos de simulações igualmente belas e não menos equivocadas. É difícil avaliar o potencial destrutivo das mesmas sobre a mente desavisada de um possível aprendiz. Projéteis que eram lançados a distâncias variadas, com ângulos de tiros diversos, eram visualizados em simulações nas quais podia-se sempre perceber o aspecto parabólico das trajetórias. Alcances que podiam ser checados contra uma teoria elementar já conhecida em nível médio. Nosso estudante, encantado, afirmou: *“Veja, podemos fazer o estudante testar vários parâmetros, obter os alcances e comparar com a teoria ensinada. Ele vai ver, com os próprios olhos, que a teoria funciona, mesmo. Que a teoria é real”*. Para dar ênfase à sua afirmação, colocou alguns parâmetros no seu ‘mágico’ software, obtendo quase que instantaneamente o traçado de uma bela parábola e o valor numérico do alcance: 300 km. Disse o nosso estudante, *“veja, professor, não é lindo? Não tem quem não entenda. O computador faz mágicas e torna tudo mais fácil. Pode checar com as fórmulas; o alcance dá mesmo 300 km”*. Mais uma vez, ficamos atônitos com o injustificado fascínio daquele outro estudante com aquelas equivocadas modelagens e objetamos:

- Mas, já lhe ocorreu que isso pode estar completamente errado?
- Como assim, professor? O senhor está dizendo que o computador errou? Pode checar com as equações. Eu já fiz isso para esses valores; dá certo!
- Dá certo, como?

- Dá certo! Dá certo! O resultado do computador é o mesmo da teoria.
- E o que é que isso prova?
- Ora, prova que está certo, que o experimento real dá isso mesmo, nem precisa fazer.
- Pois, faça. O resultado está errado.
- Como assim, professor? Não estou entendendo. O senhor quer dizer que as equações também estão erradas?
- Não é que estejam erradas. Elas simplesmente têm contextos de validade. O modelo tem de ser razoável com a natureza. E essas equações que você usou parecem estar subjacentes a essa linda simulação, a qual, portanto, também passa a ter o mesmo contexto de validade. Essa teoria, como toda teoria, é construída baseada em pressupostos simplificadores da realidade. 300 km é uma distância enorme para ser atingida por um tiro na superfície da Terra. Para essa distância, o projétil tem que subir muito e em alta velocidade. Além disso, a curvatura da Terra não poderá ser ignorada assim como a resistência do ar e a variação da aceleração da gravidade, como esse modelo simples ignorou. Para levar em conta todos esses fatores complicadores, que nesse caso não poderão ser ignorados, teremos de utilizar equações diferenciais muito mais complexas que essas equações que você escreveu aí.
- Quer dizer, então, que essas equações não valem para esse caso?
- Exatamente. Elas só valem para um mundo simplificado de projéteis mais lentos, que não sobem muito e nem vão muito longe.
- Mas... e como fica o computador? Ele é de última geração e o software foi feito usando a última versão do *Director*; usando, além disso, imagens feitas na última versão do *3-D Studio*.
- E daí? Está errado, mesmo assim. Veja lá, essa máquina não pensa, apenas calcula sequencialmente e a toda velocidade, o que você mandar. E convenhamos, já é muito. Mas, não é demais! Nem ela, nem esses softwares com nomes pomposos em inglês, nem a simulação que resultou disso tudo sabem Física nenhuma. A Física estava na mente de quem fez o programa e o autor equivocou-se, apesar de haver produzido um belo espetáculo visual. O valor de qualquer simulação está condicionado ao modelo, à teoria física utilizada em sua construção. Tanto a teoria como evidentemente o software, que está baseado na mesma, tem contextos de validade que dependem dos pressupostos utilizados. É inegável que as imagens exibidas parecem com as de um filme, parecem com o real; mas, apenas parecem. Ignorar os pressupostos embutidos e guiar-se pelo fascínio das aparências ilusórias é como confundir uma tomada de corrente com o focinho de um porco: ambos são redondos e têm dois buraquinhos; mas, você não pode ligar esse seu computador no focinho de um porco, pode? Portanto, cuidado com as aparências!
- Risos...

As cenas acima relatadas seriam cômicas, se antes não fossem trágicas. Confundir-se o virtual com o real, movido pelas aparências ilusórias, é um terrível perigo educacional e epistemológico. Muitas situações semelhantes às acima descritas poderiam ser igualmente mencionadas; mas, não serão relatadas nesse breve artigo. Retomemos, em seu lugar, as considerações mais gerais a respeito das limitações das simulações computacionais. Como alerta Vedelsby [32], reportando-se ao uso educacional das simulações, os modelos, as simplificações e as idealizações constituem partes muito importantes bem como ferramentas fundamentais em nossa descrição do complexo mundo físico em que vivemos. Um bom modelo em Física é simples e capaz de fazer boas previsões. Ele descreve e explica as partes principais dos fenômenos com os quais está relacionado e para os quais foi desenvolvido e é a mais importante ferramenta na compreensão dos resultados dos futuros experimentos. Dessa forma, uma parte crucial da aprendizagem da Física é fazer com que os nossos estudantes compreendam e apreciem o conceito de um modelo, o que eles significam,

para que foram construídos, seus pressupostos simplificadores e seus limitados contextos de validade. Resistores e lâmpadas incandescentes, por exemplo, são elementos comuns em circuitos elétricos e em simulações computacionais de circuitos elétricos elementares em um nível introdutório. Frequentemente e de forma bastante simplificada, resistores e lâmpadas são assumidos como tendo, ambos, um comportamento linear, embora a lâmpada, certamente, não o tenha, o que pode tornar-se óbvio mesmo quando os mais simples experimentos reais sejam realizados. Em simulações, entretanto, lâmpadas são vistas frequentemente variando o seu brilho como ilustrações fascinantes da lei de Ohm. Seria de questionar-se se a aplicação da lei de Ohm para um componente não linear, como uma lâmpada, não seria algo um tanto peculiar ou mesmo um modo desnecessário de tratar-se os fundamentos da Física. Seria de se perguntar o que um estudante teria a aprender de um tipo de simulação como essa. Seria isso uma boa Física ou seria isso mesmo Física?

Para muitos estudantes, a Física é apenas um amontoado de fórmulas usadas para resolver problemas. E a resolução de problemas consiste apenas em escolher as equações apropriadas, substituir os números e calcular as incógnitas. Mas, como lembra Schecker [25], os físicos acreditam, com justa razão, que o poder da Física consiste em descrever uma grande variedade de fenômenos com um conjunto muito limitado de leis e princípios fundamentais. Os estudantes, frequentemente, não percebem a distinção entre as poderosas ferramentas da Física, seus conceitos, princípios e leis fundamentais e os truques, os casos especiais nos quais, por exemplo, certas funções apropriadas descrevem formas especiais de movimento. Dessa forma, leis fundamentais

Para muitos estudantes, a Física é um amontoado de fórmulas usadas para resolver problemas. E a resolução de problemas consiste apenas em escolher as equações apropriadas, substituir os números e calcular as incógnitas

como as de Newton são, comumente, consideradas por estudantes como tendo o mesmo *status* de outras equações bem mais específicas como $S = 1/2 gt^2$, válida apenas para a queda livre dos corpos. Uma das razões para essa confusão é que o ensino da Física, frequentemente, dá muita atenção aos truques mencionados, deixando de lado as questões mais fundamentais como a modelagem dos fenômenos físicos que significa a aplicação das leis e dos conceitos fundamentais na construção de teorias com validades mais específicas. Por isso, na elaboração de simulações computacionais, uma atenção especial deveria ser lançada à modelagem que lhe dá suporte. Ao construir tais modelos, é necessário considerarem-

se criticamente quais as características do sistema modelado que poderiam ser negligenciadas e quais aquelas que deveriam ser incluídas no modelo. Em qualquer caso, o valor educacional de uma simulação dependerá do fato de ela poder vir a representar para o estudante um papel de auxiliar heurístico e não apenas cumprir um papel algorítmico ou meramente ilustrativo [10].

Muitos estudantes tendem a ver os programas computacionais que utilizam na aprendizagem da Física com poderes quase mágicos e como verdadeiras caixas-pretas. Isso ocorre porque as simulações, por exemplo, são frequentemente construídas baseadas em pressupostos ocultos para o estudante; e muitos desses pressupostos são ultra-simplificados, ou mesmo questionáveis. Dessa forma, tem sido argüido que experiências educacionais com simulações muitas vezes não servem de ‘fermento’ para o pensamento, como pretendido. Servem, sim, para embotá-lo [19]. Elaboradas com uma tal característica, as simulações não podem ser facilmente avaliadas quanto aos seus domínios de validade e ao grau de representatividade das mesmas em relação à realidade [7]. Sérios problemas poderão ocorrer se uma simulação utilizada carregar imprecisões, pois os estudantes podem mesmo nunca virem a perceber a sua ausência de compreensão da situação real

em causa [23]. Um outro problema é que o crescente uso da Informática tem levado alguns professores a utilizarem simulações até mesmo para atividades que, de um modo mais sensato, não seriam absolutamente necessárias.

É preciso ter-se em mente que o ponto de partida de toda simulação é a imitação de aspectos específicos da realidade, isso significando que por mais atraente que uma simulação possa parecer, ela estará sempre seguindo um modelo matemático desenvolvido para descrever a natureza e esse modelo poderá ser uma boa imitação ou, por outras vezes, um autêntico absurdo. Uma simulação pode tão somente imitar determinados aspectos da realidade, mas nunca a sua total complexidade. Uma simulação, por isso, nunca pode provar coisa alguma. O experimento real será sempre o último juiz.

Tome-se, por exemplo, as modelagens tão comuns de sistemas atômicos. Como um computador tem uma memória finita, mesmo que gigantesca, as simulações para serem factíveis são realizadas com sistemas que, tipicamente, consideram a existência de 10^2 a 10^6 átomos, enquanto um sistema real tem algo da ordem de 10^{22} átomos. Por isso, extrapolações não triviais para sistemas bem maiores são sempre requeridas [3].

Embora sejam os experimentos reais os indispensáveis juízes e a base para a construção do conhecimento, eles são, por vezes, altamente complexos e de difícil realização e compreensão. A complexidade de uma simulação, por outro lado, pode convenientemente ser adequada às necessidades reais dos estudantes e da situação de aprendizagem pretendida. Na impossibilidade da comparação com o real, a discussão da construção do modelo torna-se ainda mais importante e essencial.

A necessidade de uma discussão mais profunda sobre o uso conjunto de experimentos reais, simulações computacionais e abordagens teóricas foi tratada, por exemplo, por Grosu [9], no caso específico do estudo de um pêndulo cônico.

Críticos mais severos da utilização irrefletida da Informática na Educação têm chamado a atenção para o fato de que as simulações computacionais parecem limitar a possibilidade de os estudantes serem confrontados com a riqueza heurística da experiência dos erros experimentais e, assim, da tentativa de resolverem problemas da vida real [13]. Têm, igualmente, assinalado, de há muito, que os resultados nas simulações tendem a ser pré-determinados, em lugar de estarem abertos à pesquisa mais especulativa e aos raciocínios mais abertos [20]. A idéia central seria, portanto, pensar com a mente e calcular com o computador [31].

Outros críticos mais otimistas com as possibilidades da Informática na Educação têm apontado que um problema geral no ensino da Física tem sido o uso precoce de símbolos e métodos matemáticos que atuam como uma barreira de entrada para muitos estudantes, conduzindo-os a uma experiência de insucessos e resignação. Certo é que as simulações computacionais oferecem o mesmo grau de exatidão daquelas matematizações. Contudo, a linguagem utilizada de gráficos animados parece mais diretamente acessível à maioria dos estudantes. As soluções apresentadas em tal linguagem podem atuar como uma etapa intermediária em direção à abstração; mas, apenas intermediária. Elas permitem tratar um grande conjunto de problemas que pareceriam inacessíveis por métodos matemáticos tradicionais. Aquilo que pode ser aprendido parece, assim, ser ampliado de um modo mais suave sem a experiência tão freqüente do erro e da ansiedade causada pela busca das soluções. Mas, parte dessa ansiedade compõe um esforço heurístico que as simulações não incorporam. Assim, os entusiastas que tomam as simulações como uma panacéia para o ensino e a aprendizagem da resolução de problemas parecem não atentarem

Os entusiastas que tomam as simulações como uma panacéia para o ensino e a aprendizagem da resolução de problemas parecem não atentarem devidamente para a natureza da aprendizagem humana

devidamente para a natureza da aprendizagem humana. As idas e vindas dos raciocínios exploratórios, os erros experimentais, as vacilações das situações reais, tudo isso, que é economizado em nome de uma didática da informação a ser veiculada, carrega latente um problema central, pois, muito do que nós aprendemos na vida real é, também, sobre o como aprendemos e não apenas sobre o que aprendemos.

Uma questão igualmente disputada tem sido a da propalada capacidade de um ensino assistido por computador ser um tipo de educação que atenda às necessidades do indivíduo. Contudo, se o

A aprendizagem que vá além da pura memorização deve estar baseada em atividades onde o aprendiz envolva-se cognitivamente. O conhecimento não pode ser simplesmente implementado ou transferido, ele precisa ser construído e reconstruído para ter qualquer efeito duradouro

computador for introduzido nas escolas sem que haja mudanças estruturais nos métodos de ensino, no treinamento e nas expectativas dos professores e na própria estrutura administrativa da escola, o poder educacional dessas máquinas será bastante reduzido. Computadores podem ser usados para melhorar a produtividade, para ensinar habilidades básicas que envolvam prática, para fornecer alternativas aos livros didáticos e para deixar os professores mais livres e, assim, poderem ensinar aos seus estudantes resolverem problemas específicos. Contudo, computadores não devem ser usados apenas para automatizar, ou mesmo, amplificar os erros do passado e do presente. É preciso observar que o computador pode tanto encorajar brilhantes práticas de estudo quanto outras bem menos refletidas [19].

Defensores mais otimistas do uso das simulações na educação têm creditado às mesmas um potencial de atuarem decisivamente na mudança conceitual [24, 28]. Cabe, entretanto, notar-se que nem a realização de experimentos reais pode garantir qualquer mudança conceitual tal a riqueza das interpretações possíveis de variados aspectos da realidade. No caso do uso de simulações, as restrições são ainda maiores, pois elas estão baseadas, como já apontado, em modelos que contêm necessários pressupostos que simplificam a realidade e o funcionamento do software é proporcionado por um banco de dados que pode ser grande, mas que apesar disso, é limitado e não infinito.

O potencial do computador em personalizar o ensino da Física foi estudado por Yeo [36] observando as interações de estudantes com uma simulação de movimento de projéteis. Eles registraram em vídeo que quando os estudantes eram deixados a sós com o computador, suas interações com o conteúdo do programa eram limitadas e que eles moviam-se, prematuramente, para as próximas telas ou gráficos. Quando os pesquisadores pediram aos estudantes para explicarem as suas observações, dois pontos ficaram evidentes: eles mantinham as suas concepções alternativas sobre o movimento dos projéteis e apenas seguindo as sugestões dos pesquisadores notaram e tentaram interpretar aspectos mais abstratos do programa. Sem a intervenção de um professor, os estudantes não se engajavam cognitivamente em um nível profundo, nem sempre liam nem seguiam todas as instruções, nem relacionavam os gráficos ao texto. Benito e Ferrn [2], por sua vez, pesquisaram onde estavam focalizadas as mentes de professores e de estudantes, ao lidarem com simulações no ensino da Física. Suas conclusões são semelhantes às de Yeo [36] acima mencionadas, tendo os autores concluído ainda que apenas professores podem explicar idéias e transmitir certas visões da realidade física, criticamente.

Parece não haver dúvida que a aprendizagem que vá além da pura memorização deva estar baseada em atividades nas quais o aprendiz envolva-se cognitivamente. O conhecimento não pode ser simplesmente implementado ou transferido, ele precisa ser construído e reconstruído para ter qualquer efeito duradouro. Não existe dúvida de que a aprendizagem na interação com seres humanos, com um professor real, é uma necessidade indispensável em muitos casos. Simulações podem ser ricas em imagens e em cálculos; mas, são pobres em sua dimensão social [7].

Conclusões

Do amplo quadro de argumentações acima traçado, podem-se confrontar as muitas vantagens atribuídas para as simulações computacionais no ensino da Física com as não menos numerosas limitações, igualmente apontadas. É imprescindível que não se deixem de considerar os dois lados da questão: as vantagens e as limitações de um tal uso.

Por mais encantadoras que possam parecer as simulações computacionais, com suas cores, movimentos e sons, é preciso levar em conta que elas não são, provavelmente, a via de acesso principal para os raciocínios não verbais. Os movimentos corporais, o tato, a manipulação de objetos reais, a construção de relacionamentos no mundo físico estão também entre os seus principais fundamentos. O problema é que, na Educação tradicional, os sentidos têm desempenhado um papel secundário após o jardim da infância [11].

Apesar de todas as críticas, entretanto, há de admitir-se que boas simulações, criteriosamente produzidas, existem e que os professores guardam uma expectativa muito grande do potencial de suas utilizações. É preciso que fique bem claro que a argumentação levantada neste artigo não deve levar à conclusão de que os seus autores advogam o abandono da Informática Educacional, mas apenas que apontam para a necessidade de uma utilização da mesma mais refletida, equilibrada e nunca exclusiva. O ato educativo é por demais complexo para que o profissional da educação em Física possa optar por um único recurso pedagógico. O ato educativo deveria, ao contrário, ser focalizado de uma forma holística em múltiplas possibilidades trazidas pela realidade concreta, pela interação humana e, também, pelas simulações. Computadores podem ser excelentes coadjuvantes, mas não são bons substitutos da experiência com o mundo real [4]. É preciso ter em conta que a educação não é algo que envolve apenas a informação. Educar consiste, igualmente, em fazer as pessoas pensarem sobre a informação e a refletirem criticamente. A Educação, vista de uma forma holística, lida com a compreensão, com o conhecimento e com a sabedoria. É preciso estimular as mentes dos nossos estudantes e não apenas abarrotá-las de informações, de imagens enlatadas. Mario Schemberg costumava dizer que por vezes o volume das informações coletadas abafa a luz do pensamento crítico. Em uma época na qual a Informática na Educação parece algo quase inquestionável, é preciso lembrar sempre desta mensagem ou mesmo resgatar as palavras ainda mais antigas de T.S. Eliot [6]:

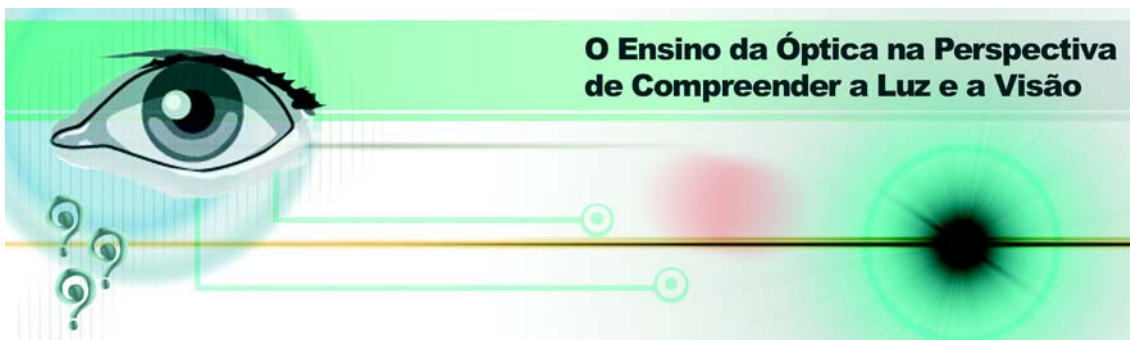
*“Onde está a sabedoria que perdemos com o conhecimento?
Onde está o conhecimento que perdemos com a informação?”*

**Apesar de todas as críticas,
há de admitir-se que boas
simulações, criteriosamente
produzidas, existem e que os
professores guardam uma
expectativa muito grande do
potencial de suas utilizações**

Referências

- [1] B. Baser, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubjana, Slovenia, 1996.
- [2] L. Benito and J. Fernn, *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubjana, Slovenia, 1996.
- [3] L. Bergqvist, *Monte Carlo Simulations of Ferromagnetic Quasi Two Dimensional Spin Model Systems*. Master of Science Thesis, Uppsala University, 2000.
- [4] J. Burg and B. Cleland, *Interactive Multimedia Electronic Journal of Computer Enhanced Learning*, Abril 2001.
- [5] N. Edward, *European Journal of Engineering Education* **22**, 143 (1997).
- [6] T.S. Eliot, *Choruses from The Rock*, Selected Poems (Harvest Harcourt, New York 1962), p. 107.
- [7] J. Funke, *International Journal of Selection and Assessment* **6**, 90 (1998).

- [8] B. Gaddis, *Learning in a Virtual Lab: Distance Education and Computer Simulations*. Doctoral Dissertation, University of Colorado 2000.
- [9] I. Grosu, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubljana, Slovenia, 1996.
- [10] H. Hartel, *Didactical Potential of Simulations*. <http://www.colos.ec-lyon.fr/theory/didactic/simulation.html>, 1997.
- [11] J. Healy, *Endangered Minds: Why Children Don't Think and What We Can Do About It* (Touchstone Books, New York, 1999).
- [12] Y. Kamishina, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubljana, Slovenia, 1996.
- [13] D. Kimbrough, *Strategies for Success* **33**, 3 (2000).
- [14] S. Kocijancic, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubljana, Slovenia, 1996.
- [15] A. Likar and V. Kozuh, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubljana, Slovenia, 1996.
- [16] T. Marino, P. Violino and G. Carpignano, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubljana, Slovenia, 1996.
- [17] M. Martins, M. Pereira and N. Martins, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubljana, Slovenia, 1996.
- [18] J. Miro-Julia, *Dangers of the Paradigm Shift. Draft Article*. Editado pelo Departament de Matemàtiques i Informàtica, Universitat de les Illes Balears, <http://dmi.uib.es/people/joe/opinion/ParShfDgr.html>.
- [19] T. Oppenheimer, *The Atlantic Monthly* **280**, 45 (1997).
- [20] M. Prosser and P. Tamir, *Developing and Improving the Role of Computers in Student Laboratories*, edited by E. Hegarty-Hazel, *The Student Laboratory and the Science Curriculum* (Routledge, London, 1990), pp. 267-290.
- [21] W. Reusch, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubljana, Slovenia, 1996.
- [22] L. Rogers, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubljana, Slovenia, 1996.
- [23] G. Russel, *First Monday* **6** (nov. 2001).
- [24] E. Sassi, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubljana, Slovenia, 1996.
- [25] H. Schecker, *System Dynamics Modeling in Physics – Educational Rationale*. <http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/projects/cip/modeling2.html> (2001).
- [26] S. Smith, *Electronics in Education: Impact of Technology on Curriculum, Teaching, and Learning*. Technical Report, edited by Science Council of Canada, Ottawa.
- [27] R. Snoj, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubljana, Slovenia, 1996.
- [28] J. Snir, et al. *The Truth, but Not the Whole Truth: An Essay on Building a Conceptually Enhanced Computer Simulation for Science Teaching. Draft Article*. (MIT, Cambridge, USA, 1988). Technical Report 88-18.
- [29] R. Soegeng, in *Proceedings from the 4th Australian Computers in Physics Education Conference*. Freemantle, Australia, 1998.
- [30] R. Sperandeo-Mineo, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubljana, Slovenia, 1996.
- [31] M. Trampus and G. Velenje, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubljana, Slovenia, 1996.
- [32] P. Vedelsby, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubljana, Slovenia, 1996.
- [33] S. Verbic, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubljana, Slovenia, 1996.
- [34] P. Vold, K. Gjessing and A. Hernes, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubljana, Slovenia, 1996.
- [35] L. Vrankar, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubljana, Slovenia, 1996.
- [36] S. Yeo, R. Loss, M. Zadnik, A. Harrison and D. Treagust, in *Proceedings of the 4th Australian Computers in Physics Education Conference*. Freemantle, Australia, 1998.
- [37] J. Zoehling, in *Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics*. Ljubljana, Slovenia, 1996.



O Ensino da Óptica na Perspectiva de Compreender a Luz e a Visão

Introdução

O desenvolvimento de um grande número de pesquisas sobre as formas alternativas de conceber os conceitos da Física trouxe uma questão subsequente ao se tentar levar para o ensino em sala de aula as informações encontradas. Aproveitar os testes e questionários utilizados pelos pesquisadores para aplicar com os alunos e evidenciar os mesmos modos de pensar já encontrados foi um trabalho pedagógico interessante e que sem dúvida serviu para que os professores tomassem consciência da existência desses modelos alternativos, mas o professor na sala de aula precisa mais do que isso: o que fazer com sua conduta pedagógica para obter a aprendizagem significativa e cientificamente correta dos seus alunos?

Dizendo de outro modo, o que pode mudar efetivamente no ensino, sabendo que os erros não representam apenas uma dificuldade pontual em relação ao modelo físico, mas que eles têm uma origem que pode ser atribuída a um modelo alternativo (espontâneo ou de senso comum) da teoria física? Nesse sentido o erro não é simplesmente uma digressão [1], mas um conflito de duas teorias, mais profundo e fundamental.

O conhecimento de quadros das concepções de senso comum, abundantemente espalhadas na literatura [6-8] por parte do professor, não é suficiente se ele continuar a tratar como erros (e indesejáveis) as respostas espontâneas que não se ajustam aos modelos científicos estabelecidos.

Parece que o sucesso de uma mudança conceitual com o trabalho em sala de aula dependerá do apoio de uma concepção de aprendizagem adequadamente utilizada e concretizada nas atividades específicas e na conduta do professor na sua interação com os estudantes.

.....
José Paulo Gircoreano

E.E. Profª Aparecida Rahal

.....
Jesuína Lopes de Almeida Pacca

Instituto de Física - USP

São Paulo - SP
.....

Apresentamos neste trabalho a estrutura de um curso que procura se basear nas concepções espontâneas dos alunos sobre luz e visão, para tentar promover o ensino dos temas da óptica geométrica de forma mais coerente e significativa. O próprio desenvolvimento do curso contém aspectos de pesquisa, coletando nas expressões dos alunos suas idéias de senso comum. Destacamos algumas atividades que têm por objetivo proporcionar aos estudantes oportunidades para confrontarem suas idéias e expectativas com uma situação prática, criando contextos para a construção dos conceitos científicos (publicado originalmente no Caderno Catarinense de Ensino de Física v. 18, n. 1, p. 26-49 (2001)).

Adotando uma concepção construtivista da aprendizagem, os indivíduos aplicam seus modelos disponíveis para resolver os problemas com que se deparam; tais modelos são mais amplos e completos do que mostram numa simples aplicação à resolução de um problema. A resposta certa ou errada tem como suporte uma estrutura, uma rede de relações que dificilmente é explicitada e que não pode ser imediatamente reconhecida na sua aplicação local e particular. Aceito isso, a eliminação de um erro evidenciado numa situação dada não garante uma modificação no modelo mais geral e nem mesmo o descarte de uma de suas partes. Na aprendizagem significativa, a estrutura teórica como um todo tem que se modificar, e é pouco provável que isso ocorra com um único exemplo mal sucedido no meio de muitos outros que até o momento mais contribuíram para confirmar e construir a teoria espontânea/alternativa.

Quando se estuda Óptica no curso de Ensino Médio, o enfoque tradicionalmente se restringe ao estudo de aspectos geométricos, baseados no conceito de raio de luz e na análise das características de alguns elementos específicos, como por exemplo, espelhos, lâminas de faces paralelas, prismas e lentes. Todos esses elementos sempre são indicados por retas e pontos num plano, sem ficar evidente que a luz se propaga num espaço tridimensional, que há uma fonte de luz e que existem obstáculos para a propagação. Os aspectos concernentes à natureza da luz, sua interação com a matéria e sua ligação com o processo de visão, também são, em geral, desconsiderados.

Como podemos notar através da literatura específica [9], as concepções espontâneas ou alternativas são abundantes nesse campo da Física. Em função desse conjunto de concepções, o ensino desvinculado dos aspectos físicos ligados à natureza da luz e ao processo de visão acaba não só tornando o aprendizado mais difícil como também pode reforçar muitas das concepções espontâneas e proporcionar aos estudantes uma apreensão incorreta dos conceitos cientificamente aceitos.

E o ensino da Óptica Geométrica considera as Concepções Espontâneas?

Quando se estuda Óptica no curso de Ensino Médio, o enfoque tradicionalmente se restringe ao estudo de aspectos geométricos, baseados no conceito de raio de luz e na análise das características de alguns elementos específicos, como espelhos, lâminas de faces paralelas, prismas e lentes

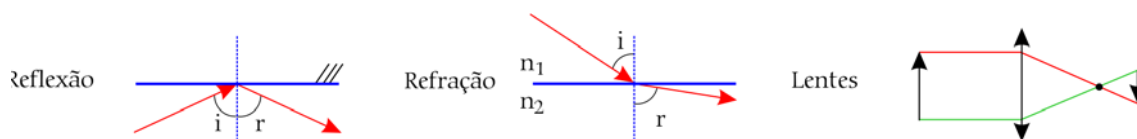
As concepções espontâneas e a Óptica Geométrica na sala de aula

Os resultados que a literatura apresenta mostram aspectos interessantes do conflito entre as formas de pensar do senso comum e da Ciência.

Na concepção espontânea, “raio visual” constitui um conceito fundamental para explicar a visão [8]: a luz vai do olho até o objeto para captá-lo visualmente; a visão não depende da existência de luz; objetos com cores claras podem ser vistos independentemente de haver luz no ambiente; cores claras prevalecem sobre as escuras. Diante de um problema de reflexão num espelho, o senso comum considera que a imagem do objeto está na superfície do próprio espelho. A luz enfraquece com a distância, de forma semelhante ao ímpeto carregado por um corpo, na mecânica.

Essas formas de conceber diferem essencialmente do que está implícito no conteúdo apresentado comumente na sala de aula. Existe uma predominância na apresentação da Óptica com seu aspecto geométrico, os conceitos e procedimentos são baseados no conceito do raio de luz (uma representação geométrica da luz), em entes abstratos e estáticos [7].

Os problemas são, em geral, apresentados numa ordem seqüencial estanque, onde reflexão, refração, lentes e espelhos não aparecem ligados a um mesmo fenômeno físico e representam, cada um por sua vez, um fenômeno ou evento distinto, com características próprias e específicas.



Para os alunos não fica claro que reflexão, refração, lentes e espelhos aparecem ligados a um mesmo fenômeno físico.

Na verdade, o que se apresenta é um conjunto de regras; estudam-se as definições de raio e de feixe de luz, fontes, princípios de propagação, etc, passa-se, então, para os espelhos (planos, curvos) e assim por diante, até chegar às lentes e, quando muito, tratam de aparelhos em que essas são usadas e dos problemas da visão, mas tudo de forma segmentada, sem apelo efetivo para a natureza da luz e sobre o processo da visão.

O objetivo da aprendizagem acaba sendo a medida de ângulos, a memorização de regras e a aplicação de fórmulas e princípios da trigonometria. A luz, nesse contexto, passa quase despercebida, com respeito às suas características e propriedades intrínsecas. Também se fala em construção, formação de imagens, mas o observador não aparece ou não é destacado, e se tem a impressão de que a imagem forma-se no espaço e pode ser atingida por “raios visuais”. Como esperar que o aluno consiga conceber com facilidade a idéia de uma imagem formada atrás de um espelho? Afinal, é essa a afirmação que os livros fazem.

Analisando os problemas normalmente propostos no desenvolvimento dos temas da óptica geométrica, deveríamos levantar as seguintes questões ou aspectos significativos, a serem problematizados e analisados com vistas à construção de um conhecimento significativo:

1. Onde está o olho do observador?
2. Qual o significado das linhas que representam os raios de luz?
3. Qual o significado de imagem real e imagem virtual?
4. Qual o papel dos anteparos?
5. A luz (“raio”) é um ente estático?
6. A luz pode ser vista de “perfil”?

Com a preocupação de organizar um curso para ensinar óptica, em que as concepções do senso comum seriam ponto de partida, procurou-se em primeiro lugar conhecer estas concepções e as formas pelas quais elas se manifestavam.

A Física dos alunos

Aplicamos um questionário versando sobre as características da luz e do processo de visão a alunos do 2º ano do Ensino Médio (um grupo de 120 alunos), enfocando aspectos como a intensidade da luz e a distância que essa pode alcançar ao propagar-se; o que acontece à luz quando atinge diferentes superfícies (a reflexão e a refração); a formação de imagens e a visão. Esse questionário foi baseado num teste elaborado por Fetherstonhaugh [4], usando algumas questões por ele apresentadas e outras, encontradas nos diversos trabalhos sobre concepções nessa área da Física.

Conforme pudemos perceber em nossos estudos, um aspecto quase sempre ignorado pelos livros é fundamental na análise do aluno: a visão. Para ele, os fatos são explicados em função do que ele vê ou não, e como vê.

A análise das respostas dadas no questionário e a sua discussão em classe nos deram indícios claros das dificuldades que o estudo da Óptica pode trazer se trabalhada tradicionalmente,

desconsiderando as idéias prévias dos alunos e dando importância apenas ao aspecto geométrico. Os conceitos, bem como as premissas usadas na óptica física, não são simples, muito menos óbvios para os estudantes. Apresentamos, a seguir, alguns exemplos de idéias que apareceram nas discussões que desenvolvemos em classe.

A: Eu tenho uma gata. Então o olho dela fica pequeno quando tem bastante claridade e ele aumenta quando não tem claridade. Então eu acho que ele vai enxergar.

P: Isso acontece com o seu olho também, não acontece?

A: Não sei...

P: Você nunca percebeu?

A: Não. Acontece? Então você enxerga no escuro?

P: Não sei.

A: No meu quarto eu enxergo!...

P: Em que situação?

A: Quando tá tudo apagado eu enxergo. eu consigo enxergar assim...o formato das coisas... a janela, é..., a janela... dá pra ver.

P: Tem certeza que é escuro total?

A: Absoluta.

A luz do sol ajuda Sueli a ver a árvore, mas sem a ajuda do sol, ela conseguiria ver a árvore, pois a árvore está próxima dela e está claro."

"... Às vezes a cor pode ser... você vê de um jeito, se não tiver luz você vê de outro jeito, mas a luz não interfere nesse caso depois de ele se acostumar com o ambiente. Eu acho que é isso."

"Ah! O preto eu acho que o preto eu enxergo porque deve refletir alguma... algo... a luz reflete aqui e reflete luz nos meus olhos e eu vejo. E por que que as pessoas sempre falam que a noite que as pessoas tem que usar roupa branca? Que é pra poder enxergar. Ah... é mesmo! Todo mundo, quando tá na rua que é à noite, tem que usar roupa branca pra pessoa enxergar. Então é porque o branco deve ter algum reflexo... agora preto, preto de manhã, com o sol, queima. Dá a impressão que queima, então acho que o preto é mais fácil de ser refletido na luz do que o branco..."

P: Quer dizer, o sol tá bloqueando, o sol é mais intenso...

A: Eu acho que é, deve ser isso. Sei lá, luz que o sol transmite é bem mais forte que essa e não vai deixar essa luz chegar muito longe. Deve ser isso.

"Ah, eu acho que deve vir a claridade! (?)... por exemplo, assim, é que nem, por exemplo, um espelho, eu olho num espelho, tá o reflexo de uma luz lá e eu me vejo? deve ser mais ou menos desse estilo."

"Só se tiver a ver com a luz. Se a sala tivesse apagada não dava pra ver. Só dava pra ver a mesa branca."

"A claridade é... é a forma como a gente vê a luz, luz clara, luz escura, eu acho que é isso."

"Eu acho que é, deve ser isso. Sei lá, luz que o sol transmite é bem mais forte que essa e não vai deixar essa luz chegar muito longe. Deve ser isso."

"Ah, por causa da luminosidade, por causa que no escuro a luz parece que ela se propaga, entende, a distância. Ela tem eh... digamos assim, ela reflete como uma luz que dá pra você enxergar."

A: O escuro é uma sensação de que você não pode ver nada, tampa sua visão.

P: Ele bloqueia a visão, o escuro... bloqueia...

A: Ah, eu acho que a claridade tampa.

As concepções confirmam o que existe publicado, basicamente sintetizado nas idéias do “banho de luz” e dos “raios visuais”, como podemos verificar em La Rosa [8], Osborn [9] e Kaminsk [7], entre outros.

O “banho de luz” é a idéia associada à luz ocupando todo o espaço, “iluminando” os objetos e permitindo que sejam vistos pelo olho. Não há uma ligação entre olho do observador e luz, que chega nele; a luz é entendida como um ente estático, sem movimento, ao contrário do “raio visual”.

“A luz do Sol ajuda Sueli a ver a árvore, mas sem a ajuda do sol, ela conseguiria ver a árvore, pois a árvore está próxima dela e está claro.”

O “raio visual” é a concepção de que o olho tem um papel ativo na visão; existem variações dessa idéia, mas, basicamente, ela se traduz por algo que, saindo dos olhos, proporcionaria a visualização dos objetos. Essas idéias podem dar conta das formas de explicação frente aos fatos do dia-a-dia, como as apresentadas.

Uma idéia também muito comum é a de que as imagens se formam sobre as superfícies dos espelhos. *“...por exemplo, um espelho, eu olho num espelho, tá o reflexo de uma luz lá e eu me vejo?...”*. Para o aluno, a imagem está lá, no espelho, e nada precisa chegar ao olho para que possa ser vista. Podemos entender essa explicação se considerarmos que, para o estudante, a luz não tem relação com a visão. O “olhar” encontra a imagem no espelho.

As cores são entendidas como propriedades dos objetos (La Rosa, 1984). *“Só se tiver a ver com a luz. Se a sala tivesse apagada não dava pra ver. Só dava pra ver a mesa branca.”; “Às vezes a cor pode ser... você vê de um jeito, se não tiver luz você vê de outro jeito, mas a luz não interfere nesse caso depois dele se acostumar com o ambiente”*. O aluno acredita que objetos de cor clara podem ser vistos independentemente de haver luz.

Essas são apenas algumas idéias apresentadas que compõem os modelos de pensamento espontâneo, fortemente estabelecidos, resistentes e coerentes com o conhecimento do senso comum, e muitas vezes reforçado pelo processo de instrução.

Para tentar questionar os modelos espontâneos, desenvolvemos uma seqüência de atividades que compõe a base de um planejamento escolar para ensinar as leis de reflexão e refração, a formação de imagem com espelhos e lentes, bem como chegar às construções da óptica geométrica, sem perder o significado dos procedimentos e a compreensão da natureza da luz e do processo de visão. No desenvolvimento do curso, são contemplados os seguintes aspectos: modelo de propagação da luz e do processo de visão (incluindo-se aí o funcionamento, a função do olho do observador); objetos que interferem na propagação da luz, com a mudança de enfoque: atenção ao fenômeno, aos desvios da trajetória da luz, e não o estudo de alguns objetos ópticos específicos.

Estrutura básica do curso

A seqüência das atividades é organizada da seguinte forma:

Preparação: discussão de questões – do teste diagnóstico (questionário inicial), por exemplo – que versam sobre o conceito a ser estudado, ou ainda, uma atividade rápida. Realizadas em grupo, têm a finalidade de permitir que os alunos expressem suas idéias e de incentivá-los a raciocinar em função do seu próprio modo de pensar e pelo de seus colegas, favorecendo o questionamento mútuo, criando, ao mesmo tempo, contextos e expectativas para os passos seguintes. Normalmente, essa etapa é realizada na própria classe.

Desenvolvimento: vivência de uma situação que destaca o conceito físico a ser estudado e coloca em xeque as idéias e expectativas dos alunos, exigindo novas explicações. Faz-se a discussão da experiência, confrontando as idéias que os alunos apresentaram antes da realização com os pontos de vista apresentados no desenvolvimento da mesma.

Formalização: análise das atividades realizadas com encaminhamento para a construção do conceito científico e do formalismo correspondente. Utilizam-se algumas atividades secundárias, mais ou menos formais, para aprofundar a parte conceitual, com a aplicação das leis e das construções geométricas.

As atividades

O curso já começa com o questionário inicial e a discussão das respostas dos alunos, bem como do encaminhamento e elaboração de explicações coerentes. A seguir são introduzidas atividades que procuram questionar as concepções prévias dos alunos e proporcionar oportunidades para reestruturação dessas concepções, através de uma condução adequada do professor. As atividades são sempre experimentais e envolvem participação efetiva dos estudantes; foram, por nós, identificadas por: “sala do nada”, “tuboscópio” e “pescaria”.

A “sala do nada”

Essa atividade pode ser realizada em uma sala qualquer, onde toda as entradas de luz externa são bloqueadas com papel e fita adesiva adequados; procuramos, assim, proporcionar aos alunos

**A resistência à mudança,
muitas vezes, prevalece
sobre as evidências de uma
experiência e é esperado
que ela se manifeste**

a oportunidade de vivenciar uma situação de ausência de luz. São poucas as chances de se vivenciar tal situação no nosso dia-a-dia, principalmente nas grandes cidades, devido à grande quantidade de fontes de luz artificial. Os alunos deverão perceber que a luz é necessária para haver visão, criando conflito com a idéia da existência do “raio visual” e demais idéias que justificariam a visão na ausência de luz (como forma e cor do objeto, adaptação visual ao escuro, etc).

Seqüência:

Preparação: discussão em grupo de questões sobre a visão e a necessidade ou não de luz para que ela ocorra. Nessa discussão os alunos expressam-se livremente sem muita intervenção do professor.

Desenvolvimento: apagam-se as lâmpadas e vivencia-se uma situação de ausência de luz. Os alunos expressam suas sensações, revelando para o professor incoerências com as concepções anteriores a essa situação.

Formalização: discussão da experiência e das idéias que os alunos apresentaram antes da realização, comparando sempre com a situação vivenciada e com situações do dia-a-dia. É importante a retomada, pelo professor, das expressões dos alunos nas duas situações fazendo-os confrontá-las.

Exemplos de concepções e do que acontece na prática:

A concepção dominante apresentada pelos estudantes é a de que a luz não é necessária para vermos. Houve o caso de um aluno, que trabalhava num laboratório fotográfico, que afirmou conseguir pegar objetos e fazer o que necessitava sem luz. Aliás, poucos alunos disseram que era impossível ver sem luz alguma. Foi quase unânime a idéia de que os gatos vêem no escuro porque têm uma capacidade visual diferenciada, “natural” (eles afirmam que os olhos do gato brilham no escuro). Para alguns alunos, a luz era necessária pois intensificaria “aquilo” que sai do olho; sem luz, esse “algo” que sai do olho não teria “força” para vermos. Para outros, os objetos precisam apenas estar iluminados (banho de luz) [8]. Objetos claros teriam uma “claridade” própria.

Durante a realização, logo ao apagar as luzes, ocorreram gritos, falas altas, etc, mas após a inquietação inicial, começaram a surgir os comentários de que não se enxergava nada, de que

aquela situação dava uma sensação estranha, até de desespero. Muitos reconheceram nunca ter estado num lugar totalmente sem luz.

Ao acender as luzes, um aluno havia se colocado no centro da sala sem que ninguém tivesse percebido isso. Uma aluna relatou que dançou no meio da sala sem que ninguém percebesse. Dois alunos se manifestaram afirmando, ainda, que seria possível ver sem luz: um acreditava que a adaptação visual demoraria pelo menos 2 h, e o outro, que não havia objetos brancos grandes o suficiente na sala. A resistência à mudança, muitas vezes, prevalece sobre as evidências de uma experiência e é esperado que ela se manifeste. A própria exposição de idéias resistentes fornece oportunidade para que outros alunos discutam sua validade.

Dentro do universo estudado, ficou evidente a eficiência do procedimento em afirmar a necessidade da luz para haver a visão, apesar de ainda comportar a concepção do raio visual, pois os estudantes podem adaptar explicações ao fato vivenciado. Precisa haver luz, mas isso não implica, para o aluno, que haja uma interação com o olho; no caso do “banho de luz”, o objeto, estando iluminado, pode ser visto. Já para aqueles que concebem a visão ativa, cabe tanto a idéia de que o “raio visual” é “intensificado” pela luz no ambiente, bem como aquela em que a visão “vai” até o objeto que está iluminado.

Essa constatação não é negativa, muito pelo contrário. Como estamos construindo um modelo com o aluno, é natural que ele ainda não entenda a propagação da luz e a relação com o olho. No entanto, já questionamos vários fatores que corroboravam a concepção prévia do aluno. Nesse ponto, é adequado utilizar uma atividade complementar, com uma lanterna, por exemplo, que induza o aluno a perceber o processo de difusão da luz. Essa propriedade da luz é essencial para compreender os processos que ocorrem no dia-a-dia muito mais do que a propriedade de reflexão que é quase exclusivamente estudada na escola.

Se o objeto é grande ou branco não importa se não houver luz. Seja como for, a luz é necessária à visão. Isso é o que se almeja ter no final das discussões.

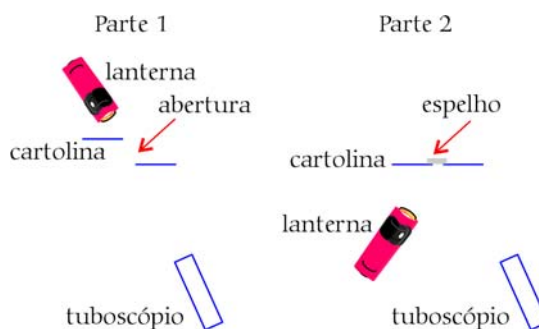
O “tuboscópio”

O “tuboscópio” é, na verdade, um simples tubo fino de papelão. Utilizamos também um anteparo formado por uma folha de cartolina (ou algo mais rígido), no meio da qual faz-se uma pequena janela, um pequeno espelho e uma lanterna preparada para emitir um feixe estreito de luz. Procuramos, com essa atividade, questionar a existência do raio visual e a visão direta, abrindo caminho também para o entendimento da formação de imagens por espelhos planos.

Seqüência:

Preparação: pede-se aos alunos que encontrem modos de tornar possível ver um objeto que não pode ser visto imediatamente através da janelinha.

Os alunos são colocados na sala escura e um deles é convidado a tomar posição para observar a janelinha do anteparo e notar que no espaço atrás dele há um feixe de luz produzido pela lanterna. As posições em que isso ocorre são fixadas com conhecimento de todos os alunos, após acenderem-se as luzes.



Disposição dos elementos (vistos de cima) para realização da experiência do “tuboscópio”

Desenvolvimento: a experiência é dividida em duas partes:

Parte 1

Um aluno segura a lanterna além da cartolina, direcionando para o tuboscópio através da abertura da janelinha, enquanto outro olha pelo tuboscópio e deve avisar quando vê a luz da lanterna.

Parte 2

Quem olhou pelo tuboscópio sai da sala; altera-se a montagem como indicado na figura acima – (parte 2) e coloca-se um pequeno espelho na abertura da cartolina. A lanterna agora é posicionada na frente do anteparo sobre uma mesa, coberta de forma a não despertar a atenção e de modo que sua luz reflita no espelho e passe pelo tuboscópio, mantido exatamente na mesma posição anterior.

Os alunos retornam e olham pelo tuboscópio e devem dizer se estão vendo a luz e onde estaria a lanterna.

Formalização: análise da experiência chamando a atenção para a luz (propagação, independência, reflexão), a formação da imagem (e a ilusão sofrida pela pessoa) e apresentação formal das leis e conceitos associados à reflexão.

Exemplos de concepções e do que acontece na prática

Na primeira parte, os alunos acreditavam que não seria possível ver a luz da lanterna pelo tuboscópio, por ser “pequena e fraca”, mas com o diálogo entre quem olha e quem segura a lanterna, acabam conseguindo ver e percebendo a importância do alinhamento lanterna – tuboscópio – olho. Depois de alterada a disposição como mencionado anteriormente, quando os alunos olhavam novamente pelo tuboscópio, imaginavam que a lanterna estaria próxima ou na posição em que estava antes. Quando o professor solicitava que o aluno pegasse a lanterna, ele ia até a cartolina, olhava atrás e se surpreendia quando se dava conta de que não estava lá. Alguns nem perceberam que havia um espelho na cartolina, outros perceberam, mas isso nada lhes significou. A maioria chegou a andar pela sala, passar ao lado da lanterna e não percebê-la, ficando mais surpresos ainda quando se indicava a nova posição da lanterna.

Durante a parte inicial da experiência, os alunos não demonstraram muito interesse pela situação por achá-la óbvia: quem olhasse pelo tuboscópio saberia onde estava a lanterna. Já durante o desenvolvimento, a surpresa é total com os que olham através do tuboscópio. É tal a surpresa que eles querem entender por que as pessoas pensavam que a lanterna estava num lugar onde, na verdade, não havia nada.

Na tentativa de explicar o porquê dos fatos ocorridos, a concepção que predominou foi a de que a luz do objeto vai até o espelho, e a “visão” vai até lá. Muitos alunos discordavam quando alguém se referia a uma luz em movimento (a lanterna tem a luz e o espelho fica iluminado). Esse é um momento em que as concepções espontâneas dos alunos sofrem um confronto intenso com a prática, pois estamos trabalhando a questão da propagação da luz e os efeitos do desvio da luz, antes de atingir o olho: direta (sem desvio) e indireta (reflexão), sendo que no segundo caso, o aluno vê a imagem onde nada existe, uma idéia muito difícil de conceber. E ainda mais surpreendente, o fato que a luz da lanterna só pode ser vista quando olhamos pelo tuboscópio na mesma posição; então, como explicar que aqueles que não olham pelo tubo nada vêem? Afinal, existe a luz “iluminando” o espelho.

Abre-se um contexto propício para o estudo da reflexão, suas regras e a questão da formação de imagens, destacando e associando de forma coerente a questão geométrica e o efeito fisiológico/

psicológico da luz entrando no olho. Aqui é interessante estudar a anatomia e fisiologia do olho que funciona como detetor de luz.

A pescaria

Utilizamos nessa experiência um recipiente, uma forma de assar bolo, um pequeno objeto, um bonequinho, por exemplo, e uma haste ou pinça. Procuramos aqui mais uma vez o conflito com a idéia de “raio visual” e a visão ativa do olho; analisamos os desvios que a luz sofre em certas condições, relacionando também com a reflexão. Esse é um momento em que se deve analisar refração e reflexão com enfoque no caminho e desvio da luz.

Seqüência:

Preparação: discussão de algumas questões como, por exemplo, da possibilidade de uma pessoa ver ou não um objeto que está dentro de um balde, tanto no caso do balde estar com água como no caso de estar sem água.

Desenvolvimento: os alunos distribuem-se pela sala aleatoriamente. Pergunta-se se há algo dentro da forma (alguns vêem o objeto nela colocado e outros não, dependendo da sua posição). Coloca-se água lentamente no recipiente (de modo que o objeto não se mova); gradativamente, o objeto vai sendo visto pelos alunos conforme a posição e a distância a que se encontram. Usando a pinça, pede-se aos alunos que ajudem o professor a “pescar” o objeto, orientando a posição da mão do professor. Quando a pinça estivesse sobre o objeto, de forma que o professor pudesse pegá-lo, deveriam avisar para mergulhar a pinça.

Formalização: análise da experiência e desenvolvimento do tema refração, chamando atenção para o tipo de desvio sofrido pela luz e a formação da imagem.

Exemplos de concepções e do que acontece na prática:

Sem água, os alunos próximos viam o que havia dentro da forma e os outros, não. As explicações comuns: não se vê o objeto, pois a forma bloquearia a visão; a distância da pessoa é grande; não se vê por faltar água; o plástico não tem reflexo, é transparente ou da cor da forma. Questionados se haveria alteração caso colocássemos água, encontramos explicações como: a luz bate na água, que ajuda a refletir o objeto colocado no fundo; a água daria um reflexo e a peça aumentaria de tamanho; a água mostraria o objeto; a água é transparente e o plástico vai ter um brilho diferente, o reflexo aumenta; a água reflete o objeto mais para cima, permitindo que a pessoa veja; o plástico subiria. Diante dessas variações de idéias muito superficiais e subjetivas, outra concepção é a de que a peça continua a não ser vista, pois ela não saiu do lugar e a água não ajuda na sua “visibilidade”.

Na medida em que se colocava a água, os alunos começavam a ver o boneco conforme a posição em que se encontravam.

No momento de “pescar” o objeto, foi-lhes solicitado que tentassem orientar o posicionamento da mão do professor para que esse pegasse o objeto, mas as indicações eram discordantes. Sugeriu-se que alguns alunos dessem as indicações, mas um de cada vez. Quando pediam para o professor baixar a pinça, ficavam surpresos ao não atingir o boneco (disseram até que o professor desviou a mão quando a abaixou e pediram para tomar seu lugar na pescaria, mas acabaram confirmando o que havia acontecido). Fez-se a “contraprova” realizando o mesmo procedimento, agora sem água; nesse caso, as indicações foram coincidentes e o boneco foi pego.

O desenvolvimento das atividades aqui sugeridas tem implicações importantes e significativas sobre o processo de ensino. A aula em si adquire uma dinâmica muito diferente da tradicional aula expositiva, abrindo a possibilidade para uma participação realmente ativa dos alunos no processo

Algumas idéias logo são descartadas pela simples observação do experimento, como confundir o objeto com o fundo ou o objeto flutuar. No entanto algumas estão ligadas à refração (a imagem é ampliada ou distorcida); outras, indicam fontes de dificuldade a que o professor deve estar muito atento, como a associação que o aluno faz com a reflexão. Afinal, podemos ver imagens refletidas pela superfície da água; a própria situação lembra a reflexão e não é fácil para o aluno perceber que nesse caso há uma diferença, com dois meios de propagação separados (água e ar) entre o objeto e o olho.

Considerações

O desenvolvimento das atividades aqui sugeridas tem implicações importantes e significativas sobre o processo de ensino. A aula em si adquire uma dinâmica muito diferente da tradicional aula expositiva, abrindo a possibilidade para uma participação realmente ativa dos alunos no processo. O aluno tem chance de se manifestar, de comparar as suas idéias (e de seus colegas) com os conceitos que o professor apresenta e verificar sua ocorrência (ou não) numa situação prática.

Como as atividades incentivam a participação e a exposição de suas idéias, poder-se-ia “temer” que algum aluno se sentisse constrangido ao verificar, na prática, que a sua explicação não seria

**Um estudo da fisiologia do
olho humano pode
contextualizar os temas
trabalhados e ajudar a
compreender o que vemos e
como vemos**

correta e, então, não “se expusesse” mais, ou ainda, em função de comentários de seus colegas. Porém procura-se mostrar que as atividades não têm a finalidade de mostrar que existem alunos com idéias corretas e outros com idéias erradas ou que devam aceitar aquilo que o professor está oferecendo como correto. É preciso deixar claro que buscamos também uma mudança de postura: incentivamos a participação ativa do aluno, oferecemos a oportunidade para ele se expressar, mas também procuramos desenvolver a capacidade de os alunos ouvirem as idéias dos

colegas e argumentarem sobre a validade ou não dessas idéias. O espírito dos procedimentos é justamente deixar o aluno à vontade e não ter receio de colocar suas opiniões em público; as atividades são criadoras de um contexto em que o aluno precisa tentar entender e explicar o que está acontecendo, construindo seu conhecimento. A atuação do professor nesse sentido é fundamental: atenção constante às expressões dos alunos e um bom conhecimento das concepções espontâneas esperadas, assim como também da física acreditada.

Os alunos apresentam grande dificuldade em conceber uma imagem que não está na posição do objeto e conceber seres e objetos como fontes secundárias de luz. A própria linguagem diária acaba ajudando a reforçar as concepções espontâneas.

A descrição geométrica dos conceitos normalmente faz-se num plano (da lousa ou do papel). Em nenhum momento a questão espacial é mencionada, como se fosse óbvia e todos a entendessem facilmente. O mesmo pode ser dito em relação aos entes geométricos, envolvidos no formalismo das leis da reflexão e da refração, por exemplo, a “reta normal” não é conceituada claramente; a tridimensionalidade é um fator de dificuldade e que deve ser levado em conta no desenvolvimento dos temas sob pena de novamente deixar margem para a manutenção de concepções errôneas a respeito da luz e da visão. A geometria espacial onde entram planos e retas com suas propriedades é fundamental para trabalhar com a óptica de modo significativo.

O processo da visão é relevante e deve ser levado em conta, pois é a partir do que vê que o aluno vai interpretar os fenômenos. Não devemos esquecer que o olho é um sistema refringente e sensor; a imagem é resultado da sensibilização desse sensor. Devemos analisar concomitantemente a luz e o processo de visão. Um estudo da fisiologia do olho humano pode contextualizar os temas trabalhados

e ajudar a compreender o que vemos e como vemos. Abre-se campo com essas atividades até para uma continuação, com o estudo das cores e das ondas eletromagnéticas.

Os procedimentos adotados abrem sempre a possibilidade para que os alunos coloquem a prova várias de suas concepções simultaneamente e a atenção a isso é fundamental, pois, numa determinada situação, podemos trabalhar um conceito que não era o inicialmente visado. É necessária muito maior ação e atenção do professor: no desenvolvimento de uma experiência, muitas vezes o aluno pode não estar vendo aquilo que o professor quer e sim aquilo que ele, aluno, quer e acredita. Assim, a constante interação dos alunos entre si e com o professor é peça chave para alcançar êxito.

Referências

- [1] J.P. Astolfi, *El "Error", Un Medio para Enseñar* (Diada Editora S. l., Sevilla, 1999).
- [2] B. Andersson and C. Kärrqvist, *European Journal of Science Education* **5**, 387-402 (1983).
- [3] E. Feher, *International Journal Science Education* **12**, 35-49 (1990).
- [4] T. Fetherstonhaugh, and D.F. Treagust, *Science Education* **76**, 653-672 (1992).
- [5] F.M. Goldberg and L.C. McDermott, *American Journal of Physics* **55**, 108-119 (1987).
- [6] F.M. Goldberg and L.C. McDermott, *The Physics Teacher* 472-480 (1986).
- [7] W. Kaminski, *Bulletin de L'Union des Physiciens* 716, 973-995 (1989).
- [8] C. La Rosa, M. Mayer, P. Patrizi and M. Vicentini-Missoni, *European Journal of Science Education* **6**, 387-397 (1984).
- [9] J.F. Osborne and P. Black, *International Journal of Science Education* **15**, 83-93 (1993).
- [10] K. Rice and E. Feher, *Science Education* **71**, 629-639 (1987).
- [11] K. Rice, and E. Feher, *Science Education* **72**, 637-649 (1988).
- [12] K. Rice, and E. Feher, *Research in Science Teaching* **30**, 505-519 (1992).
- [13] A.B. Saxena, *International Journal of Science Education* **13**, 283-289 (1991).
- [14] B.L. Shapiro, *Science Education* **73**, 711-733 (1989).



.....
Carlos Eduardo Laburú e
Maria Inês Nobre Ota
 Universidade Estadual de Londrina,
 Departamento de Física, Londrina, PR

Rodrigo Leonardo de Oliveira Basso
 Bacharelando, bolsista PET/CAPES.

Chrystie Jacob Almeida
 Licenciando

Introdução

Nos últimos anos, um crescente movimento entre educadores de Educação Científica em Física vem indicando a necessidade de atualizar o currículo do Ensino Médio com conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC). Nos eventos da área de educação científica, da década atual, é possível constatar um volume significativo de trabalhos em FMC. Nos penúltimos “Encontro de Pesquisa de Ensino de Física” (V EPEF) e “Simpósio Nacional de Ensino de Física” (XII SNEF) contam-se, respectivamente, por volta de 11 e 30 referências, que abordam direta ou indiretamente tópicos relacionados àqueles temas, o que representa uma expressiva quantidade de trabalhos. No último Encontro de Pesquisa de Ensino de Física (VI EPEF), por exemplo, encontramos em Ostermann e Moreira [8] um levantamento entre pesquisadores em física, pesquisadores em ensino de Física e professores do nível médio, sugerindo tópicos específicos de FMC para serem tratados nesse nível escolar. Entre as publicações, por outro lado, é possível obter sugestões pedagógicas e/ou de conteúdos para serem tratados em FMC, tanto para o nível universitário [4, 5, 13], quanto para o Nível Médio [2, 7, 9, 3, 12].

Inserido numa proposta para o Ensino Médio de Física, aplicado à tecnologia contemporânea, este trabalho propõe um experimento caseiro para visualizar ondas eletromagnéticas estacionárias que se formam no interior da cavidade de um forno microondas. A idéia central é partir da motivação inicial dada por este experimento, quando se está estudando, por exemplo, o tópico “ondas”, na disciplina de Física, a fim de compreender-se o funcionamento deste eletrodoméstico caseiro que faz parte do cotidiano dos alunos (publicado originalmente no Caderno Catarinense de Ensino de Física v. 17, n. 3, p. 328-335 (2000)).

Advertência: os autores não se responsabilizam por qualquer incidente que possa ocorrer se o forno de microondas for utilizado inadequadamente. Todos os riscos ou danos, incidentes ou qualquer outro problema devido ao uso ou mau uso das informações aqui contidas são de inteira responsabilidade dos usuários. Embora tenham sido tomadas precauções cuidadosas na preparação deste material, não assumimos nenhuma responsabilidade por omissões ou erros.

A maioria desses trabalhos refere-se a conteúdos da Física desenvolvidos neste século, isto é, são relativos às teorias da relatividade e mecânica quântica, constituintes da Física Moderna ou, então, às decorrências mais atuais da Física Quântica, enquadradas na categoria de Física Contemporânea. Algumas das sugestões pedagógicas apontam para a interpretação de dispositivos desenvolvidos pela moderna tecnologia, utilizando-se para isso conceitos da FMC; outras interpretam o princípio de funcionamento de equipamentos desenvolvidos pela tecnologia moderna, baseando-se em conceitos da Física Clássica, desenvolvida no século passado, que é o procedimento do presente trabalho.

O assunto que vamos enfocar limitar-se-á a um tratamento de Física Clássica para o Ensino Médio, podendo ser introduzido no estudo de conteúdos relacionados ao eletromagnetismo ou em ondas, por exemplo. Nele houve a intenção de envolver, intimamente, o cotidiano tecnológico e a investigação experimental, portanto, levando em conta a atual Lei de Diretrizes e Bases da Educação. Dentro desse espírito, gostaríamos de enfatizar a possibilidade da abordagem empírica, ainda que somente demonstrativa. Tal atenção já vem se caracterizando como uma de nossas preocupações centrais [7], pois, comumente, as sugestões em FMC ficam restritas a exclusivos tratamentos teóricos.

Basicamente, o nosso objetivo é descrever um experimento que permita visualizar e caracterizar o comportamento ondulatório das ondas eletromagnéticas, em particular, das microondas. Para isso, como veremos em seção mais à frente, serão necessários um forno microondas doméstico e papel de fax. Originalmente, a idéia de usar este aparelho foi sugerida em Stauffer [11]. No entanto, a nossa proposta sugere algumas modificações neste trabalho, aperfeiçoando e facilitando a forma de registro das ondas eletromagnéticas. A idéia central de Stauffer é a de empregar o forno microondas para determinar a velocidade da luz. Para isso, segundo esse autor, será necessário que se insira dentro do forno microondas, de onde previamente se retirou o prato giratório, uma apropriada travessa refratária contendo “marshmallow” caseiro. Em seguida, aciona-se o microondas até começar a aparecer regiões queimadas sobre a superfície do “marshmallow”. Stauffer sugere utilizar essas regiões queimadas para determinar a velocidade da luz [14].

Ao tentarmos reproduzir esse experimento em dois microondas [15], não conseguimos, porém, obter resultados convincentes, ou seja, não foi possível observar um padrão ondulatório, onde se pudesse definir e medir um comprimento de onda; tão somente, obtivemos manchas escuras dispersas, sem características de uma sequência ondulatória. Em razão dessa dificuldade, tivemos a idéia de mapear outras regiões da cavidade do microondas. Para isso, modificamos o registro das ondas eletromagnéticas sugerido por Stauffer [11], trocando o “marshmallow” por papel de fax, que é termicamente sensível. Com esse novo procedimento, conseguimos obter padrões convincentes de formas ondulatórias, como pode ser visto na seção experimental, mais abaixo. Contudo, mesmo tendo identificado esses padrões, as medidas dos comprimentos de onda, além de não corresponderem às do trabalho de Stauffer, variavam em valores, quando as medidas eram tomadas em regiões distintas da cavidade interna do forno.

Em razão disso e dos resultados satisfatórios por nós obtidos no sentido de observar um padrão bem definido de ondas com o papel de fax, propomos, então, neste artigo, restringir as idéias de Stauffer, deixando somente como sugestão uma maneira interessante de constatar as ondas eletromagnéticas formadas no interior do forno microondas, assim desconsiderando o procedimento de medida dos comprimentos de onda. Também é importante salientar que as modificações realizadas acabam resolvendo alguns inconvenientes daquele trabalho, quando se procura envolver os alunos. Um deles é o incômodo em fazer o “marshmallow” e a dificuldade de sua manipulação em várias regiões (no caso, alturas) dentro do forno. Outros inconvenientes referem-se a guardar e transportar o “marshmallow”. Sendo esse um alimento perecível, o seu registro não pode ser conservado por muito tempo, como também, o seu transporte – da casa para a sala de aula – é muito impróprio [16].

Na oportunidade, vale lembrar que é possível aproveitar esse experimento para entender os princípios físicos envolvidos com o funcionamento do forno microondas, tecnologia presente no cotidiano dos alunos.

Parte teórica

O princípio físico fundamental para entender o forno microondas baseia-se no conceito de ressonância. Da mesma forma que uma corda presa em uma extremidade, quando posta a oscilar por uma fonte vibradora, cria ondas estacionárias de máxima amplitude para frequências específicas da fonte, as denominadas frequências de ressonância, o mesmo acontece na cavidade do microondas. Na parte superior da parede lateral do forno observa-se a existência de uma região onde se encontra, por detrás, uma fonte de ondas denominada “tubo magnetron” [6]. Este tubo é responsável pela geração das ondas eletromagnéticas na faixa de microondas que, em razão dessa frequência, são refletidas pelas paredes metálicas internas do forno, como a luz numa caixa de espelhos [17]. Explicando melhor, a cavidade é projetada de forma a “aprisionar” as microondas que saem do tubo magnetron. As ondas permanecem ali, até serem absorvidas pelo alimento ou serem dissipadas no ar. As paredes metálicas da cavidade são projetadas de forma a proporcionar uma afinação com a frequência das ondas ressonantes (propriedades ressonantes, semelhantes à da caixa de violão). Assim, a frequência do magnetron e as dimensões da cavidade interna do forno são calculadas apropriadamente para que se formem tais ondas estacionárias. Como se pode ver pela Figura 2, vários padrões de ondas desse tipo aparecem, obviamente, muito mais complexos do que os formados numa corda unidimensional, pois o sistema, diferentemente desta, é tridimensional como, por exemplo, as ondas estacionárias num sino vibrando, conforme ilustradas na Figura 1[10] onde as regiões nodais estão claras. Em razão da presença dessas regiões mais intensas de campo eletromagnético é que se faz necessário o prato giratório para que o cozimento no forno seja uniforme o máximo possível. As diferentes intensidades do campo eletromagnético na direção perpendicular podem ser verificadas quando se coloca um copo de leite no centro do prato giratório. Nota-se que o leite esquenta primeiro na parte superior, onde há um dos máximos de intensidade das ondas estacionárias na cavidade.

Cuidados importantes

É preciso advertir quais os cuidados fundamentais que devem ser tomados para não danificar o microondas. O mais importante de todos é **não introduzir objetos metálicos dentro do forno**, pois isso representa risco de descargas elétricas entre esses objetos e as paredes internas do microondas, o que pode vir a ocasionar sérios danos a essas últimas. Quando objetos metálicos são colocados na cavidade com microondas, esses ficam eletrizados. Essa eletrização gera um campo elétrico intenso, na região próxima ao objeto, suficiente para quebrar a rigidez dielétrica do ar, produzindo descargas elétricas, na forma de pequenos raios. Enquanto o aparelho de microondas estiver ligado, o objeto metálico causará raios de maior ou menor intensidade, que podem causar alguns danos, como buracos nas paredes.

Cozimento dos alimentos

Os alimentos são cozidos porque algumas moléculas contidas neles vibram em modos próprios, denominados modos normais, sendo a molécula de água a principal delas. A frequência de microondas corresponde a uma frequência de oscilação natural da molécula de água. Por isso, essa molécula é posta a oscilar por ressonância, gerando calor e, logo, aquecendo e cozinhando o alimento.

Parte experimental

Para a obtenção das figuras de ondas estacionárias na cavidade ressonante do forno microondas é necessário papel de fax e uma armação para suportá-lo. Em razão de o nosso papel de fax ser

menor que a área da cavidade, unimos mais um pedaço à folha original, prendendo-as com pedaços de fita mágica adesiva. Após isso, construímos uma armação retangular simples com tubos de solda para PVC de 3 mm de diâmetro, aproximadamente, de modo que se ajustasse perfeitamente no interior da cavidade. Nessa armação, prendemos o papel de fax com a mesma fita adesiva, fixando todo esse conjunto nas paredes do forno com a mesma fita. Os experimentos foram realizados com tempos de exposição variando entre 10 a 60 segundos, aproximadamente, em potência cem por cento. O tempo necessário vai depender da altura que se posicionar o detetor (a armação com o papel de fax), pois há regiões de “nodos” onde não se notam amplitudes, portanto, deixando de imprimir o papel. Todavia, há regiões onde temos “antinodos” (máxima amplitude), queimando muito fortemente o papel. É preciso, então, regular visualmente o forno e desligá-lo quando se observar que há uma figura nítida, já formada.

A Figura 2 mostra uma sequência de registros em planos paralelos à base do microondas. Em todas as figuras, a posição da porta do microondas localiza-se nas partes inferiores das figuras. É preciso mencionar, também, que pesquisamos outros planos, como as diagonais e os planos perpendiculares ao chão. No caso destes últimos, encontramos igualmente figuras com características ondulatórias, onde aparecem nodos e antinodos. Na Figura 2 aparecem registros de dois fornos. As Figuras 2 (a, b) são de um

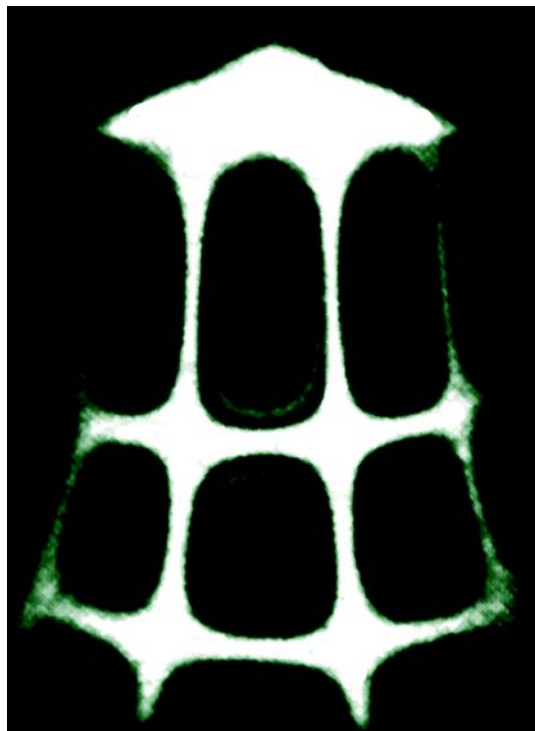


Figura 1. Ondas estacionárias de três dimensões num sino vibrando.

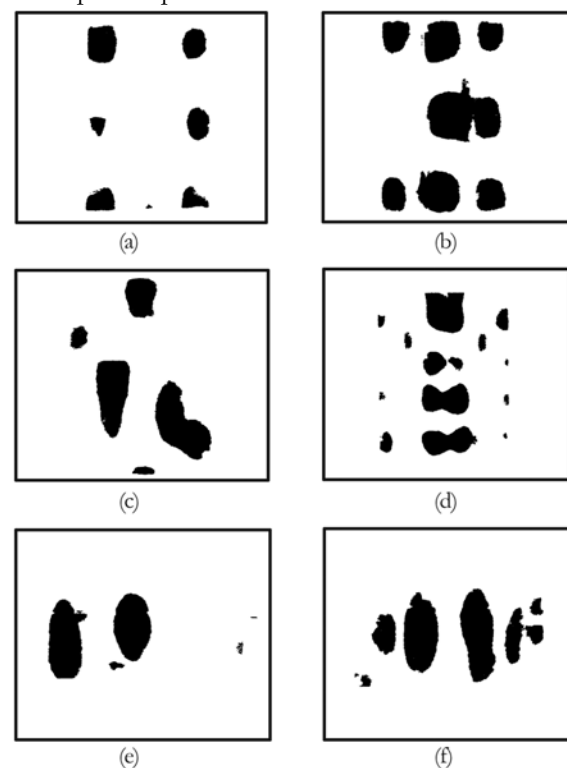


Figura 2. As figuras representam padrões de ondas estacionárias dentro do forno de microondas. As figuras de (a) a (b) e de (c) a (f) referem-se a aparelhos de microondas diferentes. As portas dos microondas estão abaixo das figuras e o emissor encontra-se do lado direito. Todas as figuras foram obtidas em planos paralelos à base da cavidade. As alturas de registro das figuras (a) e (b) são de 2 cm e 3 cm, respectivamente, e as de (c), (d), (e) e (f) são de 3 cm, 12 cm, 14 cm e 16 cm, respectivamente. As regiões escuras, onde o papel de fax foi queimado, são os antinós.

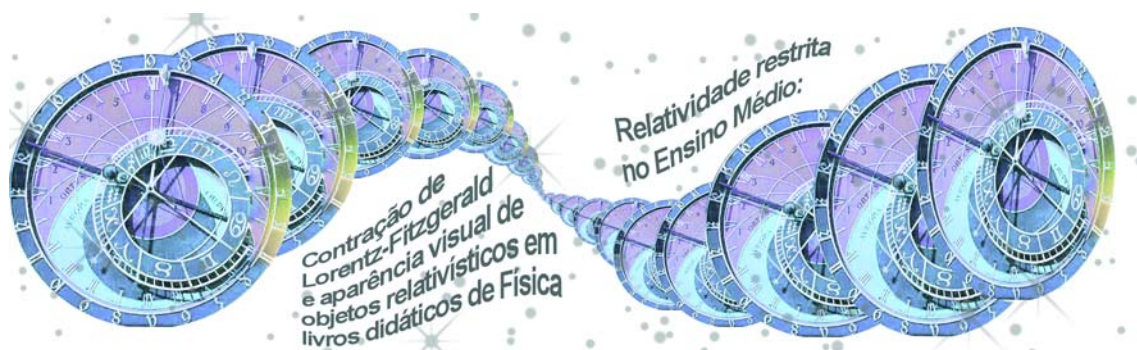
aparelho, e as restantes, de outro. É particularmente interessante notar as Figuras 2 (b, c). Nelas, apesar de os registos terem sido obtidos em alturas semelhantes (3cm), os padrões ondulatórios não são de os mesmos, como se vê. Isso mostra o porquê de não conseguirmos obter um padrão ondulatório convincente (Figura 2c), advertido no início do trabalho, como, pelo contrário, faz sugerir o trabalho de Stauffer [11]. É ainda possível observar pelas Figuras 2 (d, e, f) que o padrão ondulatório muda com a altura. Na Figura 2d, o padrão obedece a uma direção ondulatória porta-fundos (de cima para baixo, na figura) e, conforme se vai aumentando a altura, esse padrão muda de direção, virando para as paredes laterais sendo que, em uma delas, encontra-se o emissor (lados esquerdo-direito na figura).

Conclusão

Este artigo procurou levar ao conhecimento do professor do Ensino Médio uma possível proposta de experimento simples para ser realizado pelos seus alunos, numa atividade que pode ser considerada inserida numa programação curricular extraclasse. A principal idéia por detrás desse experimento é procurar entender o funcionamento do forno microondas caseiro. Com isso, é possível envolver e aproximar o conteúdo de física ao cotidiano dos alunos e, dessa forma, fazer com que essa disciplina preste-se, não só para a compreensão e uma visão da natureza, como também seja útil para entender os princípios que se encontram por detrás dos artefatos tecnológicos que o aluno convive ou interage no seu dia-a-dia.

Referências

- [1] C. Almeida, T.A. Pauka, C.E. Laburú e M.I. Nobre Ota, in *Resumos XIII SNEF*, Brasília, DF, 1999, p 51-52.
- [2] S.M. Arruda, e D.O. Toginho Filho, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **8**, 232 (1991).
- [3] I. Costa, e M.S. Santos, *How to Introduce Modern Topics in High School Curriculum? A Proposal. Thinking Physics for Teaching*, edited by Carlo Bernadini *et al.* (Plenum Press, NY, 1995), p. 371-379.
- [4] I. Costa, e M.S. Santos, in *Resumos do VI Encontro de Pesquisa de Ensino de Física*, Florianópolis, SC, 1998, p. 137-139.
- [5] H. Fischer, and M. Lichtfeldt, in *Proceedings of International Workshop Held at the University of Bremen*, edited by Duit *et al.*, 1992, p. 240-251.
- [6] J.C. Gallawa, *How Microwaves Cook? The Complete Microwave oven Service Handbook. Troubleshooting and Repair* (Prentice Hall, Division of Simon and Schuster, 1997).
- [7] C.E. Laburú, M. Simões e A. Urbano, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **15**, 192 (1998).
- [8] F. Ostermann, e M.A. Moreira, in *Resumos do VI Encontro de Pesquisa de Ensino de Física*, Florianópolis, SC, 1998, p. 111-113.
- [9] F. Ostermann, L.M. Ferreira e C.J.H. Cavalcanti, *Revista Brasileira de Física* **20**, 270 (1998).
- [10] R. Resnick, D. Halliday, and J. Walker, *Física 2* (Livros Técnicos e Científicos Editora, RJ, 1996), 4ª edição.
- [11] R.H. Stauffer Jr., *Physics Teacher* **35**, 231 (1997).
- [12] E.A. Terrazzan, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **9**, 209 (1992).
- [13] A. Villani e S.M. Arruda, *Science e Education* **7**, 85 (1996).
- [14] A velocidade da luz é determinada da seguinte forma: com uma régua, mede-se sobre o “marshmallow” o comprimento de onda da microonda (da ordem de 12 cm, segundo Stauffer [11]). Usa-se esse valor na relação $v = \lambda.f$, onde a frequência (f) pode ser encontrada atrás do forno, na chapinha das informações técnicas do aparelho.
- [15] Panasonic: mod. NN7809; mod. NN6556BAH, tipo Family.
- [16] Imagina-se, aqui, que o professor sugira a demonstração caseira para os alunos em seus fornos de microondas e que eles tragam os resultados obtidos para a sala de aula, a fim de serem discutidos.
- [17] A frequência e o comprimento de onda eletromagnética na faixa do visível são, respectivamente, de $4,3.10^{14}$ Hz a $7,5.10^{14}$ Hz e 7.10^{-5} cm a 4.10^{-5} cm. Por outro lado, as microondas são ondas do espectro eletromagnético que pertencem à mesma faixa de frequências dos sinais de rádio, radar, televisão e telefones celulares que corresponde a (10^9 - 10^{11}) Hz. Como é possível verificar através da chapinha de informações técnicas atrás dos aparelhos, a frequência de operação das microondas dos fornos é de 2450 MHz, e, como já dissemos, o seu comprimento é da ordem de centímetros, no caso, de 12 cm.



Introdução

A preocupação com a abordagem de temas mais atuais de Física no Ensino Médio intensificou-se em meados da década de 80 do século XX, inaugurando, de certa forma, uma nova linha de pesquisa na área de ensino de Física – Física Moderna e Contemporânea (FMC) [16] no Ensino Médio. A pobreza e semelhança dos currículos de Física nas escolas brasileiras podem ser reconhecidas na divisão dos conteúdos em blocos tradicionais: Mecânica, Física Térmica, Ondas, Óptica e Eletromagnetismo que seguem, basicamente, a sequência dos capítulos nos livros didáticos. Na prática, é comum que a Física se reduza apenas à cinemática (muitas vezes, quase toda a 1ª série do Ensino Médio é dedicada a ela), leis de Newton, termologia, óptica geométrica, eletricidade e circuitos simples. Dessa forma, toda a Física desenvolvida do século XX em diante está excluída dos currículos escolares [6].

Em vários países desenvolvidos, já foi superada a etapa de “levantamento de justificativas” para a inserção de FMC e seus sistemas escolares contemplam nos currículos, quase sem exceção, o tratamento de tópicos modernos. Já há algum tempo, vários materiais didático-pedagógicos vêm sendo desenvolvidos sob esse enfoque. No Brasil, no entanto, esse movimento está se expandindo de forma mais acelerada nos últimos cinco anos, principalmente, tendo em vista que a nova legislação recomenda que sejam contemplados conteúdos mais atuais nos currículos das escolas. A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, de 20 de dezembro de 1996 [17], propõe, por exemplo, como diretrizes para o Ensino Médio: o destaque à educação tecnológica básica, a compreensão do significado da ciência, o domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a

.....
Fernanda Ostermann e
Trieste F. Ricci
 Instituto de Física – UFRGS
 Porto Alegre – RS

Neste trabalho é discutida a abordagem que livros didáticos de Física, para o Ensino Médio, têm adotado com relação à contração de Lorentz-FitzGerald e à aparência visual de objetos relativísticos no contexto da introdução de tópicos sobre Relatividade Restrita. A idéia é alertar para o fato de que o assunto não tem merecido o devido cuidado, fazendo com que os livros apresentem sérios erros conceituais, quando confundem “medir” com “observar” ou quando omitem tal distinção, provocando má interpretação pelo leitor (publicado originalmente no Caderno Brasileiro de Ensino de Física v. 19, n. 2, p. 176-190 (2002)).

produção moderna. Particularmente, quanto à área de “Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias”, na qual se insere a disciplina de Física e os Parâmetros Curriculares Nacionais [18], sem mencionar uma lista de conteúdos a serem trabalhados no Ensino Médio, ressaltam que a organização e o tratamento de conteúdos devem estar vinculados ao cotidiano do aluno. O documento assinala que as disciplinas científicas têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e propõe uma renovação de conteúdos que proporcione condições aos alunos para que possam desenvolver uma visão de mundo atualizada.

A Relatividade Restrita - um dos pilares da Física Moderna e Contemporânea - vai completar cem anos e que ainda é pouco abordada nos livros didáticos

Entre as competências e habilidades em Física que os alunos devem aprender, são destacadas: representação e comunicação (aprendizagem de códigos, linguagens, símbolos físicos); percepção sociocultural e histórica (Física como construção humana, entendimento de aparatos tecnológicos); investigação e compreensão (organizar, levantar hipóteses, testar, entender “como funcionam” os aparelhos).

Vê-se, portanto, que há na nova legislação brasileira uma tendência de promover a renovação curricular, buscando no recente conhecimento científico, subsídios para o aluno entender o mundo criado pelo homem atual. Essa “pressão legal” começa a refletir-se nos livros didáticos de Física para o Ensino Médio, embora de forma ainda bastante tímida. O mercado editorial brasileiro deverá dar uma resposta rápida a essas novas recomendações, principalmente, se considerarmos que a análise de livros didáticos para o Ensino Médio, organizada pelo Programa Nacional do Livro Didático do Ministério da Educação e do Desporto, não foi ainda concluída.

O foco do presente trabalho é o tema da Relatividade Restrita - um dos pilares da FMC que já vai completar cem anos e que ainda é pouco abordada nos livros didáticos. Uma análise de várias obras recentemente lançadas no mercado brasileiro mostra que um número significativo de livros amplamente adotados nas escolas não trata do tema: Gonçalves e Toscano [19]; Anjos [20]; Ramalho *et al.* [21]; Bonjorno *et al.* [22] e Paraná [23]. Vale ressaltar que essas obras sequer tratam de outros tópicos de FMC.

Uma revisão da literatura através de consulta a artigos em revistas, dissertações e teses que abordam a questão da introdução da Relatividade Restrita no Ensino Médio, revelou também que essa discussão ainda é incipiente nesse tipo de publicação [7]. Destacamos, a seguir, alguns trabalhos encontrados.

Uma pesquisa sobre concepções alternativas de professores de Ensino Médio, acerca da Teoria da Relatividade, foi relatada por Alemañ Berenguer [1]. Esse tema está nos programas de Física das escolas espanholas. No entanto, o autor questiona o estilo didático, os enfoques com que tem sido tratado e aponta os erros conceituais mais comuns dos docentes de nível médio. Em síntese, os erros mais freqüentes cometidos pelos professores referem-se à tendência de explicar as idéias relativistas através de noções newtonianas, o que conduz à confusão de conceitos e a uma interpretação inadequada de fenômenos cujos significados variam radicalmente de uma teoria a outra. Essas concepções errôneas mostraram similaridade com as muitas encontradas em livros-texto de nível pré-universitário e universitário (*idem* p. 302). Também nessa linha de concepções errôneas em livros sobre Relatividade, Warren [14] analisa, em particular, as interpretações modernas que são dadas à relação massa-energia proposta por Einstein. Gradualmente, a partir da década de 60, foram surgindo derivações erradas da relação $E = mc^2$ que, segundo Warren, estão em desacordo com a teoria relativística e que carecem de coerência lógica. Duas classes de erros são as mais freqüentes:

1. supõe-se que a relação de Einstein distingue algum tipo particular de energia (usualmente energia nuclear) de outros tipos;
2. imagina-se que Einstein mostrou ser falsa a conservação de energia ou a conservação de massa ou ambas.

O autor discute os conceitos de conversão, matéria e massa de repouso e aponta que os erros publicados em livros refletem-se nas concepções que os estudantes apresentam. Em um teste com 147 calouros dos cursos de Ciências e Engenharia, verificou-se que 115 estudantes consideravam que a relação massa-energia só se aplica à energia nuclear ([14], p. 54).

Torre [13] expõe como a Relatividade e a Mecânica Quântica, as duas grandes revoluções científicas do Século XX, introduziram mudanças drásticas no conceito de espaço e tempo, fortemente condicionado pelos sistemas físicos que são objetos da percepção sensorial humana. A Relatividade, para o autor, introduziu a idéia de espaço-tempo “próprio” (a comparação entre duas coordenadas espaciais e temporais é dada pelas transformadas de Lorentz). Em termos de atividades experimentais, Dunne *et al.* [2] descrevem uma medida direta do tempo de vida do múon realizada em um laboratório do “A-Level” [24], na Inglaterra. A idéia é proporcionar aos estudantes uma evidência experimental do efeito relativístico da dilatação temporal.

Rodrigues e Pietrocola [10], ao analisarem o resultado da transposição didática da Teoria da Relatividade Restrita em livros de Física para o Ensino Médio, constataram que apenas duas obras no mercado brasileiro abordam o tema. Os autores dos livros analisados parecem buscar, como fonte de conteúdo, os artigos de divulgação e os textos para cursos de graduação. Quanto ao caráter informativo e não formativo apresentado pelos livros quando tratam do referido tema, Rodrigues e Pietrocola verificaram uma relação estreita entre esses e artigos de divulgação. Em geral, o fato desse tópico não estar presente nos currículos escolares faz com que seja apresentado apenas como anexo. Os autores alertam ainda que, quando a Física é tratada muito superficialmente, pode ser gerado um contexto propício a entendimentos inadequados ou a conclusões precipitadas, levando o leitor a acreditar ter entendido o assunto.

Esses são alguns dos poucos exemplos de trabalhos direcionados à problemática da Relatividade Restrita nos currículos escolares. O objetivo do presente artigo é contribuir para o avanço dessa discussão, investigando-se, nos poucos livros que abordam o tema da Relatividade Restrita, como é introduzida a contração de Lorentz-FitzGerald e qual a sua consequência na aparência visual de objetos relativísticos. A idéia é mostrar que o assunto não tem recebido o devido cuidado, fazendo com que os livros apresentem sérios erros conceituais quando confundem “medir” com “observar” ou quando omitem tal distinção.

Algumas considerações sobre a Relatividade Restrita

Um dos tópicos da teoria da Relatividade Restrita mais explorados em textos disponíveis para o Ensino Médio é o da contração do comprimento de objetos em movimento relativístico, ao longo da direção do movimento,

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (1)$$

onde L_0 é o “comprimento próprio” do objeto na direção de seu movimento, ou seja, o comprimento medido em relação a um referencial inercial (não acelerado); S_0 solidário ao objeto (o “referencial próprio”); v é a velocidade escalar do objeto em relação a um outro referencial inercial qualquer S ; c é o valor da velocidade de propagação da luz no vácuo e L é o correspondente comprimento do objeto medido com relação ao referencial S [9].

Esse fenômeno recebeu o nome de “contração de Lorentz-FitzGerald”, uma homenagem aos físicos George Francis FitzGerald (Irlanda, 1851-1901) e Hendrik Antoon Lorentz (Holanda, 1853-1928), que propuseram a relação (1) antes de Einstein [3,25], sob inspiração diferente deste e com um significado inteiramente diverso daquele que ela assume na Relatividade Restrita. Para Lorentz [5] e Fitzgerald [4], tal contração é interpretada como o resultado de uma modificação na estrutura da matéria da qual o material é feito, como consequência da interação das moléculas com o assim chamado “éter luminífero”, meio hipotético através do qual os físicos pré-relativísticos imaginavam que uma onda luminosa se propagava em regiões de vácuo. No artigo de FitzGerald [4], com o curioso título “O éter e a atmosfera terrestre”, pode-se ler que “...parece ser uma suposição não improvável que as forças moleculares sejam afetadas pelo movimento [relativo ao éter] e que, em consequência, o tamanho do corpo se altere”. No artigo de Lorentz [5], descobrimos que o autor supõe que as forças moleculares, como as eletromagnéticas, “... atuam por meio de uma intervenção do éter”. Ou seja, claramente esses autores adotam o ponto de vista segundo o qual existe um mecanismo físico que comprime as moléculas do corpo umas contra as outras, ao se deslocarem em relação ao éter, como se houvesse alguma espécie de atrito entre este e as moléculas.

A inspiração para propor a Eq. (1) a fim de quantificar a contração dos comprimentos veio dos resultados obtidos em 1887 pelo físico norte-americano Albert A. Michelson (1852-1931), em colaboração com o físico, seu contemporâneo, Edward W. Morley (1838-1923), em seu famoso experimento para medir a velocidade da Terra em relação ao éter. Nesse experimento, Michelson usara o interferômetro que hoje leva seu nome, um instrumento de grande precisão que ele havia inventado em 1881. Ao final de uma série de cuidadosas medidas com o interferômetro, os resultados obtidos indicaram,



George Francis FitzGerald (Irlanda, 1851-1901).



Hendrik Antoon Lorentz (Holanda, 1853-1928)

inequivocamente, um valor nulo para a velocidade orbital da Terra em relação ao éter. Esse era um resultado intrigante e altamente improvável, uma vez que a Terra descreve uma órbita aproximadamente circular em torno do Sol e sua velocidade vetorial, embora de valor praticamente constante, muda de direção a cada instante. Portanto, supor que seja sempre nula a velocidade terrestre em relação ao éter é uma hipótese extremamente arbitrária. Dentre as várias explicações que se tentou fornecer para justificar o resultado do experimento, a mais estranha foi justamente a hipótese da contração do comprimento longitudinal à velocidade, proposta por Lorentz e FitzGerald. Admitindo-a como verdadeira, eles imaginaram que o braço do interferômetro paralelo ao movimento sofria uma contração dada pela relação (1) e com isso mostraram que o resultado do experimento de Michelson deveria mesmo ser nulo. Assim, de acordo com Lorentz e FitzGerald, o experimento estava correto e o éter tinha existência real, apenas não se conseguia medir a velocidade da Terra como não nula com respeito ao éter devido à contração sofrida por um dos dois braços do instrumento de medida. Dessa forma, a contração do comprimento longitudinal é encarada como sendo objetivamente real, uma variação *absoluta* e não *relativa* ao observador, no sentido de que todos os observadores inerciais deveriam medir o mesmo valor de contração do corpo. Nenhum mecanismo físico convincente, entretanto, foi proposto para explicar por que o movimento relativo ao éter deveria resultar na contração.

Einstein obteve a Eq. (1) em 1905 a partir das Transformações de Lorentz (Einstein, 1905), que determinam as propriedades do espaço-tempo. Ele as deduziu postulando que a velocidade de propagação da luz no vácuo é sempre medida como $c \equiv 300.000 \text{ km/s}$ em relação a *toda e qualquer referencial inercial*. Este é o famoso postulado da “invariância da velocidade da luz no vácuo” e a inspiração seguida por Einstein ao propô-lo foi a de que as equações do eletromagnetismo de Maxwell deveriam ter a mesma forma ou estrutura matemática em relação a qualquer referencial inercial, o que se denomina tecnicamente de “covariância” das equações de Maxwell. Para deduzir a contração de Lorentz-FitzGerald a partir das Transformações de Lorentz, considere dois sistemas de referência cartesianos $S(x, y, z)$ e $S_0(x', y', z')$ em que os eixos de mesmo nome mantenham-se o tempo todo paralelos (Figura 1), com S_0 movendo-se com velocidade escalar relativa v na direção $+x$, sendo os cronômetros zerados e acionados no instante em que as origens dos dois sistemas de referência coincidem. Nesse caso, as transformações de Lorentz são dadas pelas equações:

$$\begin{aligned} x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned} \quad (2)$$

Consideremos S_0 como o referencial próprio de uma régua paralela ao eixo x' , com o qual a régua tem comprimento medido como L_0 . Logo, com relação a S , a régua está se movendo com velocidade escalar v na direção $-x$.

Como o observador que utiliza esse referencial medirá o comprimento L da régua sem ambi-

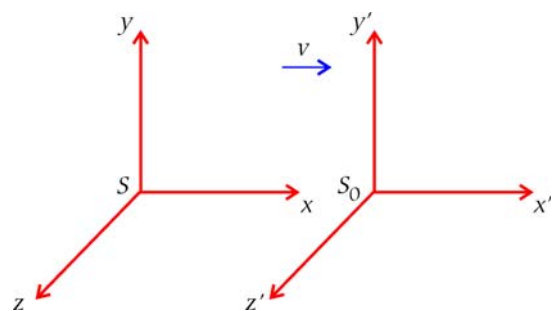


Figura 1. Dois sistemas cartesianos S e S_0 .

güidade alguma? Não basta que um único observador, utilizando um sistema de referência qualquer, *olhe* ou *fotografe* a régua em um certo instante t , e daí obtenha as coordenadas das duas extremidades da régua. Isso não está correto devido à finitude da velocidade de propagação da luz. Os dois raios de luz provenientes dessas duas extremidades são registrados como atingindo simultaneamente a retina do olho do observador ou o filme fotográfico, mas de fato foram emitidos de maneira não simultânea: o que veio da extremidade da régua mais distante do observador ou da máquina fotográfica foi emitido primeiro que o outro. *Medir* as posições das extremidades da régua, portanto, não é exatamente a mesma coisa que *ver* ou *fotografar*, como estamos acostumados a pensar cotidianamente. É fundamental distinguir precisamente o que se entende por *medir* na Relatividade Restrita daquilo que costumeiramente entendemos por *ver*, *observar* ou *fotografar*, sob pena de substituir noções precisamente definidas por outras vagas ou imprecisas.

Assim, o observador precisará medir simultaneamente (para ele) as posições das extremidades da régua relativística no referencial S utilizado. Sejam x'_1 e x'_2 as posições das extremidades da régua no referencial S_0 , de modo que $L_0 = x'_2 - x'_1$. O observador que utiliza o referencial S poderá medir corretamente esses valores dispondo de uma rede de sensores espalhados ao longo do eixo x , cada qual sendo controlado por um cronômetro preciso, sendo que os cronômetros desses sensores foram previamente sincronizados. Em um determinado instante t previamente escolhido, cada sensor determina se uma das extremidades da régua está ou não coincidindo com sua posição sobre o eixo x . Para o observador que utiliza o referencial S , então, no instante t , as extremidades da régua terão x_1 e x_2 , que são as coordenadas dos dois únicos sensores cujas posições coincidem com as extremidades da régua. Logo, o comprimento da régua é $L = x_2 - x_1$. Agora, de acordo com as transformações de Lorentz, os valores medidos para as coordenadas das extremidades da régua pelos dois observadores estão relacionados por:

$$x'_1 = \frac{x_1 - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{e} \quad x'_2 = \frac{x_2 - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

de modo que

$$L_0 = x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{L}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

de onde obtemos a relação (1).

Dessa forma, diferentemente do que pensavam FitzGerald e Lorentz, a contração não é absoluta, mas relativa, ou seja, depende do referencial utilizado nas medições. Ela não é resultante de uma modificação nas distâncias entre as moléculas que compõem o corpo, devido à interação com o éter, mas simplesmente o resultado da relatividade das medidas de comprimento e tempo. E tampouco o que se vê ou fotografa naquele instante será equivalente ao que se mede, no que diz respeito ao comprimento da régua. Intimamente relacionada com a distinção entre medir e ver, observar ou fotografar, abordada acima está a questão da *aparência visual* de objetos em movimento relativístico, que, por simplicidade, denominaremos de *objetos relativísticos*. Sintomaticamente, essa questão só foi abordada com clareza muito tempo depois do surgimento da Relatividade Restrita, a partir de 1959 [26]. Terrel [12] e Weisskopf [15] trataram dessa questão para o caso particular de objetos relativísticos que subtendem *ângulos pequenos* em relação ao observador

ou à máquina fotográfica. Eles mostraram que, sob tal condição, o objeto relativístico é visto ou fotografado, não como contraído na direção do movimento, mas como *girado* em torno de um eixo que é perpendicular à direção do movimento. A Figura 2, adaptada do artigo de Weisskopf [15], mostra a aparência visual de um cubo que se move com velocidade v na direção $+x$. No canto superior direito está ilustrada a imagem que seria registrada pela retina ou por uma fotografia. No canto inferior direito, está ilustrada a interpretação que um simples observador dá para o que ele vê ou fotografa, imaginando-se uma vista “por cima” do cubo. Na parte esquerda da Figura 2, está ilustrada a posição *medida* do cubo, com respeito ao referencial do observador. A contração de Lorentz-FitzGerald não é notada, de fato, como pode ser visto na parte superior direita da figura, apenas o objeto aparece girado de um ângulo igual a $\phi = \arctg(v/c)$.

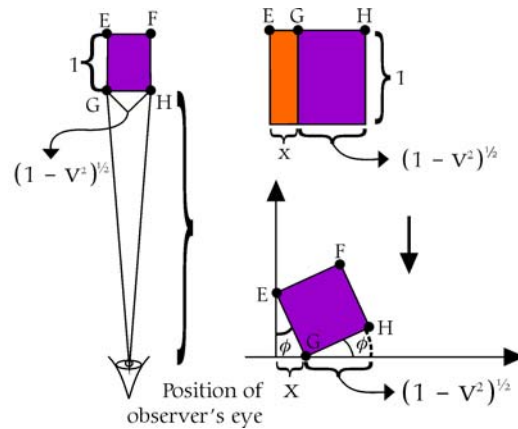


Figura 2. Aparência visual de um cubo que subentende ângulos pequenos.

Com objetos que subentendem um ângulo de visão grande em relação ao observador, mostra-se que, além da simples rotação, a aparência visual do objeto apresenta *distorção*. Scott e Viner [11], mostraram que linhas retas perpendiculares ao movimento aparecerão como hipérboles. Tratando objetos relativísticos com a forma de caixas retangulares, eles também mostraram que as faces ortogonais à direção do movimento aparecem como superfícies hiperbólicas. Em consequência, como ilustrado na Figura 3, adaptada do artigo citado, caixas retangulares com profundidade de quatro unidades de comprimento, vistas por um observador situado a cinco unidades das faces frontais das caixas, aparecerão distorcidas e rotadas. Dessa forma, o resultado do que se vê ou fotografa não é igual ao que se mede. Em particular, Penrose [8] mostrou que uma esfera em movimento relativístico, observada lateralmente, aparecerá sempre como um disco circular, sem quaisquer contração ou distorção visíveis.

Na próxima seção, analisaremos a abordagem que alguns livros didáticos de Física para o Ensino Médio adotam para a contração de Lorentz-FitzGerald.

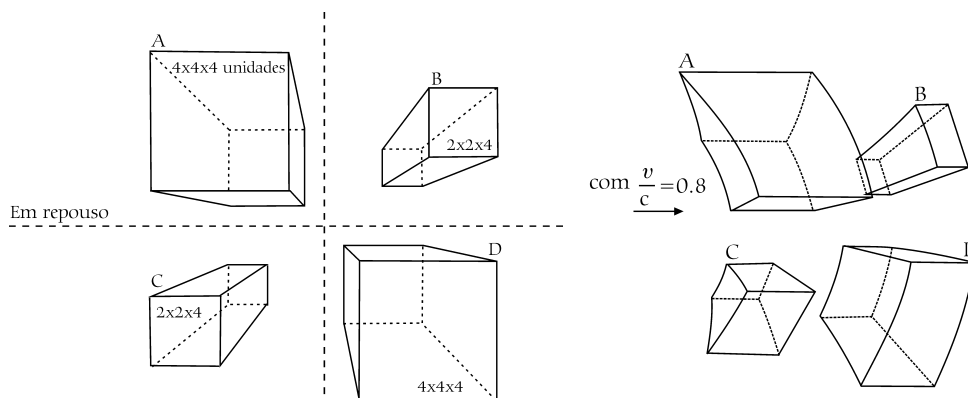


Figura 3. Aparência visual de caixas retangulares que subentendem um ângulo de visão grande.

A abordagem da contração de Lorentz-FitzGerald em alguns livros didáticos de Física para o Ensino Médio

Uma ampla consulta foi realizada em livros de Física para o Ensino Médio brasileiro, editados recentemente (a partir de 1996). Além disso, algumas obras editadas no exterior também foram consultadas. Conforme mencionado anteriormente, na grande maioria das obras, os temas da Física do século XX não são abordados pura e simplesmente, o que inclui a Relatividade Restrita. Mas nas poucas obras em que o assunto é mencionado, omissões ou imprecisões se fazem notar, que trataremos de comentar a seguir.

A coleção “Curso de Física”, de Máximo e Alvarenga [27], aborda, no seu primeiro volume, alguns aspectos de Relatividade Restrita (como tópico especial, por exemplo) no contexto das limitações da Mecânica Newtoniana. No entanto, a contração de Lorentz-FitzGerald não é tratada.

A coleção “Física”, de Gaspar [28], tem o mérito de apresentar, em seu terceiro volume, tópicos importantes da Física do século XX. A Relatividade Restrita é abordada em um capítulo em separado, com 27 páginas. Após uma detalhada discussão sobre a Relatividade Galileana, a obra apresenta uma excelente seção de caráter histórico sobre a questão do éter. É nela que a Eq. (1) é apresentada ao leitor, em conexão com os trabalhos de Michelson, FitzGerald e Lorentz. Em seguida, observando que “*embora a fundamentação teórica dessa contração não tenha sido correta*” e que ela “*na verdade era apenas um artifício para justificar o fracasso na detecção do éter*”, o autor parece ter a intenção de iniciar uma discussão a respeito do significado correto da Eq. (1), mas não chega a fazê-lo. E logo a seguir, encontra-se uma figura ilustrando a contração de Lorentz-FitzGerald para uma barra, onde na legenda lemos que “a barra de comprimento λ_0 tem seu comprimento *reduzido* (itálico nosso) para λ na direção da velocidade v ”. O problema está no emprego da palavra “reduzido”, pois a partir do significado que a linguagem do cotidiano lhe empresta, muito provavelmente ela será entendida como significando um “encolhimento” material da barra. Dessa forma, parece-nos inevitável que o leitor leigo seja induzido a pensar erroneamente, como fizeram FitzGerald e Lorentz, e que lhe escape o significado mais profundo da Eq. (1), o de ser ela uma consequência da relatividade das medidas de comprimento. Mais adiante, na página 315, a Eq. (1) é repetida sem nenhuma discussão adicional. Na página seguinte, na qual o autor expõe a solução de um exercício numérico, lemos que “...[o observador] *vê* a plataforma [o objeto relativístico] *contraída* ... passando por ele com velocidade de módulo $v = 0,5 c$ ” (os itálicos e os comentários dentro dos colchetes são nossos). Logo abaixo, encontra-se novamente a afirmação de que um simples observador “*vê* a plataforma... com comprimento *contraído*”, juntamente com o resultado numérico obtido da Eq. (1). Fica evidente, portanto, a potencial confusão a que o leitor desavisado pode ser induzido.

A obra “Temas de Física”, de Bonjorno *et al.* [29], também tem o mérito de abordar os tópicos mais relevantes da Física do século XX, na parte final do seu terceiro volume. Mas ao tratar a contração de Lorentz-FitzGerald, os autores escrevem que “*uma barra se contrai no sentido de seu movimento, tornando-se cada vez menor à medida que aumenta a sua velocidade em relação ao observador*” (o itálico é nosso). A figura da página seguinte ilustra o aspecto visual que teria o objeto relativístico para um simples observador para três valores de velocidade: zero, $0,87 c$ e $0,99 c$. Sem mais considerações por parte dos autores, o leitor certamente é levado a concluir que o observador *veria* a contração como calculada pela Eq. (1).

O livro “Física”, de Carron e Guimarães [30], dedica apenas duas páginas à Relatividade Restrita, nas quais a contração de Lorentz-FitzGerald, juntamente com a dilatação temporal e massa relativística, são apresentadas ao leitor simplesmente pela Eq. (1). Logo a seguir, os autores iniciam uma pequena discussão onde tomam o cuidado de mencionar que “*o que ocorre é que as medidas de*

comprimento, massa e tempo são afetadas pelo movimento", em vez de um encolhimento puro e simples que pressupõe uma modificação na estrutura da matéria da qual é constituído o objeto. Mesmo assim, a obra peca em não diferenciar claramente o que se entende por medir e observar, nem em distinguir a aparência visual daquilo que é revelado pelas medidas de comprimento.

A coleção portuguesa "Física", de Fiolhais *et al.* [31], não aborda a Relatividade Restrita em um capítulo em separado, mas em um "box" intitulado "Einstein explica a teoria da Relatividade Restrita", iniciado na página 73, onde a contração de Lorentz-FitzGerald e outras consequências das Transformações de Lorentz são abordadas na forma de um diálogo entre dois personagens paradigmáticos, representantes da Física pré-relativística e da Física relativística. Nele, lemos que *"da Transformação de Lorentz decorre que uma vara em movimento se contrai na direção do movimento, e tanto mais quanto mais aumenta a velocidade. Quanto mais rapidamente a vara se mover, mais curta parecerá"* (os itálicos são nossos). Sem nenhum esclarecimento adicional, o leitor é induzido pelo texto a duas concepções espontâneas. Primeiro, que a contração de Lorentz-FitzGerald pressupõe um encolhimento da matéria da qual é feito o objeto, ou seja, uma modificação na sua estrutura, e segundo, que um simples observador será capaz de ver, observar ou fotografar a contração tal como dada pela Eq. (1).

Embora infelizmente ainda não traduzida para o português, a obra *Conceptual Physics*, de Hewitt [32], foi consultada em virtude de sua excelência e de sua influência sobre os professores de Ensino Médio dos Estados Unidos. Essa obra apresenta uma ótima abordagem à Relatividade Restrita em nível médio, em um capítulo em separado com mais de trinta páginas (vale ainda mencionar que o capítulo seguinte trata da teoria da Relatividade Geral, o que é ainda mais inovador). Em que pese sua excelência, podemos constatar alguns deslizes do autor. Na página 654, é utilizada a expressão *"os comprimentos dos objetos aparecem como contraídos"* (*"the lengths of objects appear to be contracted"*). No início da página seguinte, encontramos que *"a 87% da velocidade da luz, um objeto apareceria como contraído para a metade de seu comprimento original"* (*"at 87% the speed of light, an object would appear to be contracted to half its original length"*). Na mesma página, a Figura 34.23 ilustra o que seria a aparência visual de uma bola em movimento relativístico para um simples observador, para diferentes velocidades do objeto, a qual reforça a confusão entre ver e medir, transmitida ao leitor pelas duas expressões anteriores. Na página 656, o autor parcialmente se redime ao promover uma discussão detalhada do significado da contração de Lorentz-FitzGerald, como sendo resultado da relatividade das medidas de comprimento do objeto e não como significando um encolhimento material do mesmo. Mas, nesse mesmo texto, ele novamente peca ao fazer uso de verbos como *"to watch"* (olhar atentamente, observar, assistir) ou *"to appear"* (aparecer, mostrar-se, parecer) em seus comentários, o que mais uma vez reforça a confusão entre medir e observar, que é latente em um leitor leigo.

Acreditamos que tais deslizes são relevantes. Poderia-se argumentar que, dado o nível introdutório em que o assunto deve ser abordado, seria demasiado preciosismo propor ao aluno nesse momento uma discussão sobre o significado preciso do que se entende por "medir" em Relatividade Restrita, distinguindo-o claramente daquilo que ordinariamente entendemos por "ver" ou "observar", ou mesmo "fotografar", ou ainda discutir a questão da aparência visual de objetos em movimento relativístico, como fizemos na segunda parte deste trabalho. Dado o caráter violador do senso comum intrínseco à Relatividade Restrita, tais tarefas são inevitáveis ao professor. Omiti-las, simplesmente, é transmitir erroneamente o conteúdo, reforçando não somente as concepções espontâneas que o aluno evoca da simples leitura do texto, mas também todas aquelas advindas do uso e abuso de temas da Relatividade Restrita na literatura não-científica, no cinema e na televisão, correndo o sério risco de transformar educação científica em ficção científica.

Algumas sugestões podem ser propostas ao professor para a elaboração de uma estratégia que vise a introduzir corretamente a Relatividade Restrita no Ensino Médio. Em primeiro lugar, sugerimos que ele apresente a Eq. (1) dentro do contexto histórico da questão do éter, após a discussão do experimento de Michelson e dos trabalhos de FitzGerald e Lorentz. Nesse momento,

A consulta feita aos livros didáticos de Física para o Ensino Médio revelou que a Relatividade Restrita simplesmente não é abordada na maioria das obras. Quando o tema é tratado, muitas vezes a abordagem utilizada deixa a desejar

o professor deve tornar claro que o significado que esses dois cientistas atribuíam à Eq. (1) *está errado*, e, em seguida, deve apresentar ao aluno o significado correto que lhe foi atribuído por Einstein. Cremos que tal cuidado evitará que o aluno incorpore a concepção espontânea de conceber a Eq. (1) como um encurtamento material do objeto, na direção do movimento. Essa, de fato, é a estratégia seguida em Gaspar (2000) e em Hewitt (1998), com as imprecisões já comentadas anteriormente. O professor deve evitar o emprego daqueles termos problemáticos mencionados nas críticas que fizemos, tais como “ver”, “observar” e “fotografar” ao invés de “medir”, ou de outras expressões que possam induzir o aluno a pensar

na contração de Lorentz-FitzGerald como um “encurtamento” material do objeto. Em segundo lugar, sugerimos ao professor que promova uma discussão sobre o significado preciso que a palavra “medir” adquire no contexto da Relatividade Restrita, explicitando a diferença que existe entre tal termo e aquilo que cotidianamente se entende por “ver”, “observar” ou “fotografar”. O professor deve aproveitar esse momento para discutir qualitativamente a questão da aparência visual de objetos em movimento relativístico, como fizemos na segunda seção do presente trabalho. Provavelmente essa atividade tomará tempo, mas o aluno terá muito mais chances de adquirir a verdadeira compreensão do significado da Relatividade Restrita.

Conclusão

A consulta que fizemos aos livros didáticos de Física para o Ensino Médio revelou que a Relatividade Restrita simplesmente não é abordada na maioria das obras. Quando o tema é tratado, muitas vezes a abordagem utilizada deixa a desejar, pela superficialidade com que esse é introduzido. Uma vez que esses textos não promovem a necessária ruptura com o senso comum que o entendimento da Relatividade Restrita exige, acabam por comprometer a correta aprendizagem dos conceitos envolvidos.

Em algumas poucas obras o assunto é tratado com a devida profundidade e detalhamento, mas imprecisões de linguagem podem vir a reforçar as concepções espontâneas de alunos e professores. Esperamos que as críticas que aqui fizemos possam servir de auxílio aos autores dessas obras para corrigi-las em futuras edições.

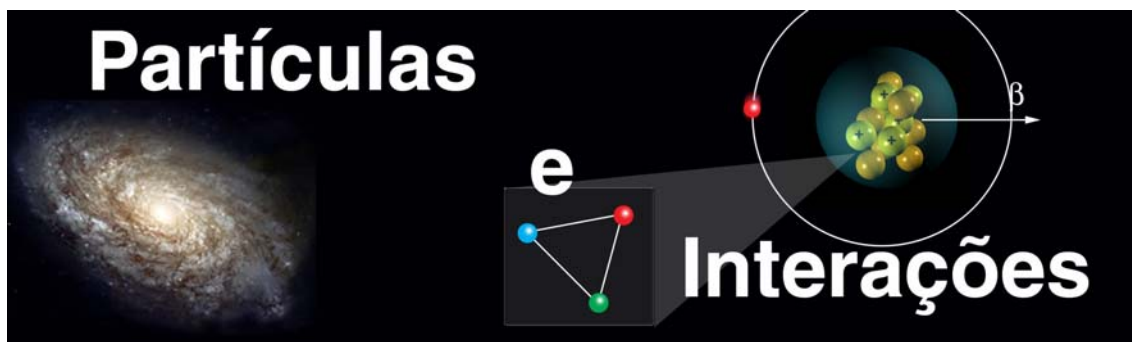
A análise mostrou também o quanto é longo o caminho a ser trilhado até que temas da Física do século XX sejam amplamente discutidos nos livros, tornando-os compatíveis com as novas tendências curriculares. Tendo em vista que a análise crítica de livros para o Ensino Médio ainda está em andamento no Brasil, esperamos, com este trabalho, poder contribuir com subsídios ao professor, e alertar, por um lado, para a carência de tópicos de FMC nos textos (o que contraria a proposta dos PCN) e, por outro, da necessidade de um maior rigor na linguagem empregada.

Agradecimentos

À Prof^a. Maria Helena Gravina, do Colégio Militar de Porto Alegre RS, pela leitura crítica do trabalho, que em muito contribuiu para aperfeiçoá-lo, e pela ajuda na confecção das figuras.

Referências

- [1] R.A. Alemañ Berenguer, *Enseñanza de las Ciencias* **15**, 301-307 (1997).
- [2] P. Dune; D. Costich and S. O'Sullivan, *Physics Education*, **33** 296-30 (1998).
- [3] A. Einstein, *Annalen der Physik* (Leipzig, 1905), v. 17, 891 p.
- [4] G.F. Fitzgerald, *Science* (Washington, 1889), v. 13, 390 p.
- [5] H.A. Lorentz, *Versl. K. Ak.* (Amsterdã, 1892), v.1, 74 p.
- [6] F. Ostermann, *Tópicos de Física Contemporânea em Escolas de Nível Médio e na Formação de Professores de Física*. Tese de Doutorado, Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre, 2000.
- [7] F. Ostermann e M.A. Moreira, *Enseñanza de las Ciencias*, **18**, 391-404 (2000).
- [8] R. Penrose, *Proceedings of Cambridge Philosophical Society* (London, 1959), v. 55, 137 p.
- [9] T.F. Ricci, *Teoria da Relatividade Especial* (Gráfica do Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, 2000), n. 11 (Textos de Apoio ao Professor).
- [10] C.D.O. Rodrigues e M. Pietrocola, *Encontro de Pesquisa em Educação em Ciências*, 1999, 2, Valinhos. Atas...
- [11] G.D. Scott and M.R. Viner, *American Journal of Physics* **33**, 534 (1965).
- [12] J. Terrel, *Physical Review* **116**, 1041 (1959).
- [13] A.C. Torre, *Educación en Ciencias* **2**, 70-71 (1998).
- [14] J.W. Warren, *Physics Education* **11**, 52-54 (1976).
- [15] V.F. Weisskopf, *Physics Today* **13**:9, 24 p (1960).
- [16] É possível, sem muito rigor, dividir a Física em: Clássica (até o final do século XIX), Moderna (final do século XIX até a década de 40 do século XX) e Contemporânea (aproximadamente, da década de 40 em diante).
- [17] Estudos n. 17. Revista da Associação Brasileira de Mantenedoras de Ensino Superior. Leis de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Ano 14. n. 17. Brasília, 20 de dezembro de 1996.
- [18] Parâmetros Curriculares Nacionais, Parte III, 1999.
- [19] A. Gonçalves Filho e C. Toscano, *Física e Realidade* (Scipione, São Paulo, 1997), v. 3.
- [20] I.G. Anjos, *Física* (IBEP, São Paulo, 1998), v. 1.
- [21] F.J. Ramalho; N.G. Ferraro e P.A.T. Soares, *Os fundamentos da Física* (Moderna, São Paulo, 1999), v. 3.
- [22] R.A. Bonjorno; J.R. Bonjorno; V. Bonjorno e C.M. Ramos, *Física Completa* (FTD, São Paulo, 2000), v. 1.
- [23] D.N.S. Paraná, *Física* (Ática, São Paulo, 2001), v. 1.
- [24] "A-Level" é um curso pré-universitário dirigido a estudantes entre 16 e 18 anos.
- [25] Este é o trabalho seminal de Einstein sobre a Teoria da Relatividade Restrita, "Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento", em alemão no original. Uma boa tradução para o português encontra-se na coletânea de artigos "O Princípio da Relatividade", Fundação Calouste Gulbekian, Lisboa, Portugal, 1971.
- [26] A questão do aspecto visual de objetos em movimento relativístico foi compreendida de forma errônea mesmo por físicos importantes como George Gamow. Em sua obra "Mr. Tompkins in Paperback", Cambridge University Press (1993), ele comete o deslize do qual tratamos neste artigo no 1º capítulo do livro intitulado "City Speed Limit". O próprio V. Weisskopf menciona que este fato o inspirou a tratar do assunto com o devido cuidado no artigo Weisskopf [15].
- [27] A. Máximo e B. Alvarenga, *Curso de Física* (Scipione, São Paulo, 2000), 3 v.
- [28] A. Gaspar, *Física* (Ática, São Paulo, 2000), 3 v.
- [29] J.R. Bonjorno; R.A. Bonjorno; V. Bonjorno e C.M. Ramos, *Temas de Física* (FTD, São Paulo, 1997), 3 v.
- [30] W. Carron e O. Guimarães, *Física* (Moderna, São Paulo, 1999), v. 1.
- [31] C. Fiolhais; J. Valadares; L. Silva e V.D. Teodoro, *Física - 12º ano* (Didáctica, Lisboa, 1996).
- [32] P.G. Hewitt, *Conceptual Physics* (Addison-Wesley, New York, 1998).



.....
Marco Antonio Moreira

Instituto de Física da UFRGS, C.P.
 15051, 91501-970 Porto Alegre - RS
moreira@if.ufrgs.br
www.if.ufrgs.br/~moreira

Introdução

Este texto procura dar, através da técnica dos mapas conceituais [1], uma visão introdutória ao assunto partículas elementares e interações fundamentais. A intenção é a de mostrar que esse tema pode ser abordado, de maneira acessível, sem muitas ilustrações que acabam tolhendo a imaginação dos alunos e até mesmo dificultando a aprendizagem de certos conceitos. Essa introdução poderá ser seguida de considerações qualitativas sobre simetria e leis de conservação em Física, sobre a construção do conhecimento em Física (por exemplo, a previsão teórica das partículas que somente anos depois foram detectadas, ou que ainda não o foram), sobre as tentativas de unificar teorias físicas. Com habilidade didática, talvez se possa transmitir aos alunos a idéia de um assunto excitante, *colorido, estranho e charmoso*, ao invés de difícil e enfadonho.

Partículas¹ elementares

Átomos consistem de elétrons, que formam as camadas eletrônicas, e núcleos, compostos por prótons e nêutrons que, por sua vez, consistem de quarks (dos tipos **u** e **d**). Quarks são, possivelmente, os constituintes fundamentais da matéria. Há seis espécies, ou *sabores*, de quarks: **u** (*up*), **d** (*down*), **c** (*charmed*), **s** (*strange*), **b** (*bottom*) e **t** (*top*). Cada uma dessas espécies pode apresentar-se em três “edições” chamadas *cores*: 1 (vermelho), 2 (verde) e 3 (azul). Haveria então 18 quarks distintos. Porém, como cada um deles tem a sua antipartícula, o número total de quarks é 36 (uma antipartícula tem a mesma massa e o mesmo spin^2 da partícula em questão, porém carga oposta.) Quarks têm carga elétrica fracionária ($+2/3$ para os sabores **u**, **c** e **t** e $-1/3$ para os sabores **d**, **s** e **b**), mas nunca foram

Este artigo apresenta um sumário das partículas elementares e das interações fundamentais, segundo o Modelo Padrão. Na sequência, são apresentados dois mapas conceituais, um para partículas e outro para interações, que esquematizam conceitualmente esse modelo.

detectados livres; aparentemente, estão sempre confinados em partículas chamadas hádrons (da palavra grega *hadros*, que significa massivo, robusto, forte).

Há duas classes de hádrons, aqueles formados por três quarks, chamados bárions (da palavra grega *barys*, que significa pesado), e os constituídos por um quark e um antiquark, denominados mésons (do grego, *mesos*, significando intermediário, médio). Bárions obedecem ao Princípio da Exclusão de Pauli³, mésons não; bárions têm spin fracionário ($1/2, 3/2, \dots$), mésons têm spin inteiro ($0, 1, 2, \dots$). O nêutron e o próton são os bárions mais familiares, os mésons π e K são exemplos de mésons; contudo, face às múltiplas possibilidades de combinações de três quarks ou de quarks e antiquarks, o número de hádrons é bastante grande, constituindo uma grande família.

Outra família, não tão numerosa, é a dos léptons (do grego *leptos*, que significa delgado, fino, leve). São partículas de spin $1/2$, sem cor, que podem ter carga elétrica ou não (neutrinos). Parecem ser partículas verdadeiramente elementares, *i.e.*, nenhuma delas aparenta ter uma estrutura interna como a dos hádrons. O elétron é o lépton mais familiar, mas além dele existem o múon (μ), o tau (τ) e três neutrinos (neutrino do elétron, neutrino do múon e neutrino do tau). Como a cada lépton corresponde um antilépton, parece haver um total de 12 léptons na natureza.

A família dos léptons (do grego *leptos*, que significa delgado, fino, leve) apresenta partículas de spin $1/2$, sem cor, que podem ter carga elétrica ou não e parecem ser partículas verdadeiramente elementares: nenhuma delas aparenta ter uma estrutura interna

Começamos falando de elétrons, prótons e nêutrons e chegamos a léptons, passando por hádrons, bárions e mésons. Mas essa história ainda vai longe. Para se ter uma idéia da constituição da matéria, não basta saber que existem tais e tais partículas, que umas parecem ser realmente elementares e outras são compostas por “sub-partículas” confinadas. É preciso também levar em conta como elas interagem, como integram sistemas estáveis e como se desintegram, ou seja, é preciso considerar *interações* e *campos de força*, o que nos leva a outra categoria de partículas, as chamadas partículas mediadoras das interações fundamentais da natureza.

Interações fundamentais

Há quatro tipos de interações fundamentais: eletromagnética, gravitacional, forte e fraca. A interação entre um elétron e um núcleo atômico é um exemplo de interação eletromagnética; a atração entre quarks é do tipo interação forte; o decaimento β (por exemplo, um nêutron decaindo para próton pela emissão de um elétron e um neutrino) exemplifica a interação fraca; a interação gravitacional atua entre todas as partículas massivas, e é a que governa o movimento dos corpos celestes, mas é irrelevante em domínios muito pequenos, assim como as demais podem não ser relevantes em alguns domínios.

A interação forte, como sugere o nome, é a mais forte no âmbito das partículas elementares e mantém juntos prótons e nêutrons no núcleo atômico. Afeta somente hádrons. A interação fraca é responsável pelo decaimento relativamente lento de partículas como nêutrons e múons, e também por todas reações envolvendo neutrinos.

Tais interações são descritas através de campos de força. Campo é um conceito fundamental nas teorias sobre partículas elementares. Aliás, é um conceito fundamental em toda a Física. Os *quanta* desses campos são partículas mediadoras das interações correspondentes. Assim, o fóton é o *quantum* do campo eletromagnético e media a interação eletromagnética, os glúons são os *quanta* do campo forte e mediam a interação forte, o gráviton é o *quantum* do campo gravitacional,

mediando a interação gravitacional, e as partículas denominadas W^+ , W^- e Z^0 são os quanta do campo fraco e são mediadoras da interação fraca. Tais partículas são chamadas bósons, um termo genérico para partículas de spin inteiro (férmions é o termo genérico para partículas de spin $1/2, 3/2, 5/2, \dots$; léptons e quarks são férmions). De todas essas partículas, a única que ainda não foi detectada experimentalmente é o gráviton⁴.

Mediar a interação significa que a força existente entre as partículas interagentes resulta de uma “troca” (emissão e absorção) de outras partículas (virtuais) entre elas. Assim, a força eletromagnética resulta da troca de fótons entre as partículas (eletricamente carregadas) interagentes.

Mediar a interação significa que a força existente entre as partículas interagentes resulta de uma “troca” (emissão e absorção) de outras partículas (virtuais) entre elas

Fótons são portadores da força eletromagnética, são partículas de radiação, não de matéria; têm spin 1, não têm massa e são idênticos às suas antipartículas. É a energia de um fóton que determina seu “tipo”: fótons de ondas de rádio, de luz visível, de radiação ultravioleta, de raios-X, de raios γ (embora seja γ o símbolo que representa qualquer fóton).

Analogamente, o campo de forças produzido por quarks e antiquarks, atuando sobre eles, é chamado de campo de glúons, e a força entre eles resulta da troca de glúons. Glúons representam para o campo de glúons o mesmo que os fótons para o campo eletromagnético. Quarks emitem e absorvem glúons e assim exercem a interação forte entre si. Glúons, tal como os fótons, têm spin 1, mas, diferentemente deles, têm cor, *i.e.*, fótons são incolores, ou “brancos”, e glúons não. Assim como a carga elétrica é a fonte do campo fotônico, as cargas cor são a fonte dos campos gluônicos (há oito tipos de glúons)⁵.

Da mesma forma, a interação fraca é mediada por partículas, conhecidas como W (do inglês *weak*, que significa fraca) e Z , *i.e.*, pela troca de tais partículas, assim como a interação gravitacional é, teoricamente, mediada pela troca de grávitons.

A rigor, todas essas interações são mediadas por partículas virtuais. Consideremos, por exemplo, a interação eletromagnética entre um elétron livre e um próton livre: uma das partículas emite um fóton e a outra o absorve; no entanto, esse fóton não é um fóton livre ordinário, pois aplicando as leis de conservação da energia e *momentum* a tal processo poder-se-ia mostrar que haveria uma violação da conservação da energia (a energia do fóton emitido não seria igual ao produto de seu *momentum* pela velocidade da luz, como seria de se esperar para um fóton livre). Mas seria uma violação virtual porque, devido ao Princípio da Incerteza de Heisenberg⁶, a incerteza na energia do fóton implica que tal violação ocorreria em intervalos de tempo muito pequenos. Isso significa que o fóton seria imediatamente absorvido, *i.e.*, não seria livre, mas sim virtual.

No mundo macroscópico a energia sempre se conserva, porém microscopicamente a Mecânica Quântica mostra que pode haver pequenas violações ΔE durante um tempo Δt de modo que $\Delta E \times \Delta t = h = 6,6 \cdot 10^{-22}$ MeV.s. Quando uma partícula livre emite um fóton, o desbalanço de energia é dado pela energia do fóton, de modo que quanto maior for essa energia, tanto mais rapidamente ele deve ser absorvido por outra partícula a fim de restabelecer o balanço energético. Quer dizer, quanto maior a violação da conservação da energia, tanto mais rapidamente deve ser restabelecido o equilíbrio energético. Essa violação virtual da energia é, portanto, importante na interação entre partículas. Fótons “reais”, assim como elétrons, por exemplo, podem ter uma vida infinita desde que não interajam com outras partículas. Fótons “virtuais”, por outro lado, têm uma vida muito curta.

O alcance da interação causada pela troca de partículas virtuais (quanta virtuais) está intimamente relacionado à massa de repouso dos quanta trocados. Quanto maior a massa da

As classificações de partículas e interações feitas até aqui estão diagramadas nos mapas conceituais apresentados nas Figs. 1 e 2.

No mapa conceitual apresentado na Fig. 1, o próprio conceito de partículas elementares aparece no topo como sendo o mais abrangente dessa área de conhecimento. Logo abaixo, aparecem os conceitos de férmions e bósons como duas grandes categorias de partículas elementares. (Essa classificação não se refere apenas às partículas elementares, mas também a quaisquer partículas que obedecem às leis da Mecânica Quântica como, por exemplo, as partículas alfa.) O fato de que os férmions obedecem ao Princípio da Exclusão de Pauli e os bósons não, é a principal diferença entre essas categorias. A partir dessa distinção inicial, pode-se prosseguir com outras categorizações como a de classes de férmions (léptons, quarks e bárions) e classes de bósons (partículas mediadoras de interações e mésons). Léptons e quarks são os férmions fundamentais: a rigor, toda a matéria é constituída de quarks e léptons, pois as demais partículas ou são compostas de quarks ou antiquarks (bárions) e pares quarks-antiquarks (mésons) ou são partículas mediadoras das interações fundamentais (glúons, Z e W, fótons e grávitons).



Tanto os léptons como os quarks têm seis variedades ou *sabores*, como indicado no mapa conceitual. Entretanto, diferentemente dos léptons, cada sabor de quark existe em três variedades distintas em função de uma propriedade chamada *cor*, ou *carga cor*. Contudo, quarks não existem livremente, só podem ser observados em combinações que são neutras em relação à cor; estão sempre confinados em partículas compostas chamadas hádrons. Hádrons podem ser fermiônicos quando formados por quarks ou antiquarks (nesse caso são chamados bárions) ou bosônicos quando constituídos por um quark e um antiquark (então chamados mésons).

Tudo isso está “mapeado” na Fig. 1 que, de certa forma, “termina” com os “conhecidos” elétrons (são léptons), prótons e nêutrons (ambos são bárions; têm estrutura interna) que formam átomos e moléculas que constituem a matéria macroscópica tal como a percebemos.

Um mapa conceitual para interações fundamentais

O mapa conceitual mostrado na Fig. 2 também começa com o conceito mais abrangente: interações fundamentais. Logo abaixo aparecem as quatro interações existentes na natureza: gravitacional, eletromagnética, fraca e forte. As interações eletromagnética e fraca podem ser interpretadas, teoricamente, como instâncias de uma única interação, a eletrofraca. A interação forte que existe entre bárions e mésons pode ser interpretada como fundamental ou residual, quando decorre de um balanço imperfeito das atrações e repulsões entre os quarks e antiquarks que constituem tais partículas.

Essas quatro (ou três) interações são mediadas por partículas (portadoras de força) elementares – grávitons (gravitacional), fótons (eletromagnética), W e Z (fraca) e glúons (forte) – e descritas por campos de força. Os mésons mediam a interação forte residual. Quer dizer, além dos campos gravitacional e eletromagnético, que são relativamente familiares, há também o campo forte e o campo fraco. A energia armazenada nesses campos não está neles distribuída de maneira contínua;

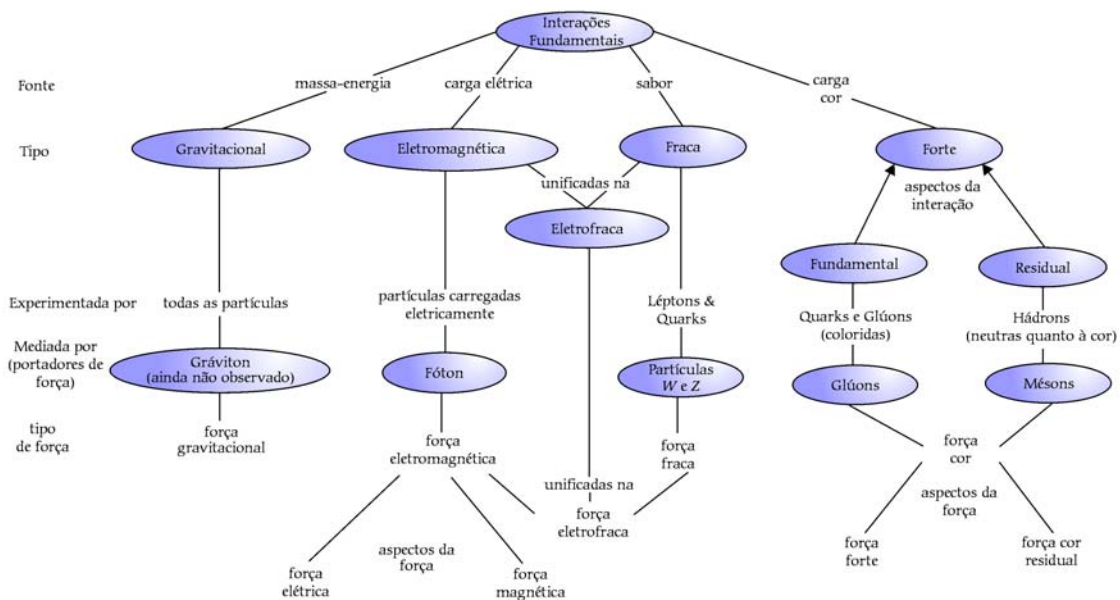


Figura 2. Um mapa conceitual para interações fundamentais ([2], revisado em 2004).

está quantizada, *i.e.*, concentrada nos chamados quanta de energia. Assim, os fótons são os quanta do campo eletromagnético, as partículas *W* e *Z* são os quanta do campo fraco, os glúons do campo forte e os grávitons do campo gravitacional.

A cada campo está associado um tipo de força: força gravitacional, força eletromagnética (elétrica e magnética), força fraca, e força cor (forte ou fundamental, e residual). Contudo, no domínio das partículas elementares, em reações altamente energéticas, partículas são criadas, destruídas e recriadas novamente, com velocidades e trajetórias com determinado grau de incerteza. Assim, o conceito de força não tem um significado muito preciso nesse domínio, e é preferível falar em interações, ou seja, a ação entre partículas. Por essa razão, no mapa da Fig. 2 as interações fundamentais aparecem na parte superior do mapa e as forças na parte inferior. Nesse contexto, interação é um conceito hierarquicamente superior ao de força.

Conclusão

Embora seja uma construção humana espetacular, presente em toda parte e, particularmente, na natureza científica do homem [5], isto é, na sua permanente tentativa de dominar, construindo e testando modelos do universo em que vive, a Física é considerada, na escola, uma matéria difícil, pouco motivadora, aprendida mecanicamente. As causas são muitas, mas a falta de atualização ou, pelo menos, de reformulação do currículo deve ser uma das mais importantes. O currículo de Física nas escolas é desatualizado; ensina-se uma Física que não chega ao século XX que é quase só Mecânica e que invariavelmente começa pela Cinemática. Esta, por seu caráter altamente representacional, é, psicologicamente, talvez o mais inadequado dos conteúdos para se começar a aprender Física. Por que, então, não começar com tópicos contemporâneos? Dificilmente serão mais apropriados do que a Cinemática, a Estática e a Dinâmica.

O presente trabalho pretende contribuir para uma reflexão nesse sentido e, ao mesmo tempo, servir como material de apoio para professores que queiram renovar ou, quem sabe, resgatar a Física no Ensino Médio.

Notas

¹Apesar de consagrado, o termo *partícula elementar*, em especial a palavra *partícula*, não é adequado para nomear as unidades fundamentais da matéria. No domínio subatômico, partícula não é um corpúsculo, um corpo diminuto. Pensar as partículas elementares como corpos muito pequenos, com massas muito pequenas, ocupando espaços muito pequenos, funciona como obstáculo representacional para compreendê-las de maneira significativa (partículas elementares podem, por exemplo, não ter massa; além disso, tais partículas não têm existência situada, *i.e.*, não podem ser localizadas com precisão). Por essa razão, ao longo deste texto as partículas elementares não serão referidas ou representadas por corpúsculos ou “bolinhas” como aparece na maioria dos textos didáticos sobre esse tema.

²Spin é uma propriedade fundamental das partículas elementares que descreve seu estado de rotação; é o *momentum* angular intrínseco das partículas. De acordo com as regras da Mecânica Quântica, o spin das partículas elementares pode ter apenas determinados valores que são sempre um número inteiro (0, 1, 2, 3, ...) ou semi-inteiro (1/2, 3/2, 5/2, ...) multiplicados por $\hbar$ ($h/2\pi$; onde $h \cong 6,6 \cdot 10^{-22}$ MeV.s é a constante de Planck, a constante fundamental da Mecânica Quântica). Isso significa que o spin das partículas elementares é uma propriedade essencialmente quântica,

Por que não começar a ensinar Física a partir de tópicos contemporâneos? Dificilmente serão mais apropriados do que a Cinemática, a Estática e a Dinâmica

ou seja, um número quântico, sem análogo na Física Clássica, pois se tais partículas fossem bolinhas girando em torno de um eixo seu *momentum* angular poderia ter qualquer valor.

³De acordo com esse princípio, duas partículas da mesma espécie e com spins não inteiros não podem ocupar o mesmo estado quântico. Férmions (léptons e quarks) obedecem a esse princípio, bósons (fótons, glúons e partículas *W* e *Z*) não.

⁴Grávitons seriam, teoricamente, partículas de massa nula e spin 2. Fótons são também partículas de massa nula, porém a troca de fótons produz atração entre partículas de cargas opostas e repulsão entre partículas de mesma carga, enquanto a troca de grávitons produz só atração. No entanto, em condições terrestres a atração gravitacional é tão fraca que os *quanta* dessa interação são praticamente indetectáveis. A interação gravitacional torna-se dominante em energias da ordem de $2 \cdot 10^{-5}$ g, que é a chamada massa de Planck (ou energia de Planck), que seriam fantásticamente grandes para serem produzidas em condições de laboratório. Note-se que, devido à equivalência massa-energia, faz sentido medir a energia em unidades de massa e a massa em unidades de energia. A massa de Planck, $2 \cdot 10^{-5}$ g, equivale à energia de Planck, $1,1 \cdot 10^{19}$ GeV (Giga eV = 10^9 eV, onde $1 \text{ eV} \cong 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ é a energia adquirida por um elétron acelerado ao longo de uma diferença de potencial de 1 V).

⁵Cada glúon tem uma cor (vermelho, verde e azul) e uma anticor (antivermelho, antiverde e antiazul), de modo que haveria nove possibilidades de pares cor anticor que corresponderiam a nove glúons. No entanto, de acordo com a teoria da carga cor, a chamada Cromodinâmica Quântica (em analogia à Eletrodinâmica Quântica), no caso das possibilidades vermelho-antivermelho, verde-antiverde e azul-antiazul poderia haver transições de uma para outra que levaria a três combinações (superposições) lineares entre elas, das quais uma seria totalmente sem cor, *i.e.*, branca. Portanto, há oito glúons, não nove como pareceria inicialmente. Assim como a carga elétrica, a carga cor também obedece a uma lei de conservação, porém enquanto existe apenas uma carga elétrica, há oito cargas cores distintas ([3], p. 41-42).

⁶Medir a intensidade de duas grandezas físicas simultaneamente implica duas medições, porém a realização da primeira medida poderá perturbar o sistema e criar uma incerteza na segunda. Nesse caso, não será possível medir as duas simultaneamente com a mesma precisão. Não se pode, por exemplo, medir tanto a posição como a velocidade de uma partícula com toda precisão, nem sua exata energia num exato momento. Macroscopicamente isso não faz diferença, pois a perturbação é tão pequena que pode ser ignorada, porém para partículas subatômicas o efeito é dramático ([4], p. 175).

Bibliografia

- [1] M.A. Moreira e B. Buchweitz, *Mapas Conceituais. Instrumentos Didáticos, de Avaliação e de Análise de Currículo* (Editora Moraes, São Paulo, 1987), 83 p.
- [2] M.A. Moreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **11**, 114 (1989).
- [3] L.B. Okun, *A Primer in Particle Physics* (Harwood Academic Publishers, UK, 1987), 112 p.
- [4] F. Close, *The Cosmic Onion. Quarks and the Nature of the Universe* (American Institute of Physics, USA, 1983), 180 p.

Leia mais

- P. Colas y B. Tuchming, *Mundo Científico* **247**, 46 (2003).
- H. Fritzsch, *Quarks: The Stuff of Matter* (Basic Books Inc., USA, 1983), 295 p.
- P.I.P. Kalmus, *Contemporary Physics*, **41**, 129 (2000).
- G. Kelly, *A Theory of Personality - The Psychology of Personal Constructs* (W.W. Norton & Company, New York, 1963), 189 p.
- M.A. Moreira, *Enseñanza de las Ciencias* **8**, 133 (1990).



Introdução

Nas últimas décadas a pesquisa científica tem se caracterizado pela colaboração, não só de pesquisadores de uma mesma área, mas também de áreas distintas. A interdisciplinaridade, entendida como uma articulação de elementos através de uma axiomática comum a um grupo de disciplinas conexas, permite definir um nível hierárquico imediatamente superior; assim, esse sistema interdisciplinar é composto por dois níveis, das disciplinas, que sustentam de forma coordenada um novo nível superior, que pode se caracterizar como uma nova disciplina ou novos ramos de pesquisa. A maioria dessas novas disciplinas tem dado ênfase a objetos cuja análise tradicionalmente limita-se a áreas específicas do conhecimento, como a Física, Biologia, Química, Sociologia ou Psicologia [25].

A caracterização de universalidades em diversos objetos de estudo, antes disciplinares, permite a coordenação de novas disciplinas, como a sinérgica [29, 30], as redes neurais [34], a psicologia evolucionista e a ciência cognitiva [26]. Essas novas disciplinas, caracterizadas como níveis superiores de um sistema interdisciplinar, tornaram-se campos autônomos que, em alguns casos, se tornam núcleos disciplinares institucionalmente aceitos dentro das universidades ou dos departamentos das disciplinas que as suportam, constituindo um novo e institucionalizado ramo do saber [36, 47]. Novos objetos são criados a partir de novos olhares dados sobre fenômenos conhecidos. Um exemplo bem sucedido é o desenvolvimento da Física do aprendizado em redes neurais, cuja teoria baseia-se na Mecânica Estatística dos vidros de spin [34, 45, 62].

Faz-se necessário acompanhar essas tendências, atualizando a formação de professores de Física, Química e

Cristiano Matto

UNESP, Departamento de Física e
Química, Guaratinguetá, São Paulo

Ana Valéria N. Drumond

Aluna de Iniciação Científica, UNESP,
Departamento de Física e Química,
Guaratinguetá, São Paulo

A necessidade de abordagens que contemplem a transversalidade no tratamento dos conteúdos de Ciências aumenta com a aceitação das orientações sugeridas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN). A interdisciplinaridade passa a ser uma alternativa para a efetivação da transversalidade. Entretanto, para ser concretizada como ação pedagógica em sala de aula, a interdisciplinaridade precisa ser sustentada pelo professor, que deve estar subsidiado por material didático e paradidático adequados. Nesse contexto, o trabalho apresenta um estudo interdisciplinar sobre os conceitos físicos de calor e temperatura dentro de um enfoque que ressalta o conceito de sensação térmica. Como mote da discussão, é utilizada a conhecida experiência das três bacias, experiência ainda encontrada em diversos livros didáticos de Ciências no Brasil, mas explorada muito superficialmente (publicado originalmente no Caderno Brasileiro de Ensino de Física v. 21, n. 1, p. 7-34 (2004)).

Biologia, assim como do ensino de Ciências. Essa tarefa esbarra em muitas dificuldades. Talvez uma das principais seja o número limitado de exemplos de problemas interdisciplinares, suficientemente simples e solúveis, que ilustrem a capacidade de explicação da linguagem que os trata [48, 49].

Novos temas estão surgindo nas reformas curriculares em diversas universidades [52], particularmente nas áreas da Ciência, nas quais conexões interdisciplinares são cada vez mais necessárias. Este é um tema crítico, pois tanto estudantes quanto professores de ciências precisam adquirir

Conectadas a metas sociais mais abrangentes, as reformas locais devem propiciar o estabelecimento de um ambiente estimulante para estudantes e professores

mais e diferentes habilidades para compreenderem e estarem sensíveis às relações imbricadas entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, que são eminentemente interdisciplinares [63].

Para que mudanças nos enfoques curriculares tenham sucesso e persistam, são fundamentais o apoio e a colaboração, não só da universidade, mas também de uma porção significativa da comunidade à qual se pretende imprimir o caráter interdisciplinar da Ciência. Isso exige o estabelecimento de metas comuns entre algumas disciplinas, configurando um ambiente que reforça a transversalidade de temas para o ensino

e a aprendizagem [25].

Essa nova concepção exige igualmente que se forneçam subsídios para a formação de professores de Ciências, incluindo a elaboração de material didático que trate os conteúdos de forma interdisciplinar, permitindo o estabelecimento de conexões entre trabalhos de pesquisa em ensino de Ciências, tendo em vista não apenas alunos de licenciatura como, também, professores em formação continuada.

Conectadas a metas sociais mais abrangentes, as reformas locais devem propiciar o estabelecimento de um ambiente estimulante para estudantes e professores, no qual o conhecimento seja tratado como um instrumento para compreender a sua inserção no mundo, preparando os professores para a manutenção desse ambiente e os alunos para vida e para um ambiente de trabalho cada vez mais complexo, competitivo e exigente [25].

É fundamental que os estudantes compreendam as necessidades da interdisciplinaridade, assim como o conhecimento das ciências envolvidas e de seu vocabulário básico [36]. Isso significa habilitar-lhes a perceber relações entre o mundo natural e o mundo artificial, com base nas suas referências intelectuais e afetivas.

Novos temas estão surgindo nas reformas curriculares, particularmente nas áreas da Ciência, nas quais conexões interdisciplinares são cada vez mais necessárias

Apesar das sucessivas avaliações, realizadas pelo MEC, dos livros didáticos do Ensino Fundamental, por meio do PNLD (1998, 2000), ainda é possível encontrar, em grande parte, a experiência das três bacias [14, 15, 35, 42, 43, 58]. Em sua grande maioria, a experiência tem como único objetivo demonstrar que o tato não deve ser usado como um instrumento de medida de temperatura. Por outro lado, está cada vez mais claro que muitos professores usam os livros

didáticos adotados para seus alunos para sua própria formação [46].

O presente trabalho apresenta subsídios para uma exploração mais abrangente dos conceitos físicos de calor e de temperatura, realizando um recorte interdisciplinar [25] por meio da conhecida experiência das três bacias. Como consequência, esperamos que os professores de Ciências acrescentem, em seu rol de critérios de avaliação de materiais didáticos, a percepção de que vários conteúdos oferecidos nesses materiais estão descontextualizados, impedindo uma compreensão

mais ampla do sentido de sua inclusão como conteúdo de ciências. A ausência de contextualização, muitas vezes, acaba não só por tornar a compreensão impossível, mas também por facilitar o aprendizado de concepções epistemológicas equivocadas sobre a produção da ciência [46]. Além disso, pretendemos subsidiar os professores que desejam incrementar e contextualizar a experiência das três bacias.

Nessa experiência se propõe que um indivíduo mergulhe suas mãos em um recipiente contendo água à temperatura da pele (aproximadamente 32 °C) para avaliar se a água está “quente” ou “fria”. A sensação térmica provocada com esse contato levará o indivíduo a concluir que a água está morna. Logo em seguida, o indivíduo é orientado a colocar a mão direita em outro recipiente com água à temperatura de 29 °C, aproximadamente, e a mão esquerda em um terceiro recipiente com água a cerca de 35 °C. A sensação térmica provocada com esses contatos levará o indivíduo a concluir que a mão direita foi mergulhada em água “fria” e a mão esquerda em água “quente”. Depois de deixar, por algum tempo, as mãos mergulhadas em cada uma dessas bacias, o indivíduo é solicitado a mergulhá-las novamente na primeira bacia, isto é, na que contém água a 32°C. Surpreso, o indivíduo perceberá sensações térmicas diferentes: a mão direita “informa” que a água está “quente”, mas a esquerda “informa” que essa mesma água está “fria”. A experiência encerra-se com a conclusão de que o tato não se presta a medir temperaturas com precisão. A partir desse ponto, o assunto passa a ser, quando muito, termômetros e escalas de temperatura.

Simplemente aceitar a conclusão apresentada sem discutir os fenômenos que ocorrem, os quais têm diversos níveis e naturezas, é ignorar a riqueza de conhecimentos subjacentes à experiência. Usando a noção de complexidade e pandisciplinaridade [25], pretendemos estabelecer alguns níveis de análise e exposição do objeto interdisciplinar. A articulação dos sentidos em uma única linguagem representa um possível recobrimento epistemológico, que pode se constituir em um material de subsídio ao professor na implementação da transversalidade em sala de aula.

Locke e a experiência das três bacias

Em sua teoria do conhecimento, Locke combateu as idéias racionalistas difundidas por Descartes. Em essência, negou a existência de idéias inatas na mente do homem. Para Locke, a mente humana era como uma *tábula rasa*, impressionada pelos sentidos durante as experiências vividas. Segundo ele, o homem não nasce com quaisquer idéias como a de “extensão” ou de “perfeição”, entre outras, conforme pretendia Descartes.

Em seu *Ensaio sobre o entendimento humano*, afirmou que:

Somente são imagináveis as qualidades que afetam aos sentidos [...] E se a humanidade houvesse sido dotada de tão-somente quatro sentidos, então as qualidades que são o objeto do quinto sentido estariam tão afastadas do nosso entendimento, de nossa imaginação e de nossa concepção, como podem estar agora as que poderiam pertencer a um sexto, sétimo ou oitavo sentidos... [77]
(Locke, 1640, II, 2, § 3)

Em sua teoria do conhecimento, Locke combateu as idéias racionalistas difundidas por Descartes. Em essência, negou a existência de idéias inatas na mente do homem

A ausência de contextualização acaba não só por tornar a compreensão impossível, mas também por facilitar o aprendizado de concepções epistemológicas equivocadas sobre a produção da Ciência

Todas as idéias vêm ou da experiência de sensação ou da experiência de reflexão. Sobre as idéias de sensação, Locke afirmou:

Em primeiro lugar, nossos sentidos, que contatam objetos sensíveis particulares, transmitem respectivas e distintas percepções de coisas à mente, segundo os variados modos em que esses objetos os afetam. E é assim como chegamos a possuir essas idéias que temos do amarelo, do branco, do calor, do frio, do macio, do duro, do amargo, do doce e de todas aquelas que chamamos qualidades sensíveis [...] Esta grande fonte da maioria das idéias que temos, depende inteiramente dos nossos sentidos, e delas são originadas o entendimento, a isto chamo SENSACÃO. [78] (Id., 1640, II, 1, § 3)

A sofisticação do modelo epistemológico de Locke incluiu a explicação de um mecanismo de geração das idéias de sensação:

E como a extensão, a forma, o número e o movimento de corpos de grandeza observável podem perceber-se à distância por meio da vista, é evidente que alguns corpos individualmente imperceptíveis devem vir deles aos olhos, e desse modo comunicam ao cérebro algum movimento que produz essas idéias que temos em nós acerca de tais objetos. [79] (Id., 1640, II, 8, § 12)

[...] vamos supor, então, que os diferentes movimentos e formas, volume e número de tais partículas, ao afetar os diversos órgãos de nossos sentidos, produzam em nós essas diferentes sensações que nos provocam as cores e os cheiros dos objetos; que uma violeta, por exemplo, por impulso de tais partículas imperceptíveis de matéria, de formas e volume peculiares e em diferentes graus e modificações de seus movimentos, faça que as idéias da cor azul e do aroma dessa flor se produzam em nossas mentes. [80] (Id., 1640, II, 8, § 13)

Ao definir o mecanismo de aquisição das idéias de sensação, define os tipos de idéias:

Idéias de qualidades primárias

São as que concebemos por influência direta do objeto. Assim consideradas, as qualidades nos corpos são, diz Locke,

[...] aquelas [idéias] inteiramente inseparáveis do corpo, qualquer que seja o estado em que se encontre [...] Por exemplo, tomemos um grão de trigo e dividamo-lo em duas partes; cada parte tem ainda [a idéia de] solidez, extensão, forma e mobilidade, dividido novamente, ainda reterão as mesmas qualidades, e se segue dividindo até que as partes se tornem imperceptíveis, reterão necessariamente, cada uma delas, todas essas qualidades. [81] (Id., 1640, II, 8, § 9)

Idéias de qualidades secundárias

Não correspondem a nada nos próprios objetos, mas sim a capacidades que os objetos têm de produzir indiretamente em nós diversas sensações. É o caso de cores, sons, gostos, cheiros, etc. Para Locke, partículas imperceptíveis atuam sobre nossos sentidos, produzindo idéias das qualidades secundárias. As qualidades secundárias dependem das primárias. Pode-se entender que gostos, sons e demais qualidades sensíveis semelhantes, às quais é atribuída, de modo equivocado, uma realidade, não são nada além dos poderes dos corpos de produzir em nós sensações diversas.

[...] tais qualidades, em verdade, não são nada nos próprios objetos, mas o poder de produzir, em nós, várias sensações pelas qualidades primárias, isto é, pelo seu tamanho, figura, textura e

movimento de suas partes insensíveis, como cor, sons, gostos etc. Estas eu chamo qualidades secundárias. [82] (Id., 1640, II, 8, § 10)

Em suma, pode-se dizer que as idéias das qualidades primárias são semelhanças com algo que está nos corpos, como a forma: a imagem mental de um triângulo possui três lados e três ângulos. Já as qualidades secundárias não estão nos corpos. Nada neles assemelha-se às idéias das qualidades secundárias que existem apenas na mente do homem. Embora nos corpos haja somente qualidades primárias, elas podem, por variação de volume, forma e movimento de suas partes imperceptíveis, produzir sensações secundárias, como a idéia de doce, azul e quente. A idéia que experimentamos de nossa própria reação admite a existência de uma relação causal, sem qualquer relação de semelhança.

Com base nessas noções, Locke propôs-se a explicar o aparente paradoxo da experiência das três bacias. Ao retirar as mãos de bacias com água a diferentes temperaturas e colocá-las em uma terceira bacia com água à temperatura ambiente, diferentes sensações de temperatura são sentidas em cada uma das mãos, apesar de estarem mergulhadas na mesma água. Assim, as propriedades sensoriais de “quente” e “frio” não são propriedades objetivas dos objetos, ou a água da terceira bacia deveria estar quente e fria ao mesmo tempo. Locke resolve esse impasse com a noção das idéias das qualidades secundárias da matéria.

Locke atribui às qualidades dos objetos o fato de produzirem sensações nos indivíduos. Por exemplo, a sensação térmica é consequência do movimento das partículas, embora não haja nada na sensação de calor que se assemelhe a isso. Afirma:

Explicação de como sentimos a água fria em uma mão e aquecida com a outra: Sendo então as idéias distinguidas e compreendidas, poderemos ter condições de dar conta de como a mesma água, ao mesmo tempo, pode produzir a idéia de frio por uma mão e calor pela outra: considerando que isso é impossível, se realmente essas idéias estivessem nela, que a mesma água pudesse estar ao mesmo tempo quente e fria. Se nós imaginamos calor, como o é em nossas mãos, nada mais que um certo tipo e grau de movimento das diminutas partículas de nossos nervos ou espírito animal, poderemos entender como é possível que a mesma água, ao mesmo tempo, produza as sensações de calor em uma mão e frio na outra; sensação, contudo, que uma figura nunca permite, pois nunca produz a idéia de um quadrado em uma mão e a idéia de uma esfera na outra. Entretanto, se a sensação de calor e frio nada mais é do que o aumento ou diminuição do movimento das diminutas partes de nossos corpos, causadas pelos corpúsculos de qualquer outro corpo, é fácil entender que aquele movimento é maior em uma mão que na outra. Se um corpo interage com as duas mãos, o qual tem suas diminutas partículas um movimento maior que as de uma das mãos, e menor do que as da outra, aumentará o movimento das partículas de uma das mãos e diminuirá as da outra; assim causa diferentes sensações, de calor e frio que dependem deles [movimento]. [83] (Id., 1640, II, 8, § 21)

Calor e temperatura

Como na experiência sugerida por Locke, também no dia-a-dia o estado térmico de um corpo é avaliado por meio do tato [21], seja colocando a mão na testa de uma criança para verificar se está febril, seja tocando rapidamente a ponta do dedo na chapa do ferro de passar roupa, ou ainda verificando se a garrafa de água na geladeira já está gelada. Grosso modo, corpos com temperaturas mais altas que a da pele provocam a sensação de “quente”, enquanto que os de temperatura abaixo dela, a sensação de “frio”. A experiência mostra que essa avaliação é subjetiva e imprecisa. Daí a necessidade de termômetros que permitam unificar a escala de medida de temperatura e que a meçam de maneira objetiva.

Os modernos conceitos de calor e temperatura são fruto de uma longa evolução histórica de conceitos com os quais se pretendia representar os fenômenos termodinâmicos. Aristóteles afirmava que todas as substâncias eram constituídas por quatro elementos básicos: terra, água, ar e fogo. O fator determinante da temperatura dos corpos seria a proporção de cada um deles em sua estrutura, ou seja, corpos “quentes” teriam maior proporção do elemento fogo.

Para os atomistas da Grécia antiga todas as substâncias eram formadas por partes muito pequenas e indivisíveis, e o que diferenciava a temperatura dessas substâncias era um elemento invisível, presente em todas as coisas. Assim, explicavam que uma vasilha e seu conteúdo se aqueciam porque a substância invisível do fogo passava para a vasilha e seu conteúdo [60]. Essa concepção grega, estabelecida por séculos, desembocou na idéia do calórico, uma substância sutil que se deslocava entre os corpos. Essa idéia permitia explicar, do ponto de vista da mecânica, a maioria dos fenômenos ligados à física térmica: os corpos quentes possuíam mais calórico do que os frios e, ao se tocarem, a substância calórico fluía entre eles até que atingissem o equilíbrio térmico. A noção de calor como uma forma de energia foi estabelecida definitivamente com a experiência de Joule, que obteve o equivalente mecânico do calor [7].

Na segunda metade do século XIX, com a noção atomista ganhando espaço frente às concepções energeticistas, surge o modelo cinético-molecular do calor e, em seguida, a mecânica estatística, que se constitui em uma nova teoria, à qual Boltzmann introduz a noção de probabilidade como constituinte dos fenômenos e não mais como mero artefato matemático explicativo [38, 47, 72]. Assim, calor e temperatura passam a ser conceitos estatísticos ligados às propriedades coletivas das partículas que constituem os corpos: a temperatura, ligada à energia cinética média das partículas, e o calor, às trocas de energia mecânica entre os constituintes dos corpos [47].

Recorte na complexidade

Do ponto de vista de uma abordagem complexista, a estrutura dos objetos estudados pode ser expressa pelos diversos níveis de interação entre suas partes, que se relacionam hierarquicamente, sob a regência de diversas lógicas, inclusive as recursivas e auto-organizadoras, que na maioria das vezes não permitem uma expressão de sua totalidade. Por isso, é necessário realizar um recorte criterioso e responsável na complexidade do objeto para que se possa eventualmente colocá-lo como objeto de ensino-aprendizado [25].

Na segunda metade do século XIX calor e temperatura passam a ser conceitos estatísticos ligados às propriedades coletivas das partículas que constituem os corpos

Por exemplo, poderíamos partir de um critério ontológico da matéria, distinto do usado na termodinâmica clássica, tomando como um recorte possível a análise da estrutura atômica da matéria [25]; em outras palavras, usando o modelo atômico da matéria. Nesse contexto, leva-se em conta que um sistema macroscópico nada mais é do que um conjunto de átomos, com seus núcleos e eletrosferas interagentes. A mão, desse ponto de vista, pode ser entendida como um corpo macroscópico constituído por uma enormidade de camadas atômicas interagentes. Igualmente, poderíamos tomar como critério um modelo fisiológico do tecido vivo, em que as mãos seriam formadas por diferentes tipos de células, distribuídas em várias camadas de diferentes tecidos em contínua troca energética entre elas.

Da mesma forma, é necessário realizar um recorte na complexidade dos processos de troca energética. Por exemplo, usualmente são considerados três os processos de transmissão de calor entre corpos: condução, convecção e radiação. Essa primeira associação entre esses processos,

muito comum em livros didáticos do Ensino Fundamental e Médio [65], induz estudantes e professores a tomá-los como processos de mesma natureza, apesar de terem natureza epistemológica distinta. Os dois primeiros, condução e convecção, pertencem, enquanto categoria explicativa, à termodinâmica clássica e estatística, mais precisamente ao modelo cinético molecular, enquanto o último processo, radiação, pertence ao campo da física moderna, ou, mais precisamente, ao eletromagnetismo clássico e, posteriormente, ainda com outro *status* epistemológico, à mecânica quântica.

Neste trabalho, o recorte utilizado é o do modelo cinético molecular, que do ponto de vista do ensino de física é vantajoso para realçar a diferenciação entre os conceitos de calor e temperatura [2, 3]. Tomamos a temperatura como sendo uma grandeza escalar diretamente relacionada com a energia interna do corpo e definimos calor, por sua vez, como a energia transferida entre sistemas moleculares. Aqui, pretendemos ressaltar, da definição de calor, o aspecto de que a energia é transferida quando há diferença de *potencial térmico* entre os sistemas, que tendem a entrar em equilíbrio térmico.

Termotransferência

A condução térmica pode ser considerada como a transferência de energia térmica entre dois corpos quando estão em contato. Para que ocorra essa transferência de energia deve haver uma diferença de potencial térmico, ou seja, os corpos devem estar em diferentes temperaturas. Segundo o modelo cinético molecular, os átomos do corpo mais “quente” encontram-se mais “agitados” em relação aos átomos do outro corpo mais “frio”, apresentando maior amplitude de vibração, velocidade de translação e rotação. No caso de sólidos, pelo modelo, seus constituintes apenas vibram em torno de uma posição de equilíbrio. Essa vibração é transferida de átomo para átomo por meio das forças interatômicas, de tal forma que o “contato” entre os átomos da superfície mais “quente” e os átomos da superfície mais “fria” faz com que a vibração seja “transferida” para os átomos do corpo com menor temperatura. Assim, aumentando a vibração dos átomos, aumenta-se também a temperatura, até que se atinja o equilíbrio térmico, ou seja, a distribuição de velocidades das partículas finalmente chega a um estado final.

A convecção, do ponto de vista do modelo cinético molecular, ocorre quando um fluido a uma determinada temperatura entra em contato com outro sistema cuja temperatura é diferente da sua. Supondo o sistema a uma temperatura superior, a parte do fluido que está diretamente em contato com ele tem, por condução, sua temperatura elevada mais rapidamente do que as camadas mais distantes. Dessa forma, a velocidade média das moléculas dessa camada cresce, aumentando também suas amplitudes de vibração. Decorre, daí, a dilatação da camada, tornando-se, em consequência, menos densa que as camadas que se encontram mais afastadas. Assim, ocorre uma troca de posições entre partes do fluido, formando um fluxo de matéria denominado circulação convectiva. Exemplo típico, normalmente usado em livros didáticos, é o da circulação convectiva em uma geladeira. O ar que se encontra na parte superior da geladeira entra em contato com o refrigerador, cuja temperatura é mais baixa do que a sua. Essa porção de ar resfria-se, ou seja, as vibrações moleculares da camada de contato com o refrigerador diminuem,

A convecção, do ponto de vista do modelo cinético molecular, ocorre quando um fluido a uma determinada temperatura entra em contato com outro sistema cuja temperatura é diferente da sua

A condução térmica pode ser considerada como a transferência de energia térmica entre dois corpos quando estão em contato

assim como o volume de cada camada, tornando-se mais densa e, em seguida, trocando de lugar com as camadas inferiores que estão com maior temperatura. Cria-se, assim, uma circulação convectiva do ar, no interior do aparelho, em que a porção do gás menos densa tende a subir para as camadas superiores. Esse fenômeno é complexo e essa forma de expressá-lo é apenas um recorte na sua complexidade.

O terceiro tipo de transferência de calor, a radiação, pode ser entendido como o processo de termotransferência a partir da propagação de energia por meio de ondas eletromagnéticas. Esse modelo de transmissão não pertence à termodinâmica clássica ou à estatística, em particular à teoria cinético molecular, mas sim à teoria eletromagnética. Todos os corpos emitem e recebem radiação eletromagnética continuamente, estabelecendo, assim, uma contínua transferência de energia, que agora pode ser entendida como **troca de energia** com os outros corpos que estão ao redor, independentemente da diferença de temperatura.

Devemos deixar claro que, nos modelos estatísticos, o equilíbrio térmico é, na verdade, um equilíbrio dinâmico, em que os sistemas têm suas variáveis termodinâmicas flutuando em torno de um valor médio.

Construção de um modelo físico

Na experiência das três bacias, colocam-se as mãos em contato com água em temperatura diversa da temperatura corporal normal. De maneira simplificada, podemos dizer que a pele e a água da bacia tendem a entrar em equilíbrio térmico. Quando a mão é mergulhada em água “quente”, isto é, com temperatura superior à da mão, recebe calor da água; fenômeno inverso acontece quando a mão é posta em contato com água “fria”. Normalmente, retiram-se as mãos de dentro das bacias antes que se estabeleça um novo equilíbrio térmico, de modo que o indivíduo permanece com a sensação térmica inicial. Ao mergulhar ambas as mãos na terceira bacia, com água à temperatura ambiente, percebe-se uma grande diferença em relação ao que se experimentou no início da experiência. A mão que estava mergulhada em água quente “informa” que o novo ambiente está “frio”, enquanto que a outra, mergulhada anteriormente em água fria, informa

A radiação pode ser entendida como o processo de termotransferência a partir da propagação de energia por meio de ondas eletromagnéticas

que o mesmo ambiente está “quente”. Essa diferença de percepção ocorre porque as mãos estavam em diferentes temperaturas em relação à água a temperatura ambiente, gerando diferentes fluxos de energia térmica em cada mão.

Durante a submersão das mãos ocorre transferência de energia térmica entre elas e a água, alterando seus estados termodinâmicos. De acordo com o modelo termodinâmico clássico, diz-se que a energia interna do corpo foi alterada com o calor recebido ou cedido. A energia interna é definida,

de modo geral, como a soma das energias cinética e potencial dos átomos que constituem os corpos – o que permite definir um calor “positivo” e um calor “negativo”. Define-se calor “positivo” como a energia recebida por um corpo de outro que se encontra em uma temperatura mais elevada. Por outro lado, o calor “negativo” é definido como a energia térmica que um corpo em uma temperatura mais elevada cede para outro em uma temperatura mais baixa. Deve ficar claro que os nomes “positivo” e “negativo”, assim como “quente” e “frio”, não representam energias diferentes, com qualidades opostas [12], como muitos estudantes [2, 20, 27, 73] e professores [6, 37] costumam pensar, mas diferentes estados termodinâmicos.

O modelo de pele humana que será considerado é o da pele como uma superfície porosa. Com esse modelo, mais realista, podemos considerar, na experiência das três bacias, que a condução é

o processo dominante de troca de calor entre as mãos e a água [84]. A porosidade dificulta a convecção em função da maior irregularidade da superfície, dificultando um escoamento laminar do fluido que cerca a mão, além de ampliar a superfície de contato entre os dois meios, favorecendo a condução térmica [53]. Dessa forma, podemos continuar a usar o modelo cinético molecular para descrever os fenômenos térmicos nesse modo de transmissão.

Quando se coloca a mão na bacia com água a uma temperatura superior à corporal, as moléculas mais agitadas da água cedem energia às moléculas constituintes do tecido epitelial das mãos. Por causa da estratificação do tecido epitelial, ou seja, devido ao fato de o epitélio ser formado por várias camadas (queratina, epitélio superficial, epitélio basal e tecido conjuntivo) [28], considera-se que a transferência da energia da água para as mãos, ou vice-versa, ocorra como a de uma placa composta.

Geralmente, diferentes partes de um corpo encontram-se em diferentes temperaturas. Sendo assim, sua temperatura é função de um conjunto de variáveis, $T = f(x, y, t)$. No caso da mão humana, x representa a espessura da pele, y a quantidade de pêlos na área considerada e t o tempo de contato [53]. Dos diversos modelos adotados para se calcular a temperatura média da pele humana, o mais usado é o definido pela fórmula de Hardy-Dubois modificada:

$$T_p = 0,07(T_{\text{testa}} + T_{\text{pé}}) + 0,05T_{\text{mão}} + 0,14T_{\text{antebraço}} + 0,35(T_{\text{peito}} + T_{\text{costas}}) + 0,19T_{\text{coxa}} + 0,13T_{\text{canela}}$$

O conjunto de valores de temperatura para todos os pontos de um corpo é chamado de campo de temperatura [9]. Quando o campo de temperatura independe do tempo é denominado de estacionário, caso contrário, é chamado de não-estacionário. O campo de temperatura pode ser uni, bi ou tridimensional, dependendo da quantidade de variáveis que determinam as temperaturas das várias partes do corpo. Porém, qualquer que seja o campo de temperatura, o corpo sempre apresentará conjuntos de pontos de mesma temperatura, chamadas de regiões isotérmicas [53]. Por último, o coeficiente de condutibilidade térmica (k) é uma característica própria de cada material e representa a sua capacidade de conduzir ou não calor. De maneira geral, esse coeficiente depende da estrutura, densidade, umidade, pressão e temperatura de cada substância. Quanto maior o valor do coeficiente térmico de um corpo, maior será sua capacidade de conduzir calor.

Usando o modelo da pele humana como uma placa composta, pode-se atribuir a cada uma de suas camadas um coeficiente de condutibilidade térmica k_c . Em um modelo simplificado, podemos assumir que o estado da pele é estacionário, ou seja, a temperatura em qualquer parte da área epitelial é considerada constante, e que a taxa de transferência de calor estabelecida não varia com o decorrer do tempo. Dessa forma chega-se a uma equação que descreve a taxa de transmissão aproximada de calor Q na superfície da pele.

A taxa de transmissão de calor Q , em uma área A , entre uma camada de espessura l que separa duas regiões às temperaturas T_A e T_{IC} ($T_A > T_{IC}$), é representada por:

$$Q = \frac{k \times A \times (T_A - T_{IC})}{\lambda}$$

A pele em contato com a água fria funciona como um reservatório de calor à temperatura T_A . Internamente, a pele sofre influência de outra fonte de calor, o metabolismo do corpo, que sustenta a temperatura interna do corpo T_{IC} .

Inicialmente, no modelo podem-se considerar apenas duas camadas de pele entre os dois reservatórios. Considerando as camadas com espessura λ_1 e λ_2 e coeficientes de condutibilidade térmica k_1 e k_2 , obtém-se a equação:

$$Q = \frac{k_2 \times A \times (T_A - T_p)}{\lambda_2} + \frac{k_1 \times A \times (T_p - T_{IC})}{\lambda_1}$$

na qual T_p é a temperatura da interface entre as duas camadas de pele.

A energia térmica transferida entre as camadas pode ser representada considerando apenas as temperaturas dos reservatórios térmicos, ou seja:

$$Q = \frac{A \times (T_A - T_{IC})}{\frac{\lambda_2}{k_2} + \frac{\lambda_1}{k_1}}$$

A variável $\lambda/k = R$ é o valor da resistência à condução térmica, isto é, a característica de um material que representa a dificuldade que o mesmo apresenta à passagem de calor. A partir desse modelo, conclui-se também que a taxa de calor transferida da água para a pele independe da temperatura da mesma, dependendo apenas da área considerada, da temperatura da água e da temperatura interna do corpo, além de ser inversamente proporcional ao somatório das resistências térmicas das camadas epiteliais [85].

Um modelo mais realista deve contemplar características da fisiologia humana, como a vascularização das camadas epiteliais. Isso dificulta sua construção, pois envolve resistências térmicas que, muito provavelmente, não serão constantes no tempo nem no espaço. Existem modelos que consideram o fluxo térmico entre o corpo humano e o meio ambiente, analisando o balanço térmico de recém-nascidos [23, 71] e o conforto térmico de roupas de trabalho [57].

A psicofísica relacionada com a “adaptação” fisiológica

Aspectos da psicofísica permitem compreender o processo de sensação térmica, bem como qualquer outro tipo de sensação [76]. Para tanto, é necessário conhecer aspectos básicos de fisiologia das sensações. A fisiologia sensorial pode ser dividida em aspectos objetivos e subjetivos. Aspectos objetivos englobam as reações do sistema nervoso, ou seja, focalizam as sensações considerando o processo desencadeado por estímulos nos receptores e suas respectivas respostas no sistema nervoso central. Aspectos subjetivos dizem respeito à análise das percepções de cada indivíduo, que dependem de uma série de fatores como, por exemplo, o estado de ânimo [67]. Assim, sente-se frio ao entrar em um ambiente climatizado por um aparelho de ar condicionado, pois a temperatura de adaptação (ou aclimação) é aquela do ambiente externo, ou seja, a temperatura externa representa o “zero fisiológico” [31]. Entende-se por “zero fisiológico” a temperatura tomada como padrão para efeito de comparação com outras temperaturas com as quais o corpo está em contato [31, 56].

Na experiência das três bacias, a pequena, mas significativa alteração na temperatura da água na qual foi mergulhada a mão direita, é suficiente para estimular os receptores da pele para o frio, desencadeando o processo neurológico da sensação térmica. Depois de permanecer alguns instantes à temperatura de 29 °C, pode-se considerar que essa temperatura passa a ser o “zero fisiológico” para a mão direita. Isso também explica por que a água a 32 °C passou a ser considerada quente quando a mão direita foi nela mergulhada. Explicação idêntica pode ser dada quanto à mão esquerda ao ser colocada na água morna. O pequeno aumento de temperatura provoca o estímulo dos termoreceptores para o calor e, por isso, a água foi percebida como quente.

Nessa experiência, demonstra-se que o que é chamado de “quente” e “frio” depende da temperatura de adaptação da pele [55]. Com o estímulo inicial, os receptores desencadeiam uma resposta neurológica intensa. Porém, passado um certo tempo, o estímulo contínuo a uma mesma temperatura faz com que os receptores emitam descargas contínuas e de mesma frequência. Isso significa que houve uma adaptação à nova temperatura, que passou a ser considerada como a temperatura cutânea das mãos [28]. Esse tipo de adaptação térmica ocorre quando a pele está

exposta a um estímulo “quente” ou “frio” constante e demorado; o grande período de excitação dos termorreceptores causa a sua saturação e as mensagens neurológicas não são mais transmitidas para o sistema nervoso central, pois não há condução de estímulos nervosos [74].

É importante ressaltar que as impressões sensoriais dependem do contexto, ou seja, a resposta a um certo estímulo pode tornar-se mais ou menos intensa, dependendo do ânimo, local, adaptação e cultura do indivíduo, o que torna a complexa questão filosófica da percepção e da cognição ainda mais interessante [19].

Antropologia, evolução e adaptação [86]

Muitas questões interessantes do estudo interdisciplinar das sensações térmicas surgem quando são abordados aspectos humanos, evolutivos e culturais. Não há como falar em adaptação humana às pressões ambientais sem pensar em evolução da espécie. Até meados do século XIX, nos meios científicos, a evolução era considerada apenas como uma hipótese interessante. As teorias evolucionistas tomaram grande impulso com os trabalhos de Lamarck e Darwin [13]. Atualmente, sabe-se que o processo de evolução não está ligado apenas à adaptação genotípica da espécie humana. Fatores culturais, psicológicos e comportamentais não podem mais ser descartados [54]. Como exemplo, podemos citar as tribos das regiões árticas, que vivem em um ambiente cujas condições são marcadamente distintas daquelas de outras regiões habitadas do planeta [8]. É o caso dos Inuí́t, que habitam a região norte do Alasca, sobrevivendo em um ambiente cuja faixa de temperatura situa-se bem abaixo da naturalmente suportada pelo resto da população humana [54]. Apesar dos Inuí́t terem aproximadamente 5.000 anos de existência, o fato de viverem em ambiente extremamente frio pode ser considerado um ajustamento fisiológico, no sentido de que o processo pelo qual cada organismo responde às exigências do ambiente se dá em seu período de vida e não produz, necessariamente, alterações genéticas transmissíveis. Tal processo inclui diversas transformações pelas quais os Inuí́t tiveram que passar durante todo o período de aclimação ao frio. Para suportar tão baixas temperaturas, seus organismos tiveram que desenvolver mecanismos internos de proteção ao frio como, por exemplo, o aumento de fluxo sanguíneo periférico [70].

Além das diferenças fisiológicas relativas aos indivíduos de regiões mais quentes (tropicais e temperadas), esse povo só conseguiu se perpetuar no tempo devido às alterações em suas vestimentas, alimentação e cultura [54]. Para protegerem-se do frio, os Inuí́t desenvolveram uma vestimenta feita de diversas camadas de pele de foca que funcionam como isolantes térmicos, uma vez que as camadas de ar que se formam entre elas dificultam as trocas de calor com o meio externo [11]. Por outro lado, seria inadequado se as vestimentas não possuísem qualquer tipo de abertura, pois seriam desconfortáveis no verão, quando a temperatura externa se eleva [32]. Por isso, suas roupas têm diversos respiradouros, aberturas facilmente fechadas com laços. Os sapatos são confeccionados com o mesmo tipo de pele de foca e não possuem costuras, para impedir a entrada de umidade. Para assegurar que os pés permaneçam secos e protegidos do frio, eles usam meias revestidas internamente com uma camada de grama seca, que absorve a transpiração [54].

Uma outra forma de ajustamento dos Inuí́t é a nutricional. Sua alimentação é rica em proteínas e carboidratos, substâncias essenciais para a síntese de energia. Porém, essa dieta não implica um aumento excessivo da gordura corporal, já que as atividades exercidas e a exposição ao frio exigem um consumo excedente de calorias [54]. Essa “adaptação” está intimamente ligada a outra: a moderada pigmentação da pele, apesar de habitarem uma região de latitude norte muito alta. Essa é uma desvantagem para a produção de vitamina D₃, compensada pela alimentação, a base de peixes e mamíferos com grande quantidade de gordura, rica em D₃. Outros problemas,

como a dieta com baixa taxa de cálcio, começam a ser superados com a proximidade de produtos alimentícios industrializados [68].

Alguns costumes desse povo também contribuem para a aclimação ao frio. Durante as temporadas de frio intenso, eles ficam sempre próximos uns aos outros, diminuindo a área de contato com as baixas temperaturas. Isso favorece a troca de calor entre os corpos, ao mesmo tempo em que diminui a perda de calor para o ambiente [54].

Outro ajustamento fisiológico é o aumento do metabolismo celular, que reduz o risco de hipotermia, a queda excessiva da temperatura corpórea a um valor que impede a manutenção das atividades bioquímicas do organismo. Tal ajuste, além de diminuir o mal-estar causado pelo frio, faz com que a temperatura corpórea normal desses indivíduos seja mais elevada [54].

Os Inuíts são capazes de ativar a termogênese sem contração, ou seja, são capazes de produzir calor corpóreo sem que haja contração muscular (tremor). Essa adaptação permite a economia de calorias, que seriam gastas para promover a contração dos músculos. A termogênese sem contração só é possível devido à presença de tecido adiposo multilocular (tecido adiposo marrom), cuja metabolização é mais lenta do que aquela dos tecidos adiposos de outros grupos humanos [39]. O tecido adiposo marrom é normalmente metabolizado por animais que hibernam [54].

As extremidades do corpo dos Inuíts são mais quentes do que as de um homem típico de climas temperados. Além disso, o restabelecimento da temperatura das extremidades é bem mais rápido. Isso por que a intensa vasoconstrição dos seus membros é seguida, minutos depois, por uma vasodilatação e novamente pela vasoconstrição e assim sucessivamente. Essa alteração cíclica evita que a temperatura dos tecidos se torne crítica.

A sensibilidade ao frio dos Inuíts é menos intensa devido ao estímulo contínuo dos termoreceptores da pele, encarregados da sensação de frio. Quando um termoreceptor específico é exposto, durante muito tempo e com frequência, ao mesmo estímulo, o limiar do potencial de ação das células nervosas satura, impedindo a transmissão da informação neural e, conseqüentemente, da sensação térmica. Resta saber se esses ajustamentos se perpetuam no conjunto da população e se caracterizarão, assim, como uma adaptação evolutiva.

Origem da percepção sensorial no ser humano

As informações do mundo sensível, como sons, visões, cheiros, gostos, temperatura, pressão, dor, posição do nosso corpo e o movimento de partes dele, chegam a nós por meio dos sentidos. A todo o momento, coisas diferentes são percebidas pelos seres humanos, que ainda têm a tarefa de determinar como e quando reagir ou ignorar as informações que recebem. Essa organização e integração das várias percepções permitem que os seres humanos dêem algum sentido ao mundo. O processo de integração sensorial começa antes do nascimento e continua durante toda a vida, apesar do maior desenvolvimento se dar durante a adolescência. São as sensações cutâneas que permitem que uma criança recém-nascida comece a construir a base da diferenciação entre o mundo interno e externo a si própria [22].

Os reflexos, por exemplo, podem ser compreendidos como reações automáticas desencadeadas por estímulos que sensibilizam receptores do sistema nervoso. Não há dúvidas de que, nos primeiros meses de vida, os reflexos predominam na atividade do bebê. Quando submetido a processos dolorosos, o recém-nascido imediatamente move-se com o intuito de se distanciar do objeto causador da dor [16, 40]. Os reflexos passam a ser significativos, do ponto de vista psicológico, quando acontecem integrados a atos mais complexos do comportamento [22].

A pele é considerada, há bastante tempo, como um órgão fundamental para a percepção do mundo [69], mas ainda sabe-se pouco sobre seu desempenho em recém-nascidos. Uma série de observações realizadas em animais mamíferos confirmou que a pele tem um indiscutível significado

funcional para o desenvolvimento fisiológico e psicológico [24]. Por exemplo, comprovou-se que a mãe, ao lambe um filhote, ativa seus sistemas geniturinários, gastrointestinal e respiratório [1, 69], mostrando a importância da pele como um dos órgãos primordiais para o desenvolvimento de um indivíduo.

Quanto à sensibilidade ao calor e ao frio, pesquisas comprovam que ela está presente desde o primeiro mês de vida do recém-nascido, embora o centro termorregulador ainda não esteja suficientemente desenvolvido [59]. O recém-nascido é capaz de sentir frio ou calor, porém não está apto a distinguir essas sensações. Ambas são apenas sensações desconfortáveis, como o sono e a fome. A percepção consciente requer maior amadurecimento neurológico, bem como aprendizagem mais adiantada, uma vez que implica a capacidade de organizar e interpretar impressões sensoriais [66]. À medida que o sistema nervoso se desenvolve, estímulos que desencadeiam reflexos vão provocando respostas menos automáticas. Por meio da experiência adquirida no exercício dos primeiros reflexos, desenvolve-se a atividade motora voluntária, ou seja, aquela que é exercida de maneira consciente, dependendo da vontade da criança [75].

Sensibilidade à temperatura

Apesar de a descoberta da especificidade dos termorreceptores não ser recente, durante vários anos pesquisadores a rejeitaram [10, 33, 74]. Atualmente, já está comprovado que existem termorreceptores específicos para o calor e para o frio, apesar de existirem estruturas intermediárias cuja função ainda não foi bem determinada. Acredita-se que a sensação de frio seja desencadeada pelos bulbos terminais de Krause e a de calor pelos terminais de Ruffini [55], que comunicariam ao sistema nervoso central a sensação por uma série de variáveis de informação [28]. Termorreceptores “frios” são células nervosas que têm o ritmo de atividade aumentado quando a temperatura decresce; termorreceptores “quentes” são células nervosas que têm o ritmo de atividade aumentado quando a temperatura aumenta [55]. A uma temperatura constante, esses termorreceptores mantêm um ritmo contínuo de descargas, ou seja, os dois tipos de termorreceptores sofrem descargas contínuas e uniformes, gerando a sensação de temperatura neutra. A frequência dessas descargas é diretamente proporcional à temperatura da pele [28]. Esse tipo de reação é denominado de sensação térmica estática e é observado em uma faixa de temperatura entre 30 °C a 35 °C, a chamada zona de temperatura indiferente (ou neutra). Acima ou abaixo dessa faixa, desencadeia-se a sensação de calor ou frio, respectivamente.

Por outro lado, existem também sensações térmicas dinâmicas, que podem ser observadas durante as modificações de temperatura da pele [28]. Essas sensações dependem de três parâmetros: temperatura anterior da pele, taxa de variação de temperatura e superfície cutânea sobre a qual incide o estímulo térmico. Quando a temperatura da pele for baixa (por volta de 28 °C), o limiar para as sensações de calor será grande e para as sensações de frio, pequeno. Dessa maneira, uma pequena redução de temperatura provoca a sensação de frio. O contrário acontece quando a temperatura cutânea for alta, pois qualquer aumento de temperatura será suficiente para que o indivíduo sinta calor.

As dimensões da superfície cutânea são importantes para a determinação da sensação térmica, pois os limiares para as sensações de calor e de frio são maiores para áreas pequenas do que para áreas grandes [28]. Também é interessante notar que algumas regiões específicas do corpo, como as pontas dos dedos, são mais sensíveis às mudanças de temperatura. Isso se deve ao fato de que as regiões cerebrais responsáveis pela sensação térmica de diferentes partes do corpo possuem tamanhos diferentes. Por exemplo, as costas representam uma região muito pequena no cérebro, enquanto as pontas dos dedos representam uma região bem maior [17, 18, 55].

A velocidade com a qual ocorrem as mudanças de temperatura não é tão significativa [67], mas não pode ser desprezada. Quanto mais lenta for a variação térmica, maiores serão os limiares para a sensação de calor ou frio, ou seja, se a temperatura cutânea for lentamente diminuída, o tempo para que o indivíduo passe a sentir a sensação de frio será maior.

Quando há excitação excessiva dos termoreceptores, tanto para o frio quanto para o calor, o que se observa não é mais uma sensação térmica, mas uma sensação dolorosa. Fato interessante é a ocorrência de um fenômeno denominado frio paradoxal, que ocorre quando um indivíduo é submetido a temperaturas que normalmente ocasionariam sensação de calor muito intensa (acima de 42 °C). Nessa circunstância, há a sensação repentina de muito frio, causada pela momentânea ativação dos receptores para o frio devido à temperatura muito elevada. É o que ocorre quando se entra em um banho muito quente: a primeira sensação que se tem é a de que a água está fria. Esse é o único caso possível de um termoreceptor do frio ser estimulado por uma fonte de calor [55].

Várias pesquisas relacionam as respostas termorreguladoras à taxa metabólica do indivíduo e ao ambiente. A grande maioria delas refere-se ao indivíduo com a pele exposta. Um dos grandes desafios da ergonomia é conhecer como um indivíduo vestido alcança o conforto térmico. Nesse tipo de pesquisa procuram-se estabelecer quais os fatores que determinam o microclima que se forma entre as roupas e a pele [5]. Diversos fatores influenciam a sensação térmica de um indivíduo vestido, entre eles o clima ambiente, características têxteis e o desenho da vestimenta, além da atividade específica do indivíduo [57].

Considerações finais

Neste trabalho, o fenômeno da sensação térmica é analisado em diversos níveis, abordando alguns aspectos do processo de diferenciação térmica no ser humano. Um dos objetivos do trabalho é o levantamento bibliográfico de assuntos relacionados com a percepção térmica, nas áreas da biofísica, psicofísica, antropologia e física. A intenção é fornecer subsídios para a elaboração e o desenvolvimento de materiais didáticos que possam ser usados junto com a experiência das três bacias ou, simplesmente, explicar o processo de sensação térmica. Já sabemos que os livros didáticos têm sido usados como referências definidoras de programas de curso e metodologia, além de serem oráculos de estudo para muitos professores. É essencial que os professores tenham subsídios, não só para explorar mais e melhor o conteúdo como para poder ter um olhar crítico sobre o material didático que usa, muitas vezes por imposição da sociedade escolar [50].

São apresentados argumentos que mostram a complexidade do emaranhado de recortes epistemológicos possíveis da experiência das três bacias. Por meio de exemplos vindos da fisiologia dos termoreceptores e da psicofísica da percepção, podemos compreender por que, a uma mesma temperatura, é possível ter diferentes sensações (neutra, frio e quente).

Essa experiência permite uma abordagem eminentemente interdisciplinar, que inclui os fenômenos físicos da troca de calor e as adaptações fisiológicas, psicológicas e culturais que podem alterar a percepção da temperatura; é possível compreender, ainda, fenômenos relativos à termodinâmica, à psicofísica e à antropologia. Esse conjunto de informações exige cuidado no seu uso e na aplicação de metáforas e analogias, que, muitas vezes, ao invés de melhorar a compreensão do objeto estudado, passam a substituí-lo. Os recortes e as perguntas epistemológicas que surgem dessa tentativa de recobrimento de espaços conceituais complexos dizem respeito às limitações das teorias científicas e à delimitação do seu objeto [25, 45].

Concluiu-se então que a interdisciplinaridade é um fator essencial para a reformulação de conteúdos didáticos e de instrumentos de ensino para a implementação da transversalidade. Para a efetivação das indicações metodológicas oferecidas nos Parâmetros Curriculares Nacionais é

necessária a disponibilidade de material de cunho interdisciplinar, que permita uma leitura não-fragmentada da ciência, que dê noção da complexidade estrutural das teorias científicas e de suas relações com um “fazer ciência” ligado ao mundo cotidiano dos Homens.

Agradecimentos

Agradecemos aos árbitros que analisaram este trabalho, pelas sugestões que, efetivamente, melhoraram sua qualidade. Agradecemos também a cuidadosa revisão feita pela Prof^a. Dr^a. Cristina Simonetti.

Referências

- [1] D. Acolet, Acta Ped. Scan. **78**, 189 (1989).
- [2] O. Aguiar Jr., Investigações em Ensino de Ciências **4**, 1 (1999). Publicação Eletrônica disponível em: www.if.ufrgs.br/public/ensino.
- [3] O. Aguiar e J. Filocre, Caderno Catarinense de Ensino de Física **19**, 263 (2002).
- [4] I. Albuquerque, *Entropia e a Quantização da Energia: Cálculo Termodinâmico de Planck*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, 1988.
- [5] J.H. Andreen, J.W. Gibson and O.C. Wetmore, Textile Research Journal **23**, 11 (1953).
- [6] M. Arnold and R. Millar, Int J Sci Educ **16**, 405 (1994).
- [7] K. Aurani, *Ensino de Conceitos: Estudo das Origens da 2ª Lei da Termodinâmica e do Conceito de Entropia a Partir do Século XVII*, editado por A.I. Hamburger, *Caderno de Ensino de Conceitos I* (IFUSP, São Paulo, 1988), p. 713
- [8] K. Blazejczyk and B. Krawczyk, Int. J. Biometeor **35**, 103 (1991).
- [9] K. Blazejczyk, H. Nilsson and I. Holmér, Int. J. Biometeor. **37**, 125 (1993).
- [10] J. Bligh, and H. Hensel, Advances in Biometeorology **1** (1973).
- [11] L.M. Bouskill, G. Havenith, K. Kuklane, K.C. Parsons, and W.R. Withey, Am. Indust. Hygiene Assoc. J. **63**, 262 (2002).
- [12] A. Cafagne, *Concepções em Termodinâmica: O Senso Comum e o Conhecimento Científico*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 1996.
- [13] G. Canguilhem, *Ideologia e Racionalidade nas Ciências da Vida* (Edições 70, Lisboa, 1977).
- [14] E.L. Canto, *Ciências Naturais: Aprendendo com o Cotidiano* (Moderna, São Paulo, 1999).
- [15] S. Cezar, *Ciências Entendendo a Natureza* (Saraiva, São Paulo, 1997).
- [16] D.B. Chamberlain, in *Proceedings of International Symposium on Circumcision*, São Francisco, 1991, p. 6–22.
- [17] P.S. Churchland, *Reduction and the Neurobiological Basis of Consciousness*, edited by A.J. Marcel, and E. Bisiach, *Consciousness in Contemporary Science* (Clarendon Press, Oxford, 1988).
- [18] P.S. Churchland and T.J. Sejnowski, *The Computational Brain* (MIT Press, Massachusetts, 1993).
- [19] A. Clark, Am. J. Psycho. **107**, 613 (1994).
- [20] E.E. Clough and R. Driver, Phys. Educ. **20**, 176 (1985).
- [21] B.R. Coles, Annals of Science **52**, 411 (1995).
- [22] A. Damasio, *The Feeling of What Happens: Body, Emotion and the Making of Consciousness* (William Heineman, London, 1999).
- [23] M. Ellis, Arch. Dis. Child. **75**, F42 (1996).
- [24] J.A. Färdig, J. Nurse Midwifery **25**, 19 (1980).
- [25] N. Fiedler-Ferrara e C.R. Mattos, in *Atas do 8º Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física*, Águas de Lindóia, 2002 (SBF, São Paulo, 2002) 1 CD.
- [26] H.A. Gardner, *Nova Ciência da Mente* (São Paulo, Edusp, 1985).
- [27] H. Goldring and J. Osborne, Phys. Educ. **29**, 26 (1994).
- [28] A.C. Guyton, *Tratado de Fisiologia Humana* (McGraw-Hill, Rio de Janeiro, 1999).
- [29] H. Haken, *Synergetics: An Introduction* (Springer-Verlag, Berlin, 1978).
- [30] H. Haken, Rep. Prog. Phys. **52**, 515 (1989).
- [31] J.D. Hardy, and E.F. Dubois, The Journal of Nutrition **15**, 477 (1938).
- [32] G. Havenith, R. Heus and W.A. Lotens, Ergonomics **33**, 989 (1990).
- [33] H. Hensel and K.K. Boman, J. Neurophysiol. **23**, 564 (1960).
- [34] J.A. Hertz, R.G. Palmer and A.S. Krogh, *Introduction to the Theory of Neural Computation, Lecture Notes*, edited by Santa Fe Institute, *Studies in the Sciences of Complexity* (Addison-Wesley Pub. Comp., New York, 1991), v. 1.

- [35] W.J. Jacobson and A.B. Bergman, *Science Activities for Children* (Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1983).
- [36] H. Japiassu, *Interdisciplinaridade e a Patologia do Saber* (Imago Editora, Rio de Janeiro, 1978).
- [37] C. Jin-Yi, *Sci. Educ.* **83**, 511 (1999).
- [38] M.J. Klein, *The Development of Boltzmann's Statistical Ideas*, editado por Acta Phys. Austriaca, Supplementum X (Springer Verlag, Berlin, 1973).
- [39] A. Kuroshima, *Japan J. Physiol.* **43**, 117 (1993).
- [40] P. Leitebaum, *Psicologia Fisiológica* (Zahar Editores, Rio de Janeiro, 1976).
- [41] J. Locke, *Some Further Considerations Concerning our Simple Ideas of Sensation*. Edited in *An Essay Concerning Human Understanding* (1640 IIT Digital Classics, Institute for Learning Technologies, Columbia University, 1995).
- [42] S. Lopes e A. Machado, *A Matéria e a Vida - 7ª série* (Atual Editora, São Paulo, 1996).
- [43] F.M. Louzada, C.R.C. Moreno and J.A. Bortolucci, *Ciências, Natureza, Tempo e Espaço* (Lê, Belo Horizonte, 1999).
- [44] C.R. Mattos, *Aplicações da Mecânica Estatística ao Perceptron Binário e ao Processamento de Imagens*. Tese de Doutorado em Física, Universidade de São Paulo, 1988.
- [45] C.R. Mattos, in *Atas do 7º Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física*, Florianópolis, 2000 (SBE, São Paulo, 2000), 1 CD.
- [46] C.R. Mattos and A. Gaspar, *Enseñanza de las Ciencias v. Extra*, 189 (2002).
- [47] C.R. Mattos, *Entrando na Era do Ensino de Entropia*, editado por A.I. Hamburger, *Cadernos sobre Ensino de Conceitos em Física IV* (Publicações IFUSP, São Paulo, 1991).
- [48] C.R. Mattos, et al. *Guia de Livros Didáticos: Ciências - 1ª a 4ª série*, editado por MEC/SEF, Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) (Ministério da Educação e do Desporto, Brasília, 2000) 1 ed., v. 1, p. 453-635.
- [49] C.R. Mattos, et al. *Guia de Livros Didáticos: Ciências - 1ª a 4ª série*, editado por MEC/SEF (Org.). Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). (Ministério da Educação e do Desporto, Brasília, 1999), 1 ed., v. 1, p. 321-396.
- [50] C.R. Mattos e A. Gaspar, Submetido a Science Education, 2003.
- [51] C.R. Mattos e A.I. Hamburger, *Atas do 6º Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física*, Florianópolis, 1998 (SBE, São Paulo, 1998) 1 CD.
- [52] MEC - Ministério da Educação. *Diretrizes Curriculares para Cursos de Graduação*, 1998. Disponível em: <<http://www.mec.gov.br>>
- [53] I.M. Mijeeva e M.A. Mijeev, *Fundamentos de Termotransferência* (Mir, Moscou, 1979).
- [54] E.F. Moran, *Adaptabilidade Humana* (Edusp, São Paulo, 1994).
- [55] C.G. Mueller, *Psicologia Sensorial* (Zahar, Rio de Janeiro, 1966).
- [56] R.W. Murray, *Advances Com. Physiol. Biochem.* **1**, 117 (1962).
- [57] R. Nielsen, D.C.E. Gavhed and H. Nilsson, *Ergonomics* **32**, 1591 (1989).
- [58] R. Nigro, e M.C.C. Campos, *Ciências - 5ª série* (Ática, São Paulo, 2000).
- [59] A. Okken, *The Concept of Thermoregulation*, edited by A. Okken and J. Koch, *Thermoregulation of Sick and Low Birth Weight Neonates* (Springer-Verlag, Berlin, 1995).
- [60] M. Oliveira, *O Átomo da Conceituação Grega à Realização Quantitativa Européia*. Tese de Mestrado em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, 1993.
- [61] D. O'Neil, *Human Variation and Adaptation Tutorial*. Disponível em <<http://anthro.palomar.edu/adapt/Default.htm>>. Acesso em 11 set. 2003.
- [62] M. Oppen, and W. Kinzel, *Statistical Mechanics of Generalisation*, edited by J.L. Van Hemmen, E. Domany and K. Schulten, *Physics of Neural Network* (Springer-Verlag, Berlin, 1996).
- [63] Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) *Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*, editado por MEC/SEMT, *Parâmetros Curriculares Nacionais* (Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, Brasília, 1999) 1 ed.
- [64] J. Piaget, *Biologia e Conhecimento* (Rés Editora, Porto, 1967).
- [65] E.M. Santos e C.R. Mattos, *Crêterios Epistemológicos: Uma Análise de Livros Didáticos De Física* em preparação, 2003.
- [66] P. Sauer, *Metabolic Background of Neonatal Heat Production, Energy Balance, Metabolic Response to Heat and Cold*, edited by A. Okken and J. Koch, *Thermoregulation of Sick and Low Birth Weight Neonates* (Springer-Verlag, Berlin, 1995).
- [67] R.F. Schmidt, *Fisiologia Sensorial* (EPU/Springer /Edusp, São Paulo, 1980).
- [68] E.A.C. Sellers, A. Sharma, and C. Rodd, *Can. Med. Ass. J.* **29**, 1141 (2003).
- [69] R.A. Spitz, *O Primeiro Ano de Vida* (Martins Fontes, São Paulo, 1968) 5ª ed.
- [70] P. Stein and B. Rowe, *Physical Anthropology* (McGraw-Hill, Boston, 1999) 7ª ed., p. 592.
- [71] J.K. Stothers, *Arch Dis Child* **56**, 530 (1981).
- [72] A.A.P. Videira, *Ciencia Hoje* **16**, dez (1993).

- [73] M. Wiser and S. Carey, *When Heat and Temperature Were One.*, edited by Stevens Gentner, *Mental Models* (Lawrence Publishers, London, 1983).
- [74] D. Wolsk, *Processos Sensoriais* (Edusp, São Paulo, 1971).
- [75] World Health Organization (WHO) *Thermal Protection of the Newborn: A Practical Guide* WHO/RHT/MSM/97.2 (World Health Organization, Nova York, 1995).
- [76] Y. Zotterman, *Am. Physiol. Soc. I*, 431 (1959).
- [77] "Only the qualities that affect the senses are imaginable [...] And had mankind been made but with four senses, the qualities then which are the objects of the fifth sense had been as far from our notice, imagination, and conception, as now any belonging to a sixth, seventh, or eighth sense..."
- [78] "First, our Senses, conversant about particular sensible objects, do convey into the mind several distinct perceptions of things, according to those various ways wherein those objects do affect them. And thus we come by those ideas we have of yellow, white, heat, cold, soft, hard, bitter, sweet, and all those which we call sensible qualities [...] This great source of most of the ideas we have, depending wholly upon our senses, and derived by them to the understanding, I call SENSATION."
- [79] "And since the extension, figure, number, and motion of bodies of an observable bigness, may be perceived at a distance by the sight, it is evident some singly imperceptible bodies must come from them to the eyes, and thereby convey to the brain some motion; which produces these ideas which we have of them in us."
- [80] "... let us suppose at present that the different motions and figures, bulk and number, of such particles, affecting the several organs of our senses, produce in us those different sensations which we have from the colours and smells of bodies; v.g. that a violet, by the impulse of such insensible particles of matter, of peculiar figures and bulks, and in different degrees and modifications of their motions, causes the ideas of the blue colour, and sweet scent of that flower to be produced in our minds."
- [81] "... such as are utterly inseparable from the body, in what state soever it be [...] v.g. Take a grain of wheat, divide it into two parts; each part has still solidity, extension, figure, and mobility (...) divide it again, and it retains still the same qualities; and so divide it on, till the parts become insensible; they must retain still each of them all those qualities."
- [82] "... such qualities which in truth are nothing in the objects themselves but power to produce various sensations in us by their primary qualities, i.e. by the bulk, figure, texture, and motion of their insensible parts, as colours, sounds, tastes, &c. These I call secondary qualities."
- [83] "Explains how water felt as cold by one hand may be warm to the other. Ideas being thus distinguished and understood, we may be able to give an account how the same water, at the same time, may produce the idea of cold by one hand and of heat by the other: whereas it is impossible that the same water, if those ideas were really in it, should at the same time be both hot and cold. For, if we imagine warmth, as it is in our hands, to be nothing but a certain sort and degree of motion in the minute particles of our nerves or animal spirits, we may understand how it is possible that the same water may, at the same time, produce the sensations of heat in one hand and cold in the other; which yet figure never does, that never producing- the idea of a square by one hand which has produced the idea of a globe by another. But if the sensation of heat and cold be nothing but the increase or diminution of the motion of the minute parts of our bodies, caused by the corpuscles of any other body, it is easy to be understood, that if that motion be greater in one hand than in the other; if a body be applied to the two hands, which has in its minute particles a greater motion than in those of one of the hands, and a less than in those of the other, it will increase the motion of the one hand and lessen it in the other; and so cause the different sensations of heat and cold ...that depend thereon."
- [84] Dadas as dificuldades matemáticas e epistemológicas de se estudarem esses mecanismos de termotransferência simultaneamente, costuma-se considerar apenas um deles como o principal e os demais, secundários. Os processos tomados como secundários contribuem apenas para o estudo quantitativo do fenômeno principal [53].
- $$Q = \frac{A \times (T_A - T_{IC})}{\sum_{i=1}^N R_i}$$
- [85] Esse modelo é de fácil generalização para um número N qualquer de camadas: no qual o somatório representa a soma das resistências térmicas das N placas envolvidas.
- [86] Usaremos daqui por diante as seguintes definições: **adaptação**: processo pelo qual populações de organismos respondem a uma pressão ambiental de longa duração por meio de uma mudança genética permanente. Populações se adaptam por evolução; **ajustamento**: processo pelo qual cada organismo individual responde às pressões ambientais durante seu tempo de vida sem alterações genéticas. Ajustamentos são em geral não transmissíveis geneticamente; **aclimação**: um tipo de ajustamento no qual as mudanças no corpo de um indivíduo respondem às pressões ambientais, como altas e baixas temperaturas, intensa radiação ultravioleta solar ou altitudes extremas, de forma que as mudanças anatômicas e fisiológicas são feitas por aclimação e são usualmente reversíveis [61].



.....
M.A.F.Gomes e E.J.R. Parteli
Universidade Federal de Pernambuco,
Departamento de Física, Recife, PE
.....

Introdução

A maioria dos esportes como o basquete, o boxe, as corridas, o futebol, a natação, o tênis e o vôlei requer de seus praticantes atividades físicas como correr, pular, deslocar-se na água, golpear e arremessar com as mãos e os pés. O primeiro objetivo do presente trabalho é o de ilustrar didaticamente os aspectos físicos fundamentais desses diversos tipos de atividades esportivas. Faremos uso quase exclusivamente de conceitos mecânicos simples, como o de trabalho, que faz parte do conhecimento dos alunos do curso secundário, e o de análise dimensional ou argumentos de escala, cuja origem remonta aos trabalhos de Galileu [1] e, conseqüentemente, se confunde com o início da própria ciência física. Nosso segundo objetivo é o de motivar os estudantes de Física, sejam estes do segundo grau ou universitários. Apesar de sua simplicidade, de seu interesse intrínseco e da motivação que poderá ser dada aos estudantes, os exemplos aqui discutidos não fazem parte, em geral, dos assuntos tratados nos livros textos, tanto os do curso secundário, quanto os de Física básica para estudantes universitários. Uma exceção nesse aspecto é o livro *General Physics with Bioscience Essays*, de J.B. Marion [2], que contém vários dos exemplos discutidos aqui, embora numa forma diferente e por vezes mais simplificada. Uma fonte permanente de inspiração para os estudiosos das relações entre a Biologia e a Física é o clássico *On Growth and Form*, de D'Arcy W. Thompson [3], referência quase obrigatória para nossos leitores interessados, e bibliografia de grande importância para o presente trabalho.

Apesar de quase todos os resultados discutidos aqui serem resultados já conhecidos e muito básicos de Física aplicada a seres vivos, os mesmos são ainda muito pouco

Neste artigo, apresentamos um exame de diversas atividades esportivas do ponto de vista da Física, utilizando para isso conceitos básicos como os de força, trabalho, potência, leis de escala, entre outros. Atividades físicas importantes como andar, correr, nadar e pular são estudadas e, em particular, o desempenho dessas com o tamanho do atleta é examinado. Além da conceituação física, argumentos evolutivos e comparações diversas entre a fisiologia humana e a animal, entre outros, são também apresentados e discutidos (publicado originalmente na Revista Brasileira de Ensino de Física v. 23, n. 1, p. 10-18 (2001)).

conhecidos da comunidade dos físicos e dos professores de Física, em geral. O terceiro objetivo deste artigo é, então, o de tentar preencher essa lacuna no conhecimento. Vale salientar todavia que, em certos aspectos muito básicos, ainda não conhecemos teorias exatas como, por exemplo, no problema da relação potência vs. massa nos animais, que só bem recentemente (1973) teve uma primeira explicação teórica satisfatória, como discutido em “Lei de escala para a potência dissipada nos mamíferos”. Nesse aspecto, em particular, podemos dizer que temos um modelo muito bom, embora não exato. Finalmente, o presente trabalho reporta nas seções “A corrida” e “A atividade de nadar” algumas leis de escala não-triviais, aparentemente não citadas na literatura, envolvendo tempo e distância em recordes olímpicos.

Os resultados principais discutidos neste artigo podem igualmente ser aplicados a todos os animais de sangue quente desempenhando atividades físicas análogas às examinadas aqui. Daí o interesse em, sempre que possível, fazer comparações numéricas envolvendo outros tipos de animais. No entanto, a motivação inicial dos autores foi a de focalizar a importância da argumentação física nos esportes e, em particular, a de responder a perguntas do tipo: “Por que os nadadores olímpicos são de altura cada vez mais elevada?”; “Por que o mesmo não pode ser dito dos corredores olímpicos ou dos jogadores de futebol?” Tais perguntas certamente já ocorreram a vários leitores deste artigo, quando esses assistiam a Jogos Olímpicos ou a competições diversas.

Lei de escala para a potência dissipada nos mamíferos

Freqüentemente se usa que a potência dissipada P ou, equivalentemente, a taxa de perda de calor, dQ/dt , de um mamífero de tamanho característico l é proporcional à sua área total $A \sim L^2$ e, conseqüentemente, teríamos que P escala com a massa $M \sim L^3$ do animal como

$$P = dQ/dt \sim A \sim L^2 \sim M^{2/3}. \quad (1)$$

No entanto, a Eq. 1 não representa exatamente a dependência da potência com a massa do animal. A partir de 1930, os fisiologistas, em particular M.Kleiber [5], fizeram medidas mais detalhadas do dispêndio energético em animais, P , em função de suas respectivas massas corporais, M . O resultado experimental, hoje conhecido como lei de Kleiber, mostra que P (Watts) = $3,6 M \{\text{kg}\}^{0,73}$, ao longo de quase seis décadas de variação de massa [2, 5, 6]. Assim, um homem de 70 kg consome, em média, 80 Watts de potência. Essa lei tem sido confirmada por muitas medidas, e é amplamente discutida na literatura zoológica [7]. A lei de Kleiber é muitas vezes aproximada como [2, 6]

$$P \sim M^{3/4}. \quad (2)$$

A massa m do cérebro adulto dos mamíferos também escala com a massa total M do corpo, como $m \sim M^{3/4}$; ou seja, m escala linearmente com a potência dissipada [8]. A expressão 2 é ligeiramente diferente de (1), já que o expoente da lei de potência (2) é 12,5% maior. Uma explicação da origem da lei de escala (2) foi dada em 1973 por McMahon [9], e essa pode ser sumarizada do seguinte modo: assumimos que a massa de um animal pode ser aproximada como a soma das massas de partes cilíndricas do mesmo, como o tronco, os membros e a cabeça. Cada uma dessas partes i possui um comprimento l_i e um diâmetro d_i , de tal forma que

$$M = \sum [\pi \times (d_i/2)^2 \times l_i \times \rho] = \text{constante} \times \pi \times (d/2)^2 \times l \times \rho \quad (3)$$

onde ρ é a densidade, e l e d são os comprimentos longitudinal e transversal característicos do animal. McMahon assume, baseado em dados empíricos, que $l \sim d^{2/3}$ [9], chegando ao resultado

$$M \sim l \times d^2 \sim d^{8/3}. \quad (4)$$

Por outro lado, de acordo com a lei de Hill da potência muscular, P_{mus} , essa última quantidade física escala apenas com a força muscular $F_{mus} \sim d^2$, já que a velocidade de contração muscular é constante para todos os músculos, e independe da espécie e tamanho [6]:

$$P_{mus} \sim F_{mus} \sim d^2. \quad (5)$$

A força muscular, como é sabido, escala com d^2 , i.e. com a área transversal do membro, já que ela é proporcional ao número de fibras musculares [6]. Como a potência muscular é mantida pela potência dissipada, i.e. $P_{mus} \sim P$, usando (4) e (5), obtemos

$$P \sim d^2 \sim M^{3/4}, \quad (6)$$

essencialmente (mas não exatamente) o resultado encontrado experimentalmente por Kleiber.

Em 1997, West, Brown e Enquist [10] apresentaram uma elegante argumentação para explicar a razão de o expoente em (6) ser $3/4$, e não $2/3$, como exposto em (1). O modelo WBE, por eles proposto, baseia-se no raciocínio de que, para todas as partes do animal serem continuamente abastecidas com a devida quantidade de nutrientes necessários à sobrevivência, deverá existir minimização da energia dissipada numa rede interna de transporte, com uma estrutura de vasos ramificados, de natureza fractal, onde os menores tubos não dependem do tamanho do animal. O modelo WBE é válido não só para o sistema cardiovascular dos mamíferos, mas também para o dos outros vertebrados, para sistemas respiratórios, sistemas vasculares de plantas, tubos traqueais de insetos e outras redes de distribuição.

A dissipação de energia nos seres humanos

O corpo humano funciona, em geral, como uma fonte de calor à temperatura fisiológica de aproximadamente $T_f = 309$ K. Supondo que ele esteja mergulhado no meio ambiente à temperatura T , haverá um fluxo de calor, do corpo para o meio ambiente se $T < T_f$, e na direção contrária se $T > T_f$; sendo que a primeira situação quase sempre prevalece. A taxa com que o calor ou a energia flui do corpo para o ambiente (ou vice-versa), dE/dt , é dada pela lei de Stefan-Boltzmann [11]:

$$dE/dt = b \times \epsilon \times A \times (T_f^4 - T^4), \quad (7)$$

onde $b = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ é a constante de Stefan-Boltzmann, ϵ é a emissividade, e A é a área que emite radiação. Para um adulto humano, $\epsilon = 1$, $A \cong 1,6 \text{ m}^2$, de tal sorte que (7) nos dá, para $T = 300$ K, o seguinte resultado:

$$dE/dt = (5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}) \times (1) \times (1,6 \text{ m}^2) \times [(309 \text{ K})^4 - (300 \text{ K})^4] \cong 90 \text{ W}. \quad (8)$$

A resposta encontrada em (8) é, na verdade, um limitante superior para a perda de calor, uma vez que as roupas diminuem a área efetiva de radiação, bem como dificultam a troca de calor com o meio ambiente. Ao multiplicarmos o resultado dado em (8) pelo número de segundos existentes em um dia, acharemos uma energia de cerca de 1800 Cal (1 Cal = 1000 calorias), um valor bem próximo da quantidade de energia necessária para assegurar a sobrevivência de um adulto. Note que a energia calculada em (8) é aquela para repor apenas a perda de energia por radiação. Essa quantidade de energia se constitui na maior fração do nosso consumo energético diário. Em outras palavras, temos um baixo rendimento termodinâmico.

Em geral, quase toda a energia de que necessitamos é convertida em calor. Para se ter uma idéia mais clara de nossas exigências diárias de energia e potência, um jogador de futebol consome cerca de 750 Cal numa partida (ou seja, o jogador deve dispor, em média, de uma potência próxima a 0,75 HP), o que corresponde a aproximadamente 40% da energia requerida para assegurar o funcionamento do corpo humano ao nível basal (1800 Cal/dia). Os seres humanos podem dispor de potências mais elevadas do que essa, desde que em tempos bem mais reduzidos. Assim, um

adulto poderá dispor de uma potência máxima de 1,09 HP durante 1 minuto, e de uma potência de 1,87 HP durante 10 segundos.

Uma das constantes fisiológicas mais importantes é a potência específica máxima disponível a um ser humano; ela vale $\sigma = 9,93 \text{ cal/kg.s} = 0,0557 \text{ HP/kg}$, ou seja, 3,9 HP para um indivíduo de 70 kg [12]. Tal nível de potência, contudo, só pode ser mantido por um tempo da ordem de 1 segundo. Essa potência-limite é empregada usualmente na largada das corridas de 100 e 200 metros rasos, e no momento do arranque, nas provas de levantamento de peso (nas quais o levantador tem um tempo da ordem de 1 s para levantar uma massa tipicamente de 140 kg a uma altura acima da sua cabeça, com os braços esticados!). Desnecessário dizer que dispendir energia a essa taxa é uma atividade de altíssimo risco para a maior parte das pessoas, podendo facilmente levar à morte.

É oportuno dizer aqui, para finalizar esta seção, que a perda de 0,001 kg de gordura do corpo através de oxidação requer 10 Cal de trabalho muscular [2]. Portanto, se uma pessoa deseja perder m (kg) de gordura através de malhação a uma potência média de 700 W (0,93 HP), ela deverá investir cerca de t (horas) $= 17 \times m, (\text{kg})$ nos exercícios; ou seja, cerca de 17 horas de malhação para cada kg de gordura a diminuir. Conclui-se dessa estimativa que a melhor forma de se livrar da gordura no corpo é controlar a ingestão de alimentos.

A atividade de andar

Há mais de 150 anos, foi notado que a importante atividade de andar consegue uma grande economia de energia se as pernas oscilam sob a ação da gravidade, como se essas fossem pêndulos simples de comprimento l [3]. Rigorosamente, as pernas têm diversas articulações, e a idéia de considerá-las como pêndulos simples é uma aproximação típica das que usamos na Física quando estamos de face com um problema complexo. Bem, nessa aproximação podemos dizer que a velocidade no andar, v_a , é dada por

$$v_a = y/(T/2), \quad (9)$$

onde y é o comprimento do passo, e T é o período das pernas; $y = 2l \sin(\theta/2)$; $T = 2 \times \pi \times (l/g)^{1/2}$ e θ é o ângulo de abertura das pernas, considerado fixo, aproximadamente independente da altura l da pessoa [7]. Dessas definições, concluímos que

$$v_a = \frac{2}{\pi} [\sin(\theta/2)] (g \times l)^{1/2}. \quad (10)$$

A Eq. 10 implica que v_a escala com a raiz quadrada da altura l da pessoa (uma vez que l é proporcional a l): $v_a \sim L^{1/2}$. Ou seja, quanto maior a altura da pessoa, maior a velocidade no andar. Como veremos na próxima seção, essa lei de escala entre v_a e l não se mantém na corrida. Vejamos agora se a Eq. 10 prevê corretamente a velocidade média no andar para um adulto. Para tanto, usando $\theta = 40^\circ$ (0,7 rad), $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ e $l = 0,9 \text{ m}$ em (10), obtemos $v_a = 0,65 \text{ m/s}$ (2,3 km/h) - um valor, de fato, da mesma ordem da marca freqüentemente adotada de 4 km/h. Para finalizar esta seção, vamos estimar a potência necessária para fazer um adulto andar. Como sabemos da Física básica, potência = força $\times$ velocidade. No caso de andar, a força é aquela provida pelos músculos para colocar as pernas em movimento. Usando o fato de que as pernas de um adulto correspondem a cerca de 35% de seu peso total ($P = 686 \text{ N}$, para um adulto de 70 kg e adotando uma velocidade no andar de 4 km/h ou 1,1 m/s, temos que a potência exigida para andar deve ser próxima a $0,35 \times 686 \text{ N} \times 1,1 \text{ m/s} = 264 \text{ W}$. Esse valor é muito próximo da medida, freqüentemente tabelada, de 290 W [2].

A corrida

Diferentemente do andar, para o qual os pés estão fora de contato com o chão cerca de 40% do tempo, na corrida, cada pé está fora de contato com o chão por um tempo bem maior. Assim, cada pé toca o chão por uma fração de 30% do tempo numa corrida a 5 m/s, e por uma fração de apenas 20% do tempo quando a velocidade aumenta para 9 m/s. Paralelamente, na corrida, o comprimento do passo é muito maior, alcançando em média 2,4 m para corredores no regime de velocidade máxima (da ordem de 10 m/s) [13]. A seguir, mostraremos como a velocidade máxima escala com o tamanho dentro de uma mesma espécie; depois, discutiremos como a velocidade varia entre espécies. Comentaremos também sobre os recordes olímpicos e apresentaremos uma lei de escala não-trivial que aparece nesse caso. Por fim, examinaremos aspectos básicos ligados à aceleração nas corridas.

Como a velocidade máxima depende do tamanho dentro de uma mesma espécie

Na seção anterior, mostramos que a velocidade no andar escala com a raiz quadrada da altura l da pessoa. Consideremos agora um animal (mamífero) de massa m que sai do repouso e atinge a sua velocidade máxima, V , após um certo tempo. A potência média necessária na corrida, $\langle P \rangle$, pode ser escrita como $\langle P \rangle = \langle v \rangle \cdot \langle F \rangle \sim M^{3/4}$. Como a velocidade média $\langle v \rangle = V/2$ e a força muscular média $\langle F \rangle \sim d^2$ (lembre-se de que o comprimento d foi definido em “Lei de escala para a potência dissipada nos mamíferos”), podemos concluir, usando as leis de escala, que:

$$V \sim \langle v \rangle = \langle P \rangle / \langle F \rangle \sim [M^{3/4}] / d^2 \sim d^2 / d^2 \sim d^0 \sim L^0. \quad (11)$$

Ou seja, a velocidade máxima na corrida independe da altura ou do tamanho do animal. A Eq. 11 é uma relação universal, válida para todas as espécies de mamíferos. Naturalmente, para cada espécie em particular, deverá estar associado um parâmetro específico (a amplitude da lei de escala, na qual não estamos aqui particularmente interessados) característico da classe [14,15]. Dessa forma, (11) é válida para todos os animais, dentro de uma mesma espécie. Uma das melhores confirmações disso está no fato de que em todas as espécies é possível observar uma certa variabilidade no tamanho l dos adultos [3, 7]. Fossem os indivíduos maiores, por exemplo, os mais rápidos (i.e. se $V \sim L^\alpha$, $\alpha > 0$), a evolução já teria filtrado suficientemente, pois haveria um desequilíbrio muito forte entre presa e predador, e todas as distribuições de tamanho, para cada espécie, seriam muito mais comprimidas do que as observadas, privilegiando apenas os animais de maior porte. O leitor poderá lembrar, também, que muitos dos melhores corredores olímpicos são de baixa estatura.

O mesmo resultado mostrado em (11) pode ser obtido com um raciocínio mais simples, baseado em análise dimensional e usando a hipótese de um único comprimento de escala l . Como a corrida exige do corredor uma série de movimentos coordenados e periódicos, seja W o trabalho feito em cada um desses ciclos; $W \sim F_{mus} \times \text{distância} \sim L^2 \times L = L^3$ (a distância aqui é aquela na qual a força muscular atua, evidentemente). Supondo que $V = V(M, W) \sim M^\gamma \times W^\delta$, análise dimensional exige que $\gamma = -1/2$ e $\delta = 1/2$. Como $M \sim L^3$, da mesma forma que W , conclui-se, como em (11), que $V \sim L^0$.

A velocidade máxima entre as espécies

A título de ilustração, mostramos na Tabela 1 as velocidades máximas de diversos mamíferos. Podemos observar nessa tabela a forte correlação existente entre as velocidades máximas de presas e predadores tradicionais (coelho/raposa, gazela/chitá, raposa/lobo) imposta pela evolução: presas e predadores tradicionais têm velocidades máximas muito próximas. Daí o velho ditado: “Um dia

Tabela 1. Velocidades máximas de alguns mamíferos em m/s e km/h. Veja “A velocidade máxima entre as espécies” para maiores detalhes.

Animal	Velocidade	
	m/s	km/h
Avestruz	23,0	83
Cachorro	16,6	60
Cavalo	19,0	68
Chitá	30,5	110
Coelho	18,0	65
Elefante	11,1	40
Gazela	28,0	101
Girafa	13,8	50
Homem	11,5	41
Leão	22,2	80
Lobo	18,0	65
Raposa	20,0	72
Zebra	18,0	65

é da caça e o outro do caçador.” O exemplo da avestruz é particularmente interessante, pois mostra que o fato de o homem correr menos não está ligado à sua natureza bípede. Ao longo da evolução, as avestruzes, bem como todos os grandes corredores como os chitás e as gazelas, transferiram para os respectivos troncos muito da massa muscular necessária para a corrida, deixando suas pernas proporcionalmente muito mais leves do que as pernas humanas. Animais com pernas pesadas, como o homem, têm que pagar um alto custo energético para simplesmente colocá-las e mantê-las em movimento acelerado. Atentos a esses detalhes, os preparadores físicos dos corredores olímpicos de 100 e 200 metros, as mais rápidas provas de corrida, têm realizado um verdadeiro trabalho de reengenharia muscular nas últimas décadas, com o resultado de fortalecer muito a massa muscular do tronco e os ligamentos perna-tronco desses atletas. Muitos especialistas acreditam que a barreira para o homem alcançar maiores velocidades nas provas olímpicas é mais psicológica do que fisiológica [16]; segundo eles, os melhores atletas, que teoricamente poderão um dia correr tanto quanto as avestruzes, não continuam se esforçando para diminuir os seus tempos, após baterem novos recordes.

Observações sobre as corridas olímpicas

A velocidade média $\langle v \rangle$ nas corridas depende naturalmente da distância a ser percorrida. Corridas mais longas têm $\langle v \rangle$ menores, pois os corredores conseguem manter uma velocidade

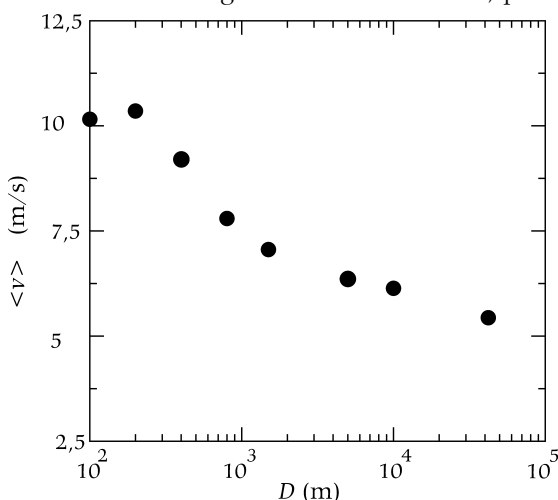


Figura 1. A velocidade média dos atuais recordes olímpicos $\langle v \rangle$, em função das respectivas distâncias D , para todas as provas de corrida. Observe que o eixo horizontal está em escala logarítmica. Veja “Observações sobre as corridas olímpicas” para maiores detalhes.

máxima por tempo muito limitado. A Figura 1 mostra os recordes olímpicos masculinos de velocidade média em função da extensão total dessas corridas (100 m, 200 m, 400 m, 800 m, 1500 m, 5000 m, 10000 m e a maratona [42.195 m]) até as Olimpíadas de Atlanta (1996). Os recordes olímpicos femininos para as mesmas provas possuem velocidades médias menores em valores entre 7,32% e 12,6%. O leitor interessado encontrará todos os registros de recordes olímpicos das provas de atletismo no sítio www.hkikk.fi/~niininen/olympic.html.

O matemático J.Keller mostrou em 1973 [12] que a estratégia para se conseguir o menor tempo na corrida de 200 m, quase tão rápida quanto a de 100 m, consiste em se alcançar a velocidade máxima, de cerca de 11 m/s, em aproximadamente 3,5 s, e daí para a frente manter essa velocidade máxima; ele também mostrou que a estratégia otimizada para ganhar a corrida de 400 m,

consiste em o corredor atingir a velocidade máxima, de cerca de 9,5 m/s, em pouco menos de 2,5 s, e de manter essa velocidade até 0,86 s antes da linha de chegada. Nos últimos 0,86 s dessa corrida, a energia de que o atleta dispõe é essencialmente zero, e sua velocidade cai do valor máximo para perto de 6,7 m/s ao terminar a prova. De fato, podemos observar nessa prova magnífica que o estado final do corredor é completamente diferente do estado final nas provas de 100 e 200 m: enquanto na primeira o corredor chega quase desabando devido ao estado de fadiga energética, nas duas últimas notamos que o corredor ainda tem uma reserva de energia e que ele poderia correr um pouco mais no mesmo ritmo. As corridas de 100 e 200 metros são as mais rápidas, pois o atleta pode dispor mais adequadamente da reserva de oxigênio que ele armazenou nos tecidos, além da respiração durante a prova. Por outro lado, antes de concluir a prova dos 400 m, já não existe mais oxigênio nos tecidos. A previsão teórica de Keller para o tempo mínimo na corrida de 200 m é de 19,25 s [12], enquanto o recorde atual é de 19,32 s, obtido por Michael Johnson (USA), em Atlanta, em 1996. Mais importante, Keller mostrou que existe uma distância crítica nas corridas, $D_c = 291$ m, tal que para as corridas em distâncias menores do que D_c , o atleta deverá atingir a velocidade máxima com aceleração máxima, e daí para frente manter essa velocidade até o final; enquanto que para as corridas em distâncias maiores do que D_c , o atleta deve dispor de aceleração máxima por um tempo entre 1 e 2 segundos, chegando, ao final desse período, a um regime de velocidade constante, e finalmente desacelerar entre 1 e 2 s antes do final da prova. Recentemente, Mureika aperfeiçoou a teoria de Keller, introduzindo a perda de energia do atleta nas curvas [17], um aspecto importante já nas corridas de 200 e 400 m.

Até agora, todas as equações vistas no presente trabalho são leis de escala simples, nas quais os expoentes que relacionam as diversas quantidades físicas são números inteiros ou fracionários que emergem de relações dinâmicas simples. Nesse caso, podemos falar em expoentes de escala triviais. No estudo dos recordes olímpicos de corridas, encontramos uma lei de escala não-trivial, a qual relaciona o tempo de duração recorde de uma corrida, t_{rec} , com a extensão da corrida, D . Na Figura 2, mostramos num gráfico log-log a dependência t_{rec} vs. D para todas as corridas olímpicas masculinas. Como o leitor poderá observar, t_{rec} escala não-linearmente com a distância como

$$t_{rec} = 0,057 \times D^{1,115}, \quad (12)$$

com um coeficiente de correlação de 0,9997 e ao longo de uma variabilidade de distância superior a um fator 420. Os recordes femininos são também descritos por uma lei de escala não-trivial muito parecida. Nesse último caso, $t_{rec} = 0,068 D^{1,10}$, com igual coeficiente de correlação. Esses dois últimos ajustes satisfazem $t_{rec} \sim D^{10/9}$, dentro de incertezas da ordem de 0,3% a 0,9%.

Aceleração

Para encontrarmos como a aceleração a disponível a um animal escala com o seu tamanho L ou com a sua massa M , basta

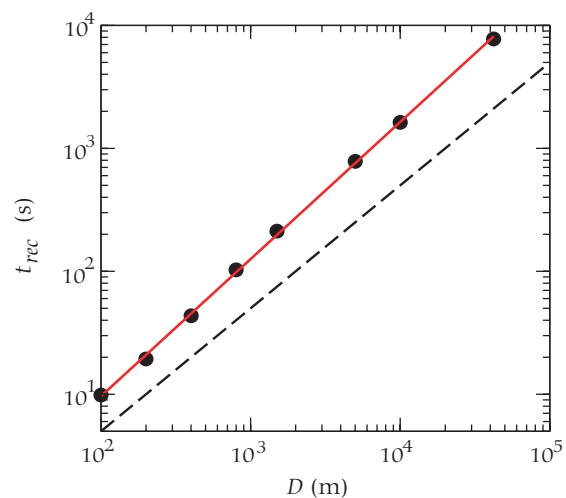


Figura 2. Gráfico log-log do tempo-recorde, t_{rec} , vs. a distância na corrida, d , para as provas olímpicas. A reta contínua se refere ao melhor ajuste, dado por $t_{rec} = 0,057 \times D^{1,115}$. A linha tracejada representa, para comparação, uma reta com inclinação unitária. Veja “Observações sobre as corridas olímpicas” para maiores detalhes.

lembrar a segunda lei de Newton e as Eqs. 4 e 5 da seção “Lei de escala para a potência dissipada nos mamíferos”:

$$a = \frac{F}{M} \sim \frac{d^2}{Ld^2} = L^{-1}. \quad (13)$$

Em (13), F é o mesmo que a força muscular descrita em “Lei de escala para a potência dissipada nos mamíferos”. Essa equação mostra que quanto maior o tamanho do animal, menor a aceleração. Muitos mamíferos, como os gatos (pequenos e grandes, incluindo os leões), têm pernas muito musculosas, que privilegiam a aceleração no momento do bote, em detrimento da velocidade. Já as gazelas têm pernas muito leves, as quais privilegiam a manutenção de velocidades altas durante muito tempo, em detrimento simplesmente da aceleração. Por essa razão, os leões têm apenas uma ou duas dezenas de segundos para tentar alcançar essas suas rápidas presas. Se eles não o fazem nesse restrito intervalo, não conseguem acompanhar o ritmo de alta velocidade das gazelas por muito tempo. O chitá, o rei das corridas, também não consegue manter a sua grande velocidade máxima por muito tempo; esse animal vai de 0 a 108 km/h em apenas três segundos, o que corresponde a uma aceleração de 10 m/s^2 , pouco maior do que a da gravidade, e maior do que a de carros de corrida, em geral. Devemos observar aqui que, comparativamente à pulga [18], que alcança 2 m/s em apenas $0,0015 \text{ s}$, com uma aceleração de 136 g , o chitá tem uma aceleração insignificante.

Nas corridas olímpicas mais curtas, de 100 e 200 metros, a arrancada inicial, fase de grande aceleração, ocupa uma fração apreciável da corrida (cerca de 20% do tempo total para a de 200 m e 40% para a de 100 m), por isso os músculos das pernas nos atletas que se dedicam a essas modalidades têm uma preparação bem diferente do que acontece para os corredores das demais modalidades. Esse aspecto fica patente ao examinarmos as diferenças de perfil físico entre os atletas dos diversos tipos de corridas. Corredores que aspiram a uma medalha de ouro nas provas olímpicas de 100 e 200 m devem estar preparados para uma aceleração típica de 8 m/s^2 , no primeiro segundo dessas corridas. Um cálculo elementar mostra que a potência por unidade de massa exigida desses atletas nessas arrancadas é próxima da potência humana máxima de $0,0557 \text{ HP/kg}$, definida na seção “A dissipação de energia nos seres humanos”.

O pulo

Dependência com o tamanho

De grande importância nos esportes, no caso do homem, e na sobrevivência, no caso de outros animais, no pulo vertical, o animal retrai suas pernas de forma que o seu centro de massa (CM) se abaixa de uma distância h . Na hora do pulo, uma força muscular F age ao longo dessa mesma distância e produz um trabalho $W = F \times h$, que faz com que o CM alcance, com velocidade final igual a zero (ponto de retorno), uma altura $H > h$ acima da posição relaxada normal, ou seja, quando o CM está a uma altura $h + H$ acima da posição mais retraída. Conservação da energia para um animal de peso $M \times g$ nos diz que

$$W = F \times h = M \times g \times (h + H). \quad (14)$$

A altura do pulo, $h + H$, será dada por (Fh/Mg) . Como $F \sim d^2$ (veja “Lei de escala para a potência dissipada nos mamíferos”), e como $h \sim L$ e $M \sim L \times d^2$, a altura $h + H$ que o CM sobe com o pulo escala com L como

$$h + H = \frac{F \times h}{M \times g} \sim \frac{d^2 \times L}{L \times d^2} \sim d^0 \times L^0, \quad (15)$$

i.e. $h + H$ independe da altura do animal, como ocorre também com a velocidade máxima nas corridas. Essa é a razão pela qual muitos jogadores apesar de baixos, são excelentes na hora de pular para cabecear, encestar ou cortar uma bola.

Vale notar que a maior parte dos animais realiza pulos tais que $H \gg h$; gatos, por exemplo, conseguem facilmente pulos com $H/h = 20$. O homem é uma exceção pois, na melhor das hipóteses, consegue $H \sim h$. Consideremos o caso típico de um atleta com 70 kgf de peso que retraia a sua altura de uma distância $h = 0,30$ m para pular, elevando o seu CM a uma distância $H = 0,60$ m acima da posição usual. Neste caso, a Eq. 15 nos dá

$$F = Mg(h + H)/h = 3 Mg. \quad (16)$$

Supondo, ainda nesse caso, que a distensão dos músculos, e conseqüentemente F , dure $t = 0,25$ s (o leitor poderá consultar, nesse particular, a Figura 3 da Ref. [13]), a potência P investida no salto será $P = M \times g \times (h + H)/t = 2470$ W ou 3,4 HP, que é praticamente o limite de potência disponível para os humanos, conforme comentado na seção “A dissipação de energia nos seres humanos”. Como corolário, nenhum atleta consegue dar dois grandes pulos em seguida.

Considerações sobre a resistência dos ossos humanos nos saltos

Vamos agora examinar os limites físicos impostos pela resistência dos ossos no caso de um salto ou queda a partir de uma altura H . Providências especiais para amortecer a queda de atletas têm que ser introduzidas, por exemplo, nas competições de salto com varas, onde as alturas alcançadas excedem os 6 m acima do nível do solo. O osso humano mais vulnerável numa queda vertical é a tíbia, a qual possui, num adulto, uma área transversal A de cerca de 3 cm^2 , no seu ponto de maior estreitamento. O módulo de compressão [19] da tíbia é $Y = 1,7 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Humanos têm, em geral, módulos de compressão maiores do que os de outros mamíferos. Uma tíbia tenderá, então, a fraturar-se quando submetida a forças maiores que $AY = 51000 \text{ N}$. Duas tíbias, portanto, suportarão um esforço $F_c = 2AY = 10^5 \text{ N}$, aproximadamente 130 vezes o peso de um ser humano de 75 kgf. Equivalentemente, as duas tíbias suportarão, no impacto vertical com o piso, uma desaceleração de até 130 g. Se uma pessoa em queda de uma altura H amortecer o impacto, diluindo a desaceleração ao longo de uma distância h (por exemplo, flexionando as pernas), deveremos ter $H \leq F_c \times h / \text{Peso} = 130 h$, para não haver a fratura das tíbias. Assim, se $h = 1$ cm, como se um impacto com o chão se processasse com as pernas essencialmente rígidas, uma altura $H = 130$ cm já implicaria o risco de quebra das tíbias. Num outro extremo, se a desaceleração ocorrer ao longo de $h = 0,6$ m, o limite para a queda de risco subirá para $H = 78$ m, o que pode parecer superestimado. Na realidade, o que ocorre é que, nos saltos, as desacelerações são exercidas quase que inteiramente sobre os tendões e ligamentos, os quais têm uma resistência à ruptura de cerca de $1/20$ em relação aos ossos. Esse fato reduz a altura máxima, H_{max} , para colidir com o solo, a cerca de $H_{\text{max}} = 78 \text{ m}/20 = 3,9$ m. Materiais fofos como a neve permitem, no entanto, quedas de grandes alturas sem qualquer proble-

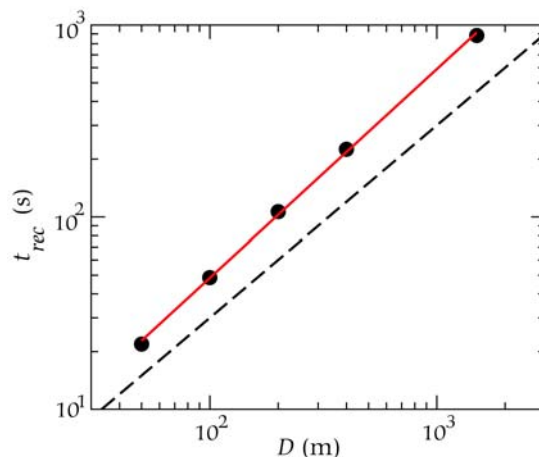


Figura 3. Gráfico log-log do tempo-recorde, t_{rec} , vs. a distância d nas provas olímpicas de nado livre. A reta contínua se refere ao melhor ajuste, dado por $t_{\text{rec}} = 0,326 \times D^{1,09}$. A linha tracejada representa, para comparação, uma reta com inclinação unitária. Veja “A atividade de nadar” para maiores detalhes.

ma. Deve ser ainda notado que um dos aspectos mais perigosos nas quedas de grandes alturas se refere ao fato de o corpo humano tender a girar, e a cabeça, devido ao peso, tender a colidir com o chão.

A atividade de nadar

Num meio denso como a água, o empuxo é grande e anula o peso; conseqüentemente, espera-se que a massa do nadador não desempenhe um papel importante como na corrida (veja o último parágrafo da seção “Como a velocidade máxima depende do tamanho dentro da mesma espécie”). Diferentemente das corridas humanas, a resistência do meio, R , é muito importante aqui, e nós devemos esperar que a velocidade máxima V do nadador dependa da quantidade de trabalho por ciclo, W , que ele pode fazer, e da aceleração da gravidade g , além, obviamente, de R . Note que g deve entrar na expressão de V , pois quanto menor g maior a dificuldade para o nadador avançar; em particular, no limite $g = 0$, não pode existir natação! Supondo $V = V(g, W, R) \sim g^\gamma \times W^\delta \times R^\nu$, encontramos através de análise dimensional que $\gamma = 1/2$, $\delta = 1/2$ e $\nu = -1/2$. Ou seja:

$$V \sim g^{1/2} \times (W/R)^{1/2}. \quad (17)$$

Na mecânica dos fluidos, a Eq. 17 é conhecida como a lei de Froude da correspondência de velocidades [3]. Como $W \sim L^3$, e como $R \sim L^2$ (já que a resistência do fluido depende da área transversal do corpo), segue desse raciocínio que para a natação [3]

$$V \sim L^{1/2}; \quad (18)$$

ou seja, diferentemente das corridas, a natação privilegia os atletas de maior estatura. Por essa razão, os nadadores olímpicos são cada vez mais altos. Analogamente, peixes maiores também nadam mais rápido. Como um exemplo de (18), um nadador com 2,00 m de altura tem, em média, uma velocidade máxima maior do que a de um nadador, digamos, de 1,94 m por um fator de $(2,00/1,94)^{1/2} = 1,015$ (1,5% maior), assumindo-se que ambos estejam igualmente preparados.

As provas olímpicas de natação mais rápidas são as de nado livre, em cinco distâncias, a saber: 50 m, 100 m, 200 m, 400 m e 1500 m. A velocidade média recorde nessas provas é de 2,282 m/s, nos 50 m; i.e. pouco mais do dobro da velocidade média no andar de um adulto. Como visto na seção “Observações sobre as corridas olímpicas” para as corridas, os tempos dos recordes olímpicos, t_{rec} , nas provas de nado livre, também satisfazem uma lei de escala não-trivial envolvendo a distância D do percurso. Essas informações são mostradas no gráfico log-log da Figura 3, onde a linha contínua representa o melhor ajuste lei de potência: $t_{rec} = 0,326 \times D^{1,09}$, num intervalo de variabilidade de 30 na distância e com um coeficiente de correlação igual ao das corridas (0,9997). Deve ser notado que o expoente de escala nessa última lei difere do correspondente para o caso das corridas por apenas 2,6%. O leitor interessado nos recordes olímpicos nas provas de natação encontrará todas as informações no sítio <http://www.swimnews.com/Rank/RecordsSub2/OlymRecM.shtml>.

Conclusão

Naturalmente, todas as leis de escala discutidas aqui são estatísticas. Elas não são equações determinísticas; a Eq. 18, por exemplo, não diz que um nadador de 1,94 m terá necessariamente que fazer um pior tempo que um de 2,00 m. A lei de escala (18) diz apenas que, se todos os outros aspectos estiverem igualmente bem resolvidos entre os nadadores, o favoritismo tenderá sempre a pesar para o lado do mais alto na natação, onde a velocidade escala com a raiz quadrada do tamanho l do nadador. O mesmo comportamento, $v \sim L^{1/2}$, ocorre na atividade de andar (“A atividade de andar”), embora tanto nas corridas quanto na atividade de pular, a velocidade (Eq. 11) e a altura do pulo (Eq. 15) máximas, respectivamente, independam da altura do indivíduo.

Chamamos a atenção do leitor para o fato de que nem todas as leis de escala discutidas aqui são simples e bem compreendidas como as que acabamos de lembrar no parágrafo anterior. O exemplo mais importante nesse aspecto é a lei de Kleiber [5] discutida na “Lei de escala para a potência dissipada nos mamíferos”. Vale ressaltar, por fim, que as leis de potência envolvendo os tempos de recordes olímpicos em função da distância nas provas de corrida (Figura 2) e nado livre (Figura 3), discutidas nas seções “Observações sobre as corridas olímpicas” (Eq. 12) e “A atividade de nadar”, respectivamente, também são exemplos de leis de escala não-triviais, e pelo que sabemos, ainda não explicadas. O que mais impressiona na lei de escala (12) é que, apesar das diversas provas de corrida estarem associadas a estratégias bastante diferentes de minimização do tempo, essas marcas temporais seguem uma mesma lei de potência, independentemente do tipo de prova.

Referências

- [1] G. Galilei, *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche Intorno a Due Nuove Scienze Attenanti alla Meccanica ed i Movimenti Locali* (1638) (reproduzido como *Dialogues Concerning the two New Sciences*, em *Great Books of the Western World* editado por R.M. Hutchins, Chicago, 1952).
- [2] J.B. Marion, *General Physics with Bioscience Essays* (Wiley, New York, 1979).
- [3] D.W. Thompson, *On Growth and Form – The Complete Revised Edition* (Dover, New York, 1992).
- [4] A. Tan and J. Zumerchik, *Phys.Teacher* **38**, 147 (2000).
- [5] M. Kleiber, *Hilgardia* **6**, 315 (1932).
- [6] W. Hughes, *Aspects of Biophysics* (Wiley, New York, 1979).
- [7] K. Schmidt-Nielsen, *Scaling: Why is Animals Size so Important?* (Cambridge U.P., Cambridge, 1993); W.A. Calder III, *Size, Function, and Life Story* (Dover, New York, 1996).
- [8] P.H. Harvey and J.R. Krebs, *Science* **249**, 140 (1990).
- [9] T. McMahon, *Science* **179**, 1201 (1973).
- [10] G.B. West, J.H. Brown and B.J. Enquist, *Science* **276**, 122 (1997).
- [11] Veja, por exemplo, A.P. French, *Principles of Modern Physics* (Wiley, New York, 1958), ou qualquer outro livro de Física Moderna ou Estrutura da Matéria.
- [12] J.B. Keller, *Phys.Today* **26**, 42 (1973).
- [13] R. Cross, *Am.J.Phys.* **67**, 304 (1999).
- [14] M.Y. Azbel, *Proc.Natl.Acad.Sci.* **91**, 12453 (1994).
- [15] M.Y. Azbel, *Proc.R.Soc.Lond.-B* **263**, 1449 (1996).
- [16] H.W. Ryder, H.J. Carr and P. Herget, *Sc.Am.*, **234**, 109 (1976).
- [17] J.R. Mureika, *Can.J.Phys.* **75**, 837 (1997).
- [18] M. Rothschild, Y. Schlein, K. Parker, C. Neville and S. Sternberg, *Sc.Am.* **229**, 92 (1976).
- [19] Veja, por exemplo, D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentos de Física* (Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1996), volume 2 .

$$y = y_0 + v_{0y} \times t - \frac{1}{2} \times g \times t^2$$

$$x = x_0 + v_{0x} \times t$$

$$v_{0x} = v_0 \times \cos(\theta)$$

$$v_{0y} = v_0 \times \sin(\theta)$$

Modelagem no Ensino/Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio



Introdução

A utilização das novas tecnologias de informação e comunicação no ensino, especificamente a Internet e *softwares* educacionais, tem sido alvo de grande interesse, tanto para o ensino presencial quanto para o ensino aberto e a distância. Esse não é um fenômeno nacional; pelo contrário, a maior parte dos países desenvolvidos e em desenvolvimento tem programas específicos para promover essa utilização. Também não parece ser um fenômeno nacional – pois em Portugal e em outros países europeus também é assim – que a política de incentivo tende a privilegiar a Internet como suporte de ensino. Embora ferramenta indispensável para o ensino a distância e que em muito enriquece o ensino presencial, há que se tomar cuidado para que o uso do computador não se restrinja a uma *máquina de fornecer informação*, como aconteceu com grande parte dos programas tutoriais do passado. Como a maioria dos educadores, defendemos o uso do computador como uma *ferramenta para auxiliar a construção do conhecimento* [1,2], perspectiva essa que teve como expoente Papert [3]. Essa também é (felizmente) a perspectiva que embasa a quase totalidade das publicações [4] na Revista Brasileira de Ensino de Física e no Caderno Catarinense de Ensino de Física.

Os trabalhos já publicados nessas revistas podem ser classificados em três grandes categorias nas quais são discutidos: i) princípios e idéias gerais sobre a possibilidade de uso de novas tecnologias no ensino de Física; ii) o uso de um determinado software e seu entorno docente; iii) aquisição automática de dados em laboratórios didáticos de Física. Nenhum deles dá devida ênfase à modelagem como uma ferramenta computacional das mais

E.A. Veit

Instituto de Física
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil
E-mail: eav@if.ufrgs.br

V.D. Teodoro

Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade Nova de Lisboa,
Campus de Caparica, Portugal
E-mail: vdt@mail.fct.unl.pt

Neste artigo discute-se a importância da modelagem no ensino/aprendizagem de Física em conexão com os novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM). Apresentam-se as características essenciais do software Modellus, concebido especialmente para modelagem em Ciências Físicas e Matemática sob uma visão de ensino que enfatiza no processo de aprendizagem a exploração e a criação de múltiplas representações de fenômenos físicos e de objetos matemáticos (publicado originalmente na Revista Brasileira de Ensino de Física v. 24, n. 2, p. 87-96 (2002)).

preciosas para o ensino de Física sob uma perspectiva mais geral, conquanto haja bons projetos que se valem da modelagem [5,6]. Tampouco há dentre as publicações que se dedicam à utilização de algum *software* em particular [7–10], uma que ilustre a potencialidade do *Modellus* [11], que é um *software* educacional desenvolvido especialmente para a modelagem no ensino de Ciências e Matemática e que tem sido amplamente usado em diversos projetos tanto nacionais quanto internacionais [12–14].

A presente publicação visa a preencher parte dessa lacuna, discutindo a importância da modelagem computacional no ensino/aprendizagem de Física – em conexão com os novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio [15] – e apresentando o *Modellus* como uma ferramenta computacional que através da *experimentação conceitual* favorece a aprendizagem do *jogo da modelagem* [16]. Nosso enfoque se concentra em modelos conceituais, que são versões didáticas de modelos físicos e, especialmente, nos modelos matemáticos subjacentes, não nos modelos mentais e nas representações internas [17].

Software de modelagem no ensino/aprendizagem de Física e os novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

A Ciência é um processo de representação do Mundo, sempre sujeito a reformulação. A linguagem matemática desempenha um papel fundamental nessa *representação*, que não pode ser confundida com *explicação*. Na realidade, o discurso científico tem mais a ver com *representações* do

Na prática, Física representa para o estudante, na maior parte das vezes, uma disciplina muito difícil, em que é preciso decorar fórmulas cuja origem e finalidade são desconhecidas

que com *explicações*. Por exemplo, a lei da gravitação universal de Newton é uma forma de representar, através de um modelo matemático, a interação entre corpos celestes. Nada nos diz acerca *do que* é gravitação. O poder da linguagem matemática resulta, pois, não da sua capacidade de explicação, mas da sua capacidade de representação, de descrição do processo natural. Isto é, utilizando equações é possível reproduzir no papel (no caso de Newton, que não tinha computador, mas paciência para realizar inúmeros cálculos repetitivos...) ou no computador o que se passa no céu (com certo grau de aproximação)!

Utilizamos a palavra modelagem [42] no sentido de *um processo de representação*. Um modelo é uma representação simplificada de um sistema, mantendo apenas as suas características essenciais. Um modelo matemático, que é uma forma específica de representação, se vale de objetos matemáticos, como são as funções, os vetores, as figuras geométricas. De particular interesse em Física são os modelos de sistemas dinâmicos, isto é, modelos que estabelecem alguma relação matemática entre quantidades físicas e o tempo, considerado como uma variável independente. Esses são os modelos em que estamos particularmente interessados neste artigo, pois a maior parte dos conteúdos de Física da escola de Ensino Médio e universitário está ancorada nesse tipo de modelo, ainda que muitas vezes isso não seja transparente ao estudante.

Na prática, Física representa para o estudante, na maior parte das vezes, uma disciplina *muito difícil*, em que é preciso decorar fórmulas cuja origem e finalidade são desconhecidas. A introdução de modelagem no processo ensino/aprendizagem tende a desmitificar essa imagem da Física, possibilitando uma melhor compreensão do seu conteúdo e contribuindo para o desenvolvimento cognitivo em geral, pois modelagem facilita a construção de relações e significados, favorecendo a *aprendizagem construtivista*, podendo, também [18]:

- elevar o nível do processo cognitivo, exigindo que os estudantes pensem num nível mais elevado, generalizando conceitos e relações;

- exigir que os estudantes definam suas idéias mais precisamente;
- propiciar oportunidades para que os estudantes testem seus próprios modelos cognitivos, detectem e corrijam inconsistências.

Uma das mais importantes características dos programas de modelagem é a possibilidade de construir múltiplas representações de uma mesma situação. De certo modo, compreender um modelo e o respectivo fenômeno é ser capaz de construir múltiplas representações e “navegar”, entre uma e outra [19].

Mas aprender não é, apenas, um processo de construção pessoal, desconectado das interações sociais e das *ferramentas* no processo de construção de conhecimento [20,21]. Sob esse ponto de vista, *softwares* de modelagem são ferramentas da maior valia no ensino/aprendizagem das *Ciências da Natureza e da Matemática* do século XXI, pois a compreensão do saber científico passa pelo exercício de modelagem e esses *softwares* costumam ser tais que facilitam estudos exploratórios individuais, assim como podem servir como elementos motivadores para o trabalho coletivo.

Dentre os princípios norteadores gerais estabelecidos pelas Diretrizes Curriculares para o Ensino Médio [22] destacam-se a produção de um conhecimento efetivo, não somente propedêutico, que leve ao desenvolvimento de competências e habilidades específicas para cada disciplina, integradas pela interdisciplinaridade e se valendo da contextualização. A organização do currículo em três grandes áreas (*Linguagens e Códigos, Ciências da Natureza e Matemática e Ciências Humanas*, cada uma delas acompanhada de suas *Tecnologias*) pretende conferir unidade ao ensino das diferentes disciplinas da área, orientando o trabalho integrado dos professores das respectivas áreas, sem dispensar uma articulação das áreas entre si.

Destaque-se que as grandes áreas incluem as suas *tecnologias*, dentre elas os computadores que revolucionaram a tal ponto a investigação científica que “hoje a computação científica pode ser considerada como uma terceira metodologia da ciência, paralelamente aos paradigmas mais estabelecidos da ciência teórica e experimental” [23]. A utilização das novas tecnologias na educação está muito defasada em relação ao seu uso científico – também em nível internacional – mas o que se espera, e se preconiza nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), é que as tecnologias específicas de cada área venham a ser incorporadas no seu processo ensino/aprendizagem.

Na área de *Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*, na qual a disciplina de Física está inserida, entende-se que “A aprendizagem de concepções científicas atualizadas do mundo físico e natural e o desenvolvimento de estratégias de trabalho centradas na solução de problemas é finalidade da área, de forma a aproximar o educando do trabalho de investigação científica e tecnológica, como atividade institucionalizadas de produção de bens e serviços.” [15, p. 33]

Pergunta-se: como aproximar o educando do trabalho de investigação científica em Física e Matemática sem trabalhar com modelos?

Nos PCNEM os objetivos curriculares são focados em competências e habilidades a serem atingidas pelos estudantes nas diferentes disciplinas, ao invés de focados nos conteúdos especí-

Nos PCNEM os objetivos curriculares são focados em competências e habilidades a serem atingidas pelos estudantes nas diferentes disciplinas, ao invés de focados nos conteúdos específicos cobertos por essas disciplinas

Aprender não é, apenas, um processo de construção pessoal, desconectado das interações sociais e das ferramentas no processo de construção de conhecimento

ficos cobertos por essas disciplinas. Essa perspectiva altera completamente a organização curricular, pois passam a ser as competências que orientam a seleção e o ordenamento de conteúdos, com seus respectivos tempos e espaços curriculares. Justamente por isso estamos vivenciando um processo de reorganização curricular de nossos cursos de Licenciatura em Física, a fim de que

Nas reformas recentes é marcante a importância dada a uma visão mais integrada, desde a aprendizagem da comunicação escrita e oral, até à necessidade de aprendizagem em contextos interdisciplinares e às conexões entre as abordagens das diversas ciências

satisfaçam as Diretrizes Curriculares para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica, em Cursos de Nível Superior [24], preparando o professor que deverá trabalhar no nível médio à luz dos novos parâmetros curriculares.

Essa discussão sobre a renovação de currículo, assim como as anteriores, também não é um fenômeno apenas nacional [25]. Ela tem ocorrido em diversos países nos últimos quinze anos, devendo-se, especialmente, ao progresso obtido na investigação educacional, particularmente com a identificação de concepções alternativas e as dificuldades de mudança conceitual. Ao contrário das reformas das décadas de 60 e 70 [26], as mais recentes deram mais importância às dificuldades de conhecimentos sobre os processos de aprendizagem

[27]. Um sucinto histórico das reformas curriculares brasileiras na área de Matemática e Ciências da Natureza consta na seção rumos e desafios dos PCNEM [15, p. 261 a 263]. Nas reformas recentes é marcante a importância dada a uma visão mais integrada, desde a aprendizagem da comunicação escrita e oral, até à necessidade de aprendizagem em contextos interdisciplinares e às conexões entre as abordagens das diversas ciências, como proposto nos PCNEM. Outra característica é uma educação com “maior ambição formativa, tanto em termos da natureza das informações tratadas, dos procedimentos e atitudes envolvidas, como em termos das habilidades, competências e dos valores desenvolvidos.”[op. cit. p. 207]

Dentre as competências e habilidades a serem desenvolvidas na área de *Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*, há diversas que seriam diretamente beneficiadas pelo uso da modelagem no processo de ensino/aprendizagem, especialmente se, para tanto, se utilizar uma ferramenta computacional como o *Modellus*, que dispensa qualquer linguagem de programação. Aqui, nos concentramos especificamente na competências e habilidades a serem desenvolvidas em *Física* e destacamos as que seguem [op. cit. p. 237]:

A discussão sobre renovação curricular não é um fenômeno apenas nacional. Ela tem ocorrido em diversos países nos últimos quinze anos, devendo-se, especialmente, ao progresso obtido na investigação educacional

- compreender enunciados que envolvam códigos e símbolos físicos;
- utilizar e compreender tabelas, gráficos e relações matemáticas gráficas para a expressão do saber físico. Ser capaz de discriminar e traduzir as linguagens matemática e discursiva entre si;
- expressar-se corretamente utilizando a linguagem física adequada e elementos de sua representação simbólica. Apresentar de forma clara e objetiva o conhecimento apreendido, através de tal linguagem;
- elaborar sínteses ou esquemas estruturados dos temas físicos trabalhados;

- desenvolver a capacidade de investigação física. Classificar, organizar, sistematizar. Identificar regularidades. Observar, estimar ordens de grandeza, compreender o conceito de medir, fazer hipóteses, testar;

- conhecer e utilizar conceitos físicos. Relacionar grandezas, quantificar, identificar parâmetros relevantes. Compreender e utilizar leis e teorias físicas;
- construir e investigar situações-problema, identificar a situação física, utilizar modelos físicos, generalizar de uma a outra situação, prever, avaliar, analisar previsões.

“É preciso mudar convicções equivocadas, culturalmente difundidas em toda a sociedade, de que os alunos são os pacientes, de que os agentes são os professores e de que a escola estabelece simplesmente o cenário do processo de ensino.” [op. cit. p. 263]

“Se há uma unanimidade, pelo menos no plano dos conceitos entre educadores para as Ciências e a Matemática, é quanto à necessidade de se adotarem métodos de aprendizado ativo e interativo.” [op. cit. p. 266]

É essa visão sobre o processo de aprendizagem que fundamenta a utilização de *softwares* de caráter exploratório como o *Modellus* e os de geometria dinâmica (Sketchpad, Cabri, Cinderella, Supposer,...). Nessa perspectiva, o computador é visto como uma ferramenta para *auxiliar a construção do conhecimento*, em contraposição à outra perspectiva dominante, em que os computadores são utilizados *como máquinas de informação*, como é o caso da quase totalidade das páginas da Internet (Embora mereça ser registrado o valor indiscutível de alguns desses materiais de divulgação [28].)

Modellus: características essenciais

Modellus é uma ferramenta cognitiva para auxiliar a internalização de conhecimento simbólico, preferencialmente em contexto de atividades de grupo e de classe, em que a discussão, a conjectura e o teste de idéias são atividades dominantes, em oposição ao ensino direto por parte do professor. Isso não significa, no entanto, que os estudantes reinventam o conhecimento quando constroem ou exploram modelos com o *Modellus*. De fato, *ninguém pode aprender explorando sem conhecimento relevante sobre o campo de exploração*. A aquisição de conhecimentos e capacidades não é um processo completamente claro e definido no tempo e no espaço. É demorado, contextual, dependente de estruturas cognitivas e conhecimento prévio. E, essencialmente, é um processo de *familiarização* com novas idéias e representações (como afirmaram muitos dos mais notáveis criadores científicos, como Newton, Planck, Feynman).

**Se há uma unanimidade,
pelo menos no plano dos
conceitos entre educadores
para as Ciências e a
Matemática, é quanto à
necessidade de se adotarem
métodos de aprendizado
ativo e interativo**

Modellus, como outras ferramentas computacionais, permite ao usuário fazer e refazer *representações, explorando-as sobre as mais diversas perspectivas*. Desse modo, facilita a *familiarização* com essas representações, criando de certo modo uma *intimidade entre aprendiz e representação*, intimidade essa que muito dificilmente resulta da simples *observação ocasional* de equações e representações feitas pelo professor ou apresentadas nos livros. Essa *intimidade*, por outro lado, é fundamental para a *reifificação* dos objetos formais, algo que, de acordo com Roitman [29], é imprescindível no desenvolvimento do pensamento científico.

Antes do advento dos computadores, construir e explorar modelos matemáticos exigia grande capacidade de abstração. Por exemplo, a simples representação de um movimento acelerado por uma função do segundo grau, requer do aprendiz a utilização, e portanto a compreensão, de uma função do tipo:

$$x = 1/2 a_x t^2$$

Dispondo de uma ferramenta computacional, o processo de modelagem adquire contornos mais concretos, pois o aprendiz pode utilizar essa função em um contexto específico e explorar o significado dos seus parâmetros e da função em si. Especialmente, se a ferramenta computacional dispensar o conhecimento de uma linguagem especial de programação. Essa é uma das maiores virtudes do *Modellus*: a sintaxe de escrita é praticamente a mesma que se usa ao escrever um modelo no papel, tanto para funções quanto para equações diferenciais ordinárias. Assim, o usuário não precisa aprender nenhuma linguagem de programação, bastando conhecer o simbolismo matemático, como pode ser visualizado na janela *Modelo* apresentada na Figura 1. (Caso não domine a linguagem matemática, *Modellus* poderá auxiliá-lo na sua compreensão. Tanto quanto é do nosso conhecimento, *Modellus* é o único *software* de autor que dispensa completamente qualquer linguagem ou metáfora de programação, ao contrário do que ocorre com excelentes ferramentas para modelagem, como o Logo [30] e o Stella [31].)

Justamente por se valer da linguagem matemática usual é que *Modellus* se torna um excelente programa também para o ensino de Matemática, assim como em qualquer outra área do conhecimento que se valha de sistemas dinâmicos, como a Biologia e a Química.

O mapa cognitivo apresentado na Figura 2 fornece uma idéia geral da concepção e das possibilidades de uso do *Modellus*, que passamos a descrever.

Modellus foi concebido como um *software* de modelagem, no qual o usuário pode facilmente escrever modelos matemáticos expressos como funções, equações diferenciais, equações a diferenças finitas ou derivadas. Tomemos como exemplo, o modelo de um objeto considerado como uma partícula (objeto com massa mas sem dimensão), que se move unidimensionalmente com velocidade constante.

A distância percorrida pela partícula, s , pode ser expressa como uma função linear do tempo, t :

$$s = v_x t$$

Um modelo equivalente pode ser construído representando a coordenada x , num determinado sistema de referência cuja orientação do eixo Ox coincide com a trajetória da partícula, como uma função linear do tempo:

$$x = x_0 + v_x t$$

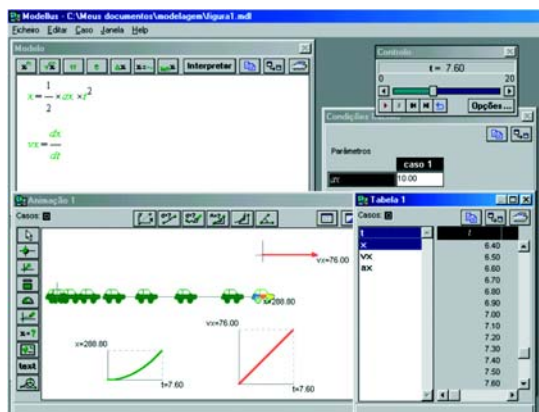


Figura 1. A sintaxe de escrita – na janela *Modelo* – é muito semelhante à linguagem matemática utilizada no quadro-negro.

Nessa equação x_0 representa a coordenada x da partícula no instante inicial ($t = 0$) e v_x representa a componente escalar da velocidade na direção Ox .

Ao acionar o botão *Interpretar*, *Modellus* imediatamente solicitará ao aprendiz que especifique valores para os parâmetros x_0 e v_x .

Essa mesma situação física pode ser modelada usando o conceito de taxa de variação. Como a taxa de variação da coordenada x , v_x , é constante, tem-se:

$$\frac{dx}{dt} = v_x$$

Nesse caso, ao interpretar o modelo, serão solicitadas as condições iniciais, indispensáveis para a solução do problema específico.

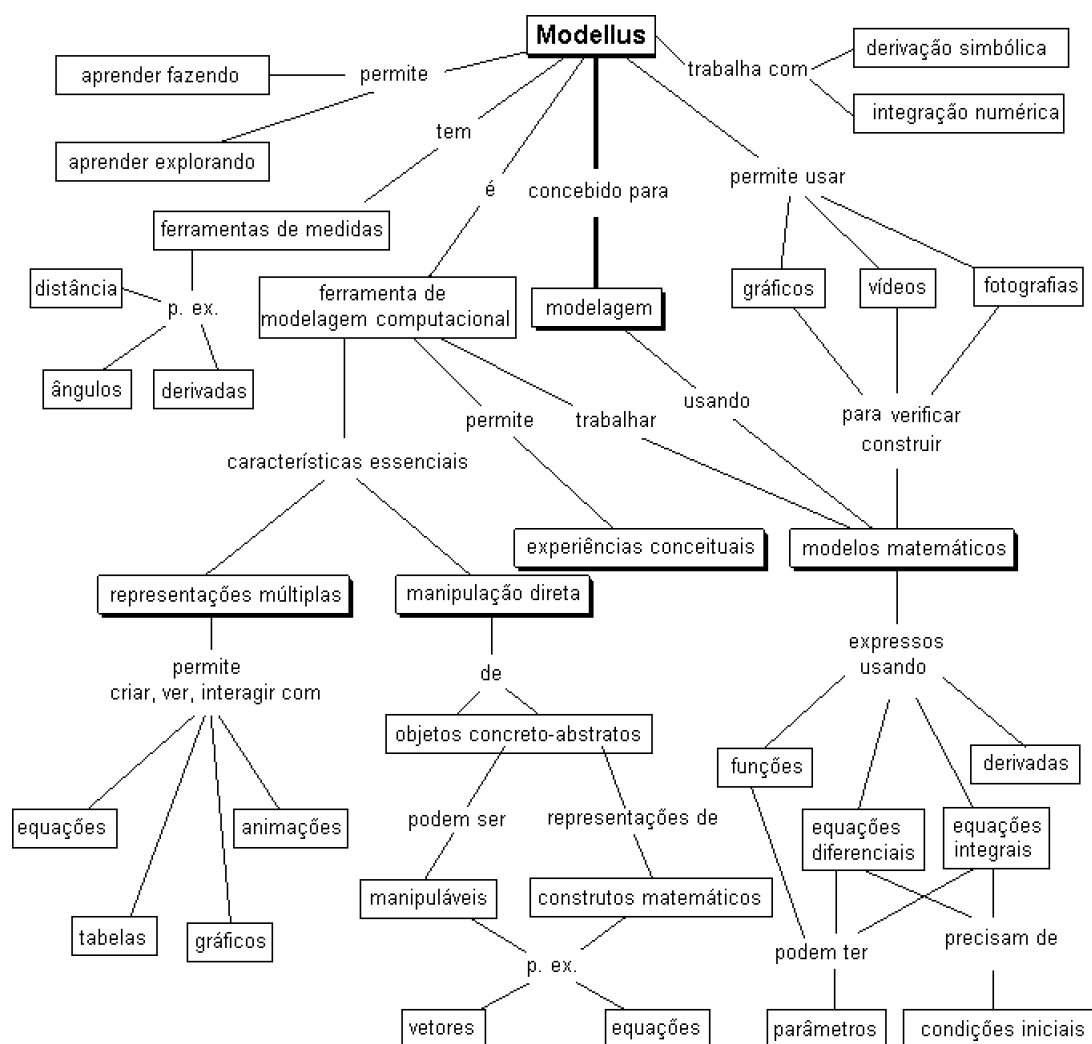


Figura 2. Mapa cognitivo sobre o *Modellus*.

Esses três modelos são equivalentes e podem ser utilizados em diferentes estágios da aprendizagem. Os dois primeiros se valem de funções, enquanto o último é especificado por uma equação diferencial ordinária, com as necessárias condições iniciais que especificam a situação particular em estudo.

Um modelo para essa mesma situação física pode, ainda, ser escrito em termos de diferenças finitas. Nesse caso usa-se a notação usual em linguagem de computação, na qual o sinal de igual significa que o lado esquerdo da equação é substituído pelo lado direito. Então,

$$x =_{\text{last}} x + vx \times \Delta t,$$

onde Δt é um “pequeno” intervalo de tempo.

Alguns autores [32] e, mais recentemente, alguns projetos, como o do *Institute of Physics* do Reino Unido [43], enfatizam o uso de equações a diferenças finitas na introdução aos conceitos

de Cálculo, como taxas de variação, derivadas e integrais, em um nível de escolaridade anterior ao universitário.

Na construção de modelos, o usuário pode se valer, também, da derivada de qualquer ordem de uma função de uma variável.

Sob o ponto de vista de cálculo, *Modellus* realiza: i) as integrações numericamente, se valendo do Método de Runge-Kutta de 4ª ordem; ii) as derivações simbolicamente ou aproxima-as por taxas de variação; iii) cálculos em um modo iterativo.

Papert foi um dos primeiros autores a conjecturar que o computador poderia *concretizar o formal*, possibilitando que conhecimento que só pode ser acessado através de processo formal fosse atingido pela sucessão de processos concretos – facilitando assim, a transição *concreto-formal* do pensamento. A importância da concretização do *formal*, sem perder a idéia da relevância do *abstrato* na construção do conhecimento científico, tem sido retomada por vários outros autores. Hebenstreit [33] considera que uma das principais potencialidades do computador é permitir a construção de objetos “*concreto-abstratos*”: *concretos* porque podem ser diretamente manipulados no computador, *abstratos* porque são representações de idéias ou relações. Por exemplo, uma soma de dois vetores pode ser feita no *Modellus* tanto escrevendo-a como uma soma de suas componentes vetoriais, quanto manipulando diretamente na tela as setas que representam os vetores. Também os objetos e as quantidades físicas, associadas a cursores – podem ser alteradas diretamente na tela, durante o transcorrer da animação.

À época em que Papert lançou essas idéias, as interfaces gráficas computacionais eram pouco desenvolvidas, e o objeto concreto criado foi uma tartaruga, que só podia ser movimentada por comandos de uma linguagem computacional – Logo. Modelar com essa linguagem em Física, não é tarefa trivial, ao alcance de estudantes que não têm maior aptidão e/ou interesse por ciências exatas, ou seja, para a maior parte dos estudantes do Ensino Médio. Ainda em 1995, Nickerson [34] assinalava que não era dada devida atenção à criação de programas onde os estudantes pudessem construir simulações facilmente. Pois a premissa básica na concepção do *Modellus* foi a de que na construção de um modelo o aprendiz deveria pensar como se estivesse usando papel e lápis e que os objetos na tela fossem manipuláveis.

Tomemos como exemplo o movimento acelerado apresentado na Figura 1. Na janela *Modelo* estão indicadas as equações do modelo do movimento. A posição x é definida explicitamente como função de t , e v_x (a componente da velocidade segundo o eixo Ox) é definida como a derivada da posição em relação ao tempo. Ao parâmetro a_x , a componente da aceleração no eixo Ox , é atribuído o valor 10 unidades (m/s^2 , no sistema internacional de unidades), na janela *Condições Iniciais*. Uma vez construído o modelo, construiu-se uma *Animação* e uma *Tabela*. Na tabela, representam-se os valores das diversas variáveis. Na animação, aparece um objeto que se move com aceleração, conforme pode ser visto pela representação estroboscópica (isto é, representação da posição em diversos instantes separados por iguais intervalos de tempo), um vetor que representa a velocidade, acompanhando o movimento do objeto, e dois gráficos, um da posição e outro da magnitude da velocidade.

Esse exemplo ilustra a possibilidade de construir múltiplas representações da mesma situação. Aqui o estudante visualiza – ou constrói – simultaneamente, as equações, a tabela, os gráficos e a animação (ou simulação) do movimento.

Essas são características esperadas pelos PCNEM no conhecimento em Física como exposto por Menezes [44]: “Por exemplo, tanto as linguagens específicas da Física, derivadas de modelagens do mundo macroscópico ou microscópico e instrumentais para certas representações abstratas de

eventos e processos, como outras linguagens de que a física faz uso, a exemplo da matemática, como as expressões algébricas, os gráficos cartesianos ou representações estatísticas, umas e outras passam a ser parte dos objetivos formativos do aprendizado da física, não simples pré-requisitos que o professor deve esperar que o aluno tenha adquirido em outra disciplina ou em outra circunstância.” [35].

Modellus possibilita, ainda, a avaliação da qualidade de um modelo na descrição de dados experimentais, quer disponíveis na forma de gráficos ou de fotografias, quanto de vídeos. Por exemplo, na Figura 3 é feita uma comparação entre o movimento da água de um chafariz e o resultado obtido com um modelo de queda livre.

Nas suas últimas versões, *Modellus* dispõe, também, de instrumentos que permitem a medida de quantidades físicas representadas na forma de gráficos, vídeos e fotografias. Esses instrumentos de medida (de ângulo, distância, área, coordenadas, derivada) podem servir para determinar os parâmetros a serem usados num modelo que descreverá esses dados, assim como podem ser usados na coleta de informação. Por exemplo, usando o instrumento de medida de ângulo pode-se determinar o ângulo de emergência de dois objetos que colidem.

Sob o ponto de vista educacional, *Modellus* possibilita tanto o *aprender fazendo* quanto o *aprender explorando* [36], já que tanto o aprendiz pode construir seus próprios modelos, de um modo muito direto, insistimos, se valendo do simbolismo matemático como usualmente é manuscrito, assim como pode explorar modelos feitos pelo professor ou por outros. No caso de modelos feitos por outros, há a possibilidade de manter a janela *Modelo* fechada – inclusive bloqueando-a com senha – de modo que o aluno não a possa visualizar. Assim, equações diferenciais e derivações podem ser utilizadas também no Ensino Médio, em modelos que se destinam à exploração.

Assim, especialmente porque *Modellus* permite:

- construir e explorar múltiplas representações de modelos;
- analisar a qualidade dos modelos;
- reforçar o pensamento visual, sem memorização dos aspectos de representação formal através de equações e outros processos formais;
- abordar de uma forma integrada os fenômenos naturais, ou simplesmente representações formais;
- trabalhar individualmente e em classe, em que a discussão, a conjectura e o teste de idéias

são atividades dominantes;

- sua utilização no ensino/aprendizagem de Física é uma ferramenta extremamente poderosa para o desenvolvimento de competências/habilidades preconizadas pelos PCNEM e destacadas na seção II.

Comentários finais

Neste trabalho nos concentramos na importância da modelagem no ensino de Física em nível médio em conexão com os PCNEM. Claro está que modelagem é uma ferramenta valiosa também no ensino universitário [45]. Em ambos os níveis, uma das motivações de sua utilização é a possibilidade de se tratar de problemas mais realísticos e mais atuais. Por exemplo, não há justificativa,



Figura 3. Avaliação de um modelo pela comparação entre a trajetória prevista pelo modelo e dados experimentais na forma de uma fotografia.

nos dias atuais, para se limitar o estudo de movimentos próximo à superfície terrestre ao movimento de queda livre. Sob o ponto de vista conceitual, esse problema não apresenta grau de dificuldade maior do que a situação mais realística em que se considera resistência do ar ou ação de vento. Tradicionalmente restringiu-se o estudo de fenômenos físicos a casos ideais em que há solução analítica, mesmo quando o estudante não é capaz de obtê-la, por exemplo, o período do pêndulo simples no Ensino Médio. Resulta que, em não sendo capaz de derivar a solução, só lhe resta “decorar a fórmula” (e decorar, também, que essa fórmula só vale para pequenas amplitudes, expressão essa que na maior parte das vezes sequer sabe o que significa). Defendemos que seria muito mais formativo, e motivador, estimular estudos exploratórios com um *software* de modelagem que permita fazer *experiências conceituais* e/ou construir modelos que descrevam dados. (Nesse caso nem há porque se limitar a pequenos ângulos, pois a solução numérica obtida vale para qualquer amplitude. Então sim, fazer-se a discussão para pequenos ângulos e incluir resistência, ou força externa, discutir ressonância.) Apontamos para a possibilidade de se inserirem novos tópicos, como fenômenos não-lineares e caos. Acreditamos que modelagem é um dos meios indispensáveis para uma mudança radical do Ensino Médio, no sentido sugerido por Moreira [25]:

“Física não dogmática, construtivista, para a cidadania, ênfase em modelos, situações reais, elementos próximos, práticos e vivenciais do aluno, do concreto para o abstrato, atualização de conteúdos, Física Contemporânea.”

Não se trata, obviamente, da substituição do laboratório didático pela modelagem computacional. Trata-se da sua complementação, de ampliar limites, de reforçar o aspecto construtivista da ciência e da aprendizagem, o pensamento científico – não a lógica indutiva. Também não se trata de investir esforços exclusivamente em modelagem deixando de considerar contribuições importantes advindas de outras vertentes como “História e Filosofia da Ciência” e “Física Contemporânea” [25]. Trata-se de agregar uma nova tecnologia que facilita o processo de aprendizagem, que contribui para o desenvolvimento cognitivo e propicia uma melhor compreensão da ciência e da tecnologia, também pelo estudante que não prosseguirá seus estudos.

A presença de novas tecnologias na educação, contudo, não garante uma mudança efetiva nos processos de ensino/aprendizagem: é indispensável o uso adequado dessas tecnologias [38]. Nesse sentido, são muito bem-vindas as iniciativas no sentido de criar material didático adicional, que dêem suporte ao uso de *softwares* educacionais, como o desenvolvido com a linguagem Logo [5,6] e com o *Modellus* [12–14] que tem sido muito valioso para professores e estudantes que se motivam a utilizar esses *softwares*. Ainda assim, isso de *per si* não é suficiente pois, via de regra, ainda temos limitado o uso de ferramentas computacionais a um número diminuto de oportunidades.

Como se observa nas reformas curriculares mais recentes, e preconizam os PCNEM em nível nacional, é preciso dar uma visão mais integrada dos currículos, desde a aprendizagem da comunicação oral, até à necessidade de aprendizagem em contextos interdisciplinares e às conexões entre as abordagens das diversas ciências.

A integração da Física com a Matemática e com suas *tecnologias* recebeu recentemente um novo impulso com o projeto do *Institute of Physics* do Reino Unido em que o *Modellus* é considerado como uma ferramenta que faz parte do curso [14]. Esse é, provavelmente, o primeiro projeto de ensino não superior em que a utilização de ferramentas computacionais – especificamente o *Modellus* e a planilha eletrônica – desempenha um papel essencial, quer para a exemplificação de situações quer para a aprendizagem da construção de modelos. Por exemplo, no início do segundo ano do curso (o último ano do Ensino Médio) o estudante constrói modelos utilizando funções e

equações diferenciais. Esse é um curso inovador nos tópicos abordados, como tratamento de imagens, instrumentação e sistemas de comunicação, com grande ênfase no caráter conceitual. Entendemos que o ensino baseado em excelentes livros didáticos existentes no mercado nacional, como o livro de *Física do GREF* [39], o *Curso de Física*, de Alvarenga e Máximo [40], e *Física*, de Gaspar [41], precisaria ser enriquecido com a utilização de modelagem computacional e de outros novos recursos.

Numa perspectiva mais ampla é necessária uma reflexão sistemática sobre o melhor processo de concretizar uma visão integrada dos conteúdos e qual o papel das ferramentas computacionais nessa visão. Em relação ao *Modellus*, essa reflexão está em andamento no Brasil, em Portugal e na Inglaterra e diversos outros países. Seria oportuno uma investigação sobre sua contribuição na compreensão de modelos físicos sob o referencial de modelos mentais [17]. Também é preciso que haja um esforço continuado no sentido de influenciar o desenvolvimento curricular e as práticas pedagógicas sobre o uso de tecnologia, sem jamais esquecer que, além da tecnologia de qualidade, do entorno docente, de práticas educacionais embasadas em pesquisas educacionais, há que se investir no professor, cuja resistência e dificuldade de aprendizagem nessa área pode ser bem maior do que a do estudante.

Agradecimentos

Agradecemos aos professores M.A. Moreira e P.M. Mors pela leitura crítica deste manuscrito.

Referências

- [1] E. de Corte; L. Verschaffel, e J. Lowyck, Computers and learning. in *Education: The Complete Encyclopedia*, edited by T.N. Husén (Pergamon Press, Oxford, 1998), 1 CD.
- [2] R.P. Taylor, (ed.) *The computer in the school: tutor, tool, tutee* (Teachers' College Press, New York, 1980).
- [3] S. Papert, *Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas* (Basic Books, New York, 1980).
- [4] E.A. Veit, Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/publica.html>>. Acesso em: 30 out. 2001.
- [5] C.E. Aguiar, *Informática no Ensino de Ciências*. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/~carlos/infoenci/infoenci.html>>. Acesso em: 30 out. 2001.
- [6] *Programa Educ@r para aluno de Ensino Médio*. São Carlos: Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://educar.sc.usp.br/fisica/>>. Acesso em: 30 out. 2001.
- [7] G. Santos, M.R. Otero, e M.A. Fanaro, Cad. Catarinense Ens. Fis. **17**, 50-66 (2000).
- [8] A.C.K. DOS Santos; Y. Cho; I.S. Araujo e G.P. Gonçalves, Cad. Catarinense Ens. Fis. **17**, 81-95 (2000).
- [9] F. Resende, Cad. Catarinense Ens. Fis. **18**, 197-213 (2001).
- [10] G. Camiletti e L. Ferracioli, Cad. Catarinense Ens. Fis. **18**, 214-228 (2001).
- [11] V.D. Teodoro, International CoLos Conference New Network - Based Media in Education (Maribor, Eslovênia, 1998) [S.l.: s.n.], p. 13-22; *Modellus: experiments with mathematical models*. Disponível em: <<http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/>>. Acesso em: 20 out. 2001.
- [12] V.D. Teodoro; J.P.D. Vieira; e F.C. Clérigo, Modellus 2.01: Interactive Modelling with Mathematics. (Faculdade de Ciência e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Monte Caparica, 2000).
- [13] E.A. Veit e P.M. Mors, *Física Geral Universitária: Mecânica* (Instituto de Física - UFRGS, 1999).
- [14] I. Lawrence and M. Whitehouse, (eds.) *Advancing physics* (Institute of Physics, Bristol, 2000). 1 CD. Teacher's version.
- [15] Brasil. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros curriculares nacionais: Ensino Médio* (MEC, Brasília, 1999).
- [16] I. Halloun, J. Res. Sci. Teach. **33**, 1019-1041 (1996).
- [17] I.M. Greca e M.A. Moreira, Science Education (aceito para publicação).
- [18] M. Webb, e D. Hassen, in *Opportunities for Computer Based Modelling and Simulation in Secondary Education*, edited by F. Lovis e E.D. Tagg *Computers in education* (North-Holland, Amsterdam, 1988).
- [19] Educational Technology Center, *Making Sense of the Future* (Harvard Graduate School Education, Cambridge, 1988).
- [20] L.S. Vigotsky, *Mind in Society: the Development of Higher Psychological Processes* (Harvard University Press, Cambridge, 1978)

- [21] L.B. Resnick, and A. Collins, in *Cognition and Learning*, edited by T. Husén, *Education: The Complete Encyclopedia* (Pergamon Press, Oxford, 1998), 1 CD.
- [22] Câmara de Ensino Básico do Conselho Nacional de Educação. Resolução CEB n. 3, 26 jun. 1998. Disponível em: <<http://www.mec.gov.br/semtec/revista/dircur.shtm>>. Acesso em 30 out. 2001.
- [23] National Research Council. *Everybody Counts*. (National Academy of Sciences, Washington, 1989). p. 36.
- [24] Conselho Nacional de Educação. Parecer CNE/CP 027/2001 e CNE/CP 028/2001, 2 out. 2001. Disponível em: <<http://www.mec.gov.br/cne/parecer.shtm#2001>>. Acesso em: 30 out. 2001.
- [25] M.A. Moreira, Rev. Bras. Ens. Fis. **22**, 94-99, (2000).
- [26] S.A. Raizen, *Studies in Science Education* **19**, 1-41 (1991).
- [27] B.S. Eylon, in *Physical Sciences: Secondary School Programs*, edited by T. Husén, *Education: The Complete Encyclopedia* (Pergamon Press, Oxford, 1998), 1 CD.
- [28] J.E. Moreira, Disponível em: <<http://www.fisica.ufc.br/>>. Acesso em: 30 out. 2001.
- [29] J. Roitman, *Teachers College Record* **1**, 22-44 (1998).
- [30] Logo Foundation. Disponível em: <<http://el.www.media.mit.edu/logo-foundation/>>. Acesso em: 30 out. 2001.
- [31] B. Richmond, et al., *An Academic User's Guide to STELLA* (High Performance System, Lyme, 1987).
- [32] J. Ogborn, in *A microcomputer modelling system and the teaching of problem structure*, Recherche en didactique de la physique (Éditions du CNRS, Paris, 1984).
- [33] J. Hebenstreit, *Simulation et Pédagogie, une Rencontre du Troisième Type* (École Supérieure d'Electricité, Gif Sur Yvette, 1987).
- [34] R.S. Nickerson, in *Can Technology Help Teach for Understanding?* edited by D.N. Perkins, *Software Goes to School* (Oxford University Press, New York, 1995).
- [35] L.C. de Menezes, *Física na Escola*, **1**, p. 6-8 (2000).
- [36] J. Bliss, and J. Ogborn, *Tool for Exploratory Learning* **5**, 35-50 (1989).
- [37] Ministério da Educação. *Diretrizes curriculares para os cursos de graduação*. Disponível em: <<http://www.mec.gov.br/Sesu/diretriz.shtm#diretrizes>>. Acesso em: 30 out. 2001.
- [38] J. Bransford; A. Brown and R. Cocking, *How People Learn: Brain, Mind, Experience and School* (National Academy Press, Washington, 2000).
- [39] GREF. *Física* (Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993), 3 v.
- [40] A.M.R. da Luz e B.A. Alvares, *Curso de Física* (Scipione, São Paulo, 1997), 3 v.
- [41] A. Gaspar, *Física* (Editora Ática, São Paulo, 2000), 3 v.
- [42] Nos agrada mais o termo modelação, usado em Portugal, mas parece não ter aceitação entre os físicos brasileiros.
- [43] *IoP project Physics 16-19*: Projeto que visa revitalizar o ensino de Física para estudantes entre 16 e 19 anos (<http://www.iop.org/IOP/AP>).
- [44] O Prof. Luís Carlos Menezes coordenou a área de Ciências da Natureza e Matemática na elaboração dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.
- [45] Os documentos pertinentes neste caso seriam as Diretrizes Curriculares para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica, em Cursos de Nível Superior [24] e as Diretrizes Curriculares para os Cursos de Graduação em Física [37], atualmente em análise no Conselho Nacional de Educação.

Utilizando Tecnologia Computacional na Análise Quantitativa de Movimentos: Uma Atividade para Alunos do Ensino Médio



Introdução

O computador na sala de aula pode ser uma ferramenta cognitiva para o aluno, criando-se um ambiente de aprendizagem, tal que nesse ambiente os alunos possam desenvolver habilidades em um contexto que faça parte da sua vida real [1], que haja aprendizagem colaborativa [2], ativa, facilitada, e os alunos possam construir a sua interpretação do mundo real, interiorizando os conhecimentos e organizando-os.

Este projeto está sendo desenvolvido por alunos e professores de quatro escolas públicas da região de São Carlos – EE Cândido Portinari (Batatais-SP), EE Tomas Watelly (Ribeirão Preto-SP), EE Álvaro Guião e EE Juliano Neto (São Carlos-SP) –, sob a orientação da equipe do Centro de Divulgação Científica e Cultural (CDCC) / USP-SC, promovendo as habilidades necessárias para desenvolver novas tecnologias na sala de aula [3].

A análise quantitativa de movimentos reais e dos realizados em laboratório é executada utilizando o *software* SAM (Sistema de Análise Digital de Movimentos), desenvolvido pelo bolsista do CDCC, Edson Minatel (1998/99) no projeto Educadi, financiado pelo CNPq, envolvendo os conceitos de mecânica gráfica (<http://educar.sc.usp.br/fisica/fisica.html>). A linguagem LOGO foi utilizada para simular os movimentos filmados.

Para que os alunos do Ensino Médio possam apreender os conceitos de onda, comprimento de onda, frequência e fazer analogia com os conceitos de ótica geométrica (lentes, espelhos), foi realizado o estudo das ondas [4] em uma cuba de onda, utilizando o *software* SAM.

Novas imagens e inovações gráficas foram obtidas como parte dos resultados do projeto, formando um Banco de Imagens para que alunos e professores que não possuam equipamentos necessários possam usufruir

.....
**Mônica G. Menezes de Magalhães,
Dietrich Schiel, Iria Müller Guerrini
e Euclides Marega Jr.**

Instituto de Física de São Carlos,
Centro de Divulgação Científica e
Cultural (CDCC)

.....

Neste artigo é descrito o projeto “Análise Quantitativa de Movimentos” o qual está sendo desenvolvido por alunos e professores de quatro escolas públicas da região de São Carlos-SP, sob a orientação da equipe do CDCC/USP. A análise de movimentos reais e os obtidos no laboratório é realizada utilizando um *software* desenvolvido pelo CDCC e a linguagem LOGO. Dados da avaliação do projeto são apresentados (publicado originalmente na Revista Brasileira de Ensino de Física v. 24, n. 2, p. 97-101 (2002)).

dessas imagens, bem como, para que outros alunos e professores possam compartilhar de suas experiências proporcionando uma atividade colaborativa.

Fundamentação teórica: O uso do computador no processo ensino/aprendizagem

Duas teorias se destacam como básicas para o desenvolvimento, seleção e uso do computador na educação [5]: uma com base behaviorista e outra com base construtivista.

Na visão behaviorista, o professor é visto como manipulador do ambiente de aprendizagem. As aulas são planejadas passo a passo, tal que haja estímulo – resposta e reforço para atingir um objetivo. A modificação do comportamento do aluno é através do condicionamento. O ambiente de aprendizagem é estruturado rigidamente a fim de que o aluno possa ser moldado para adquirir mudanças desejáveis (aprendizagem). O aluno é um receptor de conhecimento e o professor o transmissor.

Em contraste à visão behaviorista, a visão construtivista vê a educação como inseparável da vida real. O papel do professor é monitorar o crescimento cognitivo e o amadurecimento do aluno, contribuindo para a construção pessoal do aluno [6]. De acordo com Simon [7] a aprendizagem construtivista é necessariamente: ativa (desenvolvida com base na experiência), acumulativa, integrativa, reflexiva e os aprendizes determinam os objetivos da aprendizagem.

O aluno desenvolve a sua própria imagem e usa isso para construir novo conhecimento, fundamentado no seu conhecimento anterior e habilidades [8]. A aprendizagem, segundo Kosman [9], é um processo ativo e construtivo por meio do qual o aprendiz gerencia os recursos cognitivos disponíveis para criar um novo conhecimento extraindo informações do ambiente. É também colaborativa no sentido de promover colaboração com outros para mostrar perspectivas múltiplas de um problema particular ao chegar a posições individuais [10].

O uso do computador no processo ensino/aprendizagem, apresenta dois enfoques [11]:

aprendendo do computador e aprendendo com o computador (ferramentas mentais ou cognitivas).

Aprendendo do computador

O computador é programado para o aluno adquirir conhecimentos ou habilidades pré-estabelecidas. Como exemplo, temos:

- Exercício e prática (*drill and practice*): muito usado nos anos 70 e 80 e ainda hoje, incorporava a visão behaviorista de Skinner de reforço de associações de estímulo e resposta. Os aprendizes resolviam os problemas, entravam com as respostas e já tinham uma realimentação da acuracidade da sua resposta, promovendo uma automaticidade. Ainda hoje esse tipo de programa é usado para aprender línguas, memorizar informações, cursos nas empresas, aprender computação e outros.

- Tutorial: este programa tem como finalidade responder às diferenças individuais na aprendizagem, fornecendo instrução de reforço, quando os alunos respondem incorretamente. A limitação dos tutoriais é que os alunos adquirem um conhecimento pronto.

- Sistemas Tutoriais Inteligentes (TI): desenvolvidos nos anos 80 e 90 por pesquisadores de Inteligência Artificial (IA) para ensinar a resolver problemas e adquirir conhecimento. O que é acrescentado ao Tutorial são modelos especialistas que descrevem o raciocínio ou estratégias que um especialista usaria para resolver um problema.

Aprendendo com o computador

O computador pode ser utilizado como uma ferramenta auxiliar na aprendizagem. Através de ferramentas mentais (*mindtools*) ou cognitivas, o aprendiz dentro de um contexto real constrói seu conhecimento de uma forma intelectual (crítico, criativo, e pensamento de alta ordem) e social (cooperação). As ferramentas cognitivas que podem ser usadas no processo de ensino/aprendizagem via computador são: planilhas, banco de dados, e-mail, Web, fórum de discussão, programação de computador, hipermídia, hipertexto, e ambientes de aprendizagem envolvendo várias ferramentas. O autor apresenta várias ferramentas que, em grau maior ou menor podem ser usadas.

Um ambiente de aprendizagem pode ser criado, utilizando os recursos já citados anteriormente e mais: *software* que simula o mundo real fornecendo aos alunos uma experiência direta, envolvendo-os como aprendizes ativos e podendo fazer hipóteses e observar os efeitos dessas hipóteses [12]; linguagem de computador como a linguagem LOGO que é uma linguagem de programação interativa para todas as idades com recursos poderosos tais como métodos, recursão e a manipulação de programas como dados, fornecendo um ambiente de programação interativo [13] [14]; situação desafiadora em que o aluno precisa pesquisar na Web ou consultar um banco de dados para resolvê-la; e outros.

Metodologia

Os movimentos reais ou os obtidos no laboratório são filmados pelos alunos com uma câmera de vídeo para registro do movimento e após a captura da imagem para o computador, utiliza-se o *software* SAM para a análise quantitativa desse movimento. Essas imagens também podem ser capturadas da televisão. Foram filmados movimentos do cotidiano e os simulados no laboratório tais como: movimento de um carro na rua, movimento de uma pessoa andando, movimento de uma bola em um jogo de futebol, vôlei, tênis, ping-pong, movimento de uma bola em queda livre, movimento de um projétil, movimento de um pêndulo e outros.

Utilizando o *software* SAM, o arquivo do filme com extensão avi é mostrado quadro a quadro e os alunos podem obter os dados referentes à posição do objeto, assinalando essas posições com o “marcador” e medindo a distância com uma “régua virtual”. O intervalo de tempo entre um quadro e outro é mostrado no próprio *software*. Sendo a captura, por exemplo, realizada a 30 quadros/s, o tempo entre um quadro e outro será 1/30 s.

Ao analisarem as medidas quantitativas dos movimentos, os alunos, sob a orientação dos professores, vão descobrindo quando que um movimento é acelerado ou não, unidimensional ou bidimensional, qual o tipo de trajetória (retilínea, circular ou parabólica).

Com os valores dos parâmetros calculados (espaço, tempo, velocidade, aceleração e outros), os alunos preenchem uma tabela via Internet, programada em Perl, que

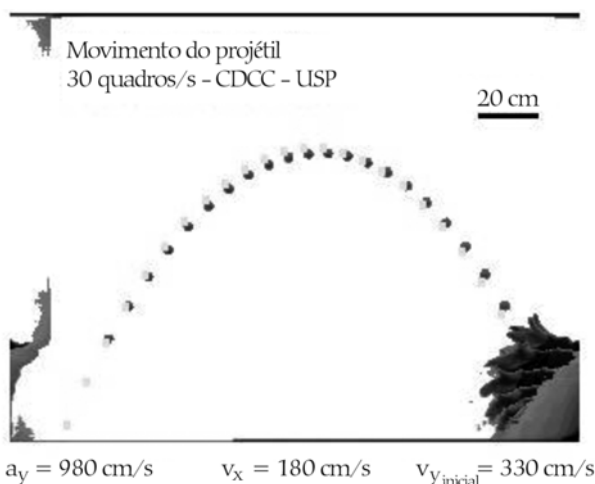


Figura 1. Trajetória do cursor do LOGO - “tartaruga” - (em cinza) aproximadamente coincidente com a trajetória da bola (em preto).

corrige os valores *on-line*, e simultaneamente essa tabela é enviada ao professor distante (da equipe do CDCC), que discute, através de *e-mail*, os valores físicos encontrados.

Os alunos também aprendem a programar os movimentos em linguagem LOGO e a executar o programa sobre a imagem bmp com estrobo (Figura 1) ou com as posições assinaladas, obtida no SAM [15].

Banco de imagens

As filmagens de diferentes movimentos elaboradas pelos professores e alunos das escolas públicas e pela equipe do CDCC estão armazenadas em um Banco de Imagens. A finalidade desse Banco de Imagens é a de compartilhar experiências entre alunos e professores de diferentes localidades proporcionando uma atividade colaborativa, bem como, facilitar o acesso a essas imagens aos alunos e professores que não possuem equipamentos necessários para a realização das filmagens. Com o Banco de Imagens é possível utilizar o *software* SAM compartilhando imagens entre alunos e entre professores.

São partes integrantes do Banco de Imagens as Figuras 2 a 6 exibidas a seguir. O Banco de Imagens está disponível na Internet, no *site* do SAM [15]. Nesse *site* também são encontrados os manuais do *software* SAM e da câmera de vídeo, a fundamentação teórica, os programas dos movimentos em linguagem LOGO, os roteiros experimentais e as tabelas *on-line*.



Figura 2. Movimento de uma pessoa andando na rua.



Figura 3. Medidas - cuba de ondas.



Figura 4. Looping.

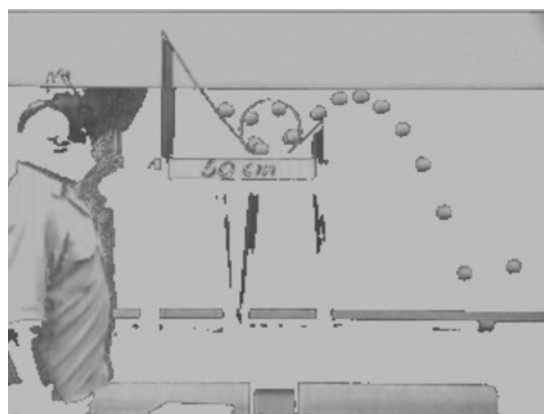


Figura 5. Looping - estrobo.



Figura 6. Movimento de uma bola de futebol. Exemplo:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{bola/campo}} &= V_{\text{bola/câmera}} + V_{\text{câmera/campo}} = \\
 &= 6,95 / (4/15) + 0,68 / (4/15) = \\
 V_{\text{bola/campo}} &\sim 26,0 \text{ m/s} = 96,0 \text{ km/h}
 \end{aligned}$$

- avaliação formativa dos alunos e dos professores das escolas públicas participantes, relacionada à utilização do *software* em sala de aula, dificuldades apresentadas, apreensão dos conceitos científicos dos alunos e outros (17).

Análise dos resultados

a) A Figura 7 mostra dados quantitativos obtidos durante a Avaliação Formativa do Curso utilizando o SAM para 33 alunos da E.E. Tomas Whately de Ribeirão Preto-SP [18].

b) Os dados qualitativos obtidos da avaliação do *software* SAM pelos professores das escolas públicas mostraram que, para os quatro professores das escolas públicas, além do *software* possibilitar o estudo de situações do cotidiano do aluno facilitando a aprendizagem, sentiram-se entusiasmados com a captura de imagens e o recurso de estrobo permitido pelo SAM. A Figura 8 mostra os resultados quantitativos obtidos da avaliação do *software* SAM pelos professores das escolas públicas, onde 1- Muito Fraco, 2 -Fraco, 3 - Médio, 4 - Bom e 5 - Muito Bom [19].

c) Os dados qualitativos obtidos na avaliação aplicada no mini-curso do SAM mostraram que os professores da região de São Paulo, participantes do Programa Pró-Ciências-FAPESP, acharam que seria necessário mais tempo para o mini-curso. Com relação ao SAM, gostaram de suas ferramentas e do fato de trabalhar com imagens reais. A Figura 9 exibe os dados quantitativos sobre o *software* SAM obtidos de 12 questionários respondidos durante a avaliação aplicada no mini-curso do SAM, ministrado para 26 professores da região de São Paulo partici-

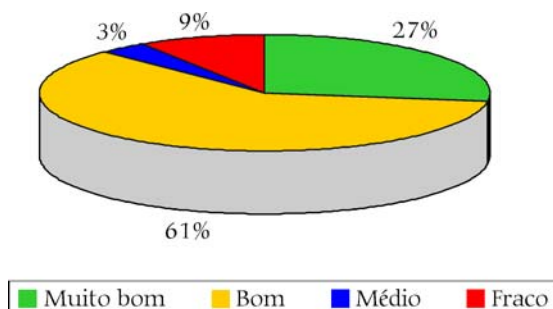


Figura 7. Avaliação do uso do *software* SAM pelos alunos da E.E. Tomas Whately, Ribeirão Preto-SP (2001) [18].

Avaliação do projeto

O projeto está em avaliação contínua elaborada a partir de Magalhães [16] onde foram aplicados métodos de avaliação quantitativos - através de questões fechadas - e qualitativos - através de questões abertas. Na análise dos dados quantitativos foi utilizada a escala Likert de 5 pontos, onde 1 - Muito Fraco, 2 - Fraco, 3 - Médio, 4 - Bom e 5 - Muito Bom [16]. As avaliações realizadas no decorrer do projeto foram as seguintes:

- avaliação diagnóstica dos alunos das escolas públicas para levantar as concepções espontâneas dos alunos de espaço, tempo, velocidade e dos pré-requisitos de matemática necessários para o desenvolvimento do conteúdo;
- avaliação do projeto pelos professores dos mini-cursos;

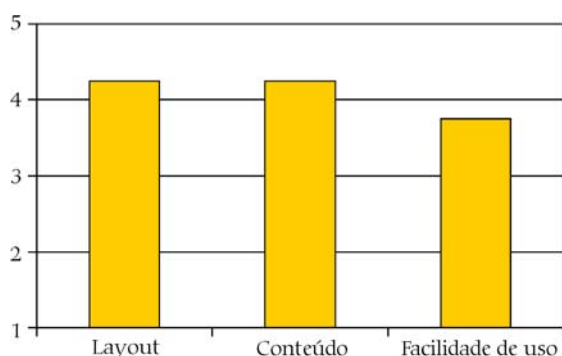


Figura 8. Avaliação do *software* SAM pelos quatro professores participantes do projeto, no ano de 2001 [19].

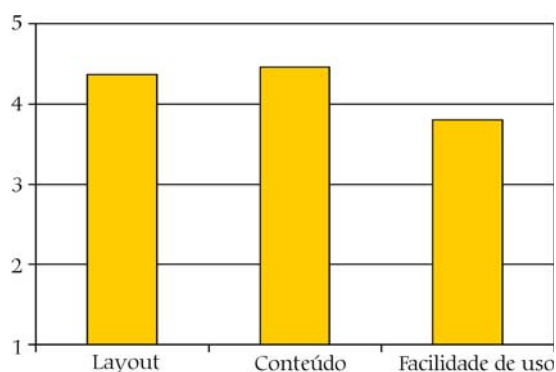


Figura 9. Avaliação do *software* SAM pelos professores da região de São Paulo participantes do Programa Pró-Ciências-FAPESP (2001) [20].

pantes do Programa Pró-Ciências, nas dependências da PUC/SP, onde 1 - Muito Fraco, 2 - Fraco, 3 - Médio, 4 - Bom e 5 - Muito Bom [20].

d) Durante o desenvolvimento deste projeto nas escolas parceiras pudemos averiguar dificuldades em acessar a Internet, além de haver poucos computadores nas mesmas.

Conclusões

A avaliação diagnóstica realizada nas escolas públicas participantes mostrou que os alunos apresentam falta de pré-requisitos em Matemática, sendo necessário que os professores de Física complementem esses durante as suas aulas.

Na avaliação quantitativa do *software* SAM realizada pelos professores e pelos alunos, foram obtidos dados os quais mostraram o uso do *software* como sendo bom.

O ambiente de aprendizagem utilizando o *software*, considerando as atividades desenvolvidas pelos professores nas escolas públicas participantes, foi avaliado parcialmente, e foi observado que o aluno fica motivado, procurando interpretar o mundo real porque os movimentos analisados fazem parte do seu cotidiano, facilitando a aprendizagem das concepções científicas, indicando que o *software* pode ser uma ferramenta cognitiva para o aluno.

Agradecimentos

Agradecemos aos professores bolsistas da Rede de Ensino Público participantes do Projeto: Marco Aurélio Pillegi de Souza, Pedro Antonio Jucosky, José Alexandre Machado e Maria Fernanda do Carmo Gurgel; ao apoio da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) e à equipe do CDCC/USP (Centro de Divulgação Científica e Cultural da USP).

Referências

- [1] J. Hewit; C. Brett and M. Scardamaglia, *Design Principles for Support of Distributed Processes*. Available on the WWW at: <http://csile.oise.on.ca/abstracts/distributed/>.
- [2] B.H. Khan, *Web-Based Instruction* (Educational Technology Publications Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1997).
- [3] T.K. Glennan and Melmed A. *Fostering the Use of Educational Technology: Elements of a National Strategy* (RAND, Santa Monica, CA, 1996).
- [4] Physical Science Committee (PSSC). *Física Parte II* (Livros Técnicos e Científicos, 1965).

- [5] R.C. Forcier, *The Computer as Educational Tool – Productivity in Problem Resolving*. (Prentice Hall, 1999), 2nd ed.
- [6] A. Villani and J.L.A. Pacca, Rev. Fac. de Educ. **23**, 1 (1997).
- [7] P.R.J. Simon, *Constructive Learning: The Role of the learner*, edited by T.M. Duffy, and D.J. Perry, *Constructivism and The Tecnology of Instruction – A Conversation* (1993).
- [8] T.M. Duffy and D.H. Jonassen, *Constructivism and the Tecnology of Instruction* (Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hillsdale, 1992).
- [9] R.B. Kosman, Review of Educational Research **61**, 2 (1991).
- [10] T.M. Duffy and D.J. Cunningham, *Constructivism Implications for the Design and Delivered of Instruction*, edited by D.H. Jonassen, *Educational Communications and Tecnology* (Macmillan Library Reference, New York, 1996).
- [11] D.H. Jonassen, *Computers in the Classroom – Mindtool for Critical Thinking* (Prentice Hall Inc. New Jersey, 1996).
- [12] C.K. Schank and D.J. Edelson, J. of Artif. Intellig. Winter (1990).
- [13] J. Muller, *The Great Logo Adventure – Discovering Logo on and off the Computer* (Doone Publications, Madison, AL, USA, 1997).
- [14] S. Papert, *Logo: Computadores e Educação* (Brasiliense, São Paulo, 1988).
- [15] <http://educar.sc.usp.br/sam> – Software para Análise de Movimentos – SAM.
- [16] Magalhães, M.G.M. *Estudo e Avaliação de Educação à Distância utilizando a Tecnologia WWW*. Dissertação de Mestrado. São Carlos, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, (1997).
- [17] Schiel, D. *Rede de Ensino de Física à Distância – Parte II. Análise Quantitativa de Movimentos: Uma atividade para alunos do Ensino Médio*. Relatório FAPESP (2001).
- [18] Magalhães, M.G.M. *Avaliação Formativa do Curso utilizando o SAM pelos alunos*. São Carlos. Relatório Técnico CDCC-USP, 2 (2001).
- [19] Magalhães, M.G.M. *Avaliação do SAM pelos professores das escolas do projeto Análise Quantitativa de Movimentos/ FAPESP*. São Carlos. Relatório Técnico CDCC-USP, 3 (2001).
- [20] Magalhães, M.G.M. *Avaliação do mini-curso e do software SAM pelos professores do Programa Pró-Ciências/FAPESP*. São Carlos. Relatório Técnico CDCC-USP, 4 (2001).



.....
C.E. Aguiar e F. Laudares
 Instituto de Física, Universidade
 Federal do Rio de Janeiro, Rio de
 Janeiro, RJ

Introdução

O computador é um ótimo instrumento de laboratório. Ele presta-se muito bem a experiências que envolvem medidas de tempo, aquisição de dados em grandes quantidades, e tratamento de dados em tempo real [1]. Apesar de todas essas características favoráveis, os computadores têm sido pouco usados nos laboratórios didáticos. E quando isso ocorre, é quase sempre com o auxílio de “kits” pré-fabricados – pacotes de circuitos eletrônicos e programas produzidos por empresas especializadas, vendidos a preços relativamente altos, e que muitas vezes operam como verdadeiras caixas-pretas. Em geral é difícil usar esses pacotes para realizar experimentos diferentes daqueles para os quais eles foram projetados, o que limita a sua utilidade didática [2]. Essa falta de flexibilidade tem origem, em parte, nos programas de aquisição e tratamento de dados contidos nos kits, que raramente podem ser modificados ou mesmo compreendidos por professores e estudantes.

Neste trabalho descrevemos como montar um sistema de aquisição de dados simples, de baixo custo, utilizável em laboratórios didáticos da escola média, e que dá a alunos e professores controle completo sobre o seu uso. O sistema está baseado na substituição do joystick, em geral usado para controlar jogos no computador, por sensores que podem ser utilizados em uma grande variedade de experiências. A idéia de usar a interface de jogos para aquisição de dados não é nova. Entretanto, propostas anteriores [3, 4, 5] utilizavam computadores que não existem mais, como o Apple II e MSX, ou programas de aquisição escritos em linguagens pouco usadas hoje, como Pascal e Basic (que deram origem ao Delphi e VisualBasic, muito populares mas pouco apropriados ao Ensino Médio). Uma implementação recente

Descrevemos um sistema de aquisição de dados baseado na porta de jogos do IBM-PC com plataforma Windows. Os programas de aquisição e análise são totalmente escritos na linguagem Logo. O sistema é utilizado para medir o período de um pêndulo como função da amplitude de oscilação (publicado originalmente na Revista Brasileira de Ensino de Física v. 23, n. 4, p. 371-380 (2001)).

dessa idéia pode ser encontrada na Ref. [6], com programas de aquisição escritos em C e QBasic. No que se segue descreveremos como montar um sistema de aquisição de dados a partir da porta de jogos de um IBM-PC com plataforma Windows (95/98/ME), usando programas totalmente escritos em Logo. Esta é uma linguagem simples, desenvolvida para uso didático, e que freqüentemente é ensinada na escola fundamental e média. Com isso todos os aspectos do sistema que descrevemos podem ser compreendidos e modificados por estudantes e professores, proporcionando-lhes uma grande flexibilidade no planejamento e execução de experimentos. A versão do Logo que utilizamos é o SuperLogo, produzido pelo Núcleo de Informática Aplicada à Educação (NIED) da Unicamp [7]. Essa versão tem os comandos em português, e é distribuída gratuitamente via Internet. Uma proposta semelhante à deste trabalho, usando o MSWLogo (em inglês) [8], pode ser encontrada em Fuller [9].

O motivo principal para se usar a porta de jogos em um laboratório didático é a segurança e facilidade com que podemos conectar sensores a essa interface. Um joystick é essencialmente um conjunto de resistências variáveis cujos valores são lidos a cada momento pelo computador. Substituindo o joystick por um componente eletrônico cuja resistência dependa da grandeza física que queremos medir (temperatura ou intensidade luminosa, por exemplo) podemos monitorar essa grandeza, registrar a sua evolução temporal em intervalos muito pequenos, e manipular quantidades de dados que dificilmente seriam alcançáveis em um laboratório didático convencional.

A porta de jogos

O joystick

O tipo mais comum de joystick para IBM-PC são os joysticks analógicos. Estes joysticks têm dois botões e dois potenciômetros cujas resistências vão de 0 a 100 k Ω (em alguns casos até 150 k Ω). O movimento esquerda-direita do joystick (eixo X) muda a resistência de um dos potenciômetros, e o movimento frente-trás (eixo Y) muda a resistência do outro. Em geral as resistências são nulas quando o joystick está todo para a esquerda e para a frente. Um esquema do joystick está mostrado na Figura 1. Os dois botões estão representados pelas chaves A e B, e X e Y são os potenciômetros já mencionados. A tensão de 5 V e o aterramento não são fornecidos pelo joystick, mas pela porta de jogos à qual ele é conectado.

A porta de jogos

A porta de jogos do IBM-PC é uma interface para dois joysticks analógicos, embora exista a conexão para apenas um deles. O uso simultâneo de dois joysticks só é possível com um cabo especial em forma de 'Y'. O joystick é conectado à parte traseira do computador via um soquete de 15 pinos, como o mostrado na Figura 2.

A porta de jogos não faz parte da "placa mãe". Em geral ela é implementada em uma placa própria ou, mais freqüentemente, colocada na placa de som. Neste último caso o conector tem dois dos seus 15 pinos dedicados à porta MIDI (*Musical Instruments Digital Interface*). Os outros pinos dão acesso aos quatro botões e quatro potenciômetros

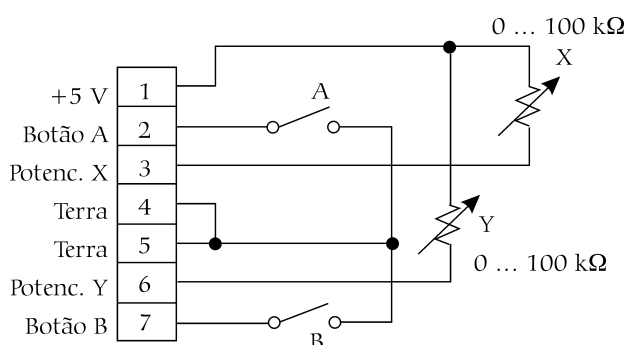


Figura 1. Esquema de um joystick.

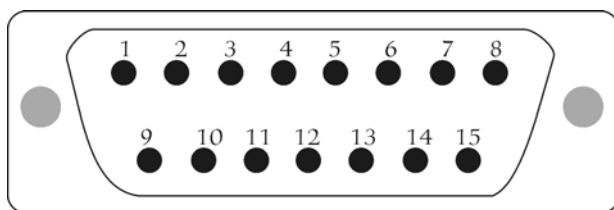


Figura 2. O soquete onde é conectado o joystick.

botões (A e B) e dois potenciômetros (X e Y). Assim A1 é o botão A do joystick 1, X2 é o potenciômetro X do joystick 2, etc. Muitos joysticks dão acesso aos 4 botões. Nestes casos A1 e B1 referem-se aos botões principais, e A2 e B2 aos secundários.

Como a porta de jogos trabalha

A Figura 3 mostra os circuitos ligados a cada um dos 15 pinos da porta de jogos. Os circuitos conectam os botões e potenciômetros dos joysticks a 8 linhas b0...b7. Estas linhas alimentam 8 bits (1 byte), numerados respectivamente de 0 a 7, colocados no endereço de entrada/saída 513 (decimal). Os bits de 4 a 7 informam o estado dos botões de forma bastante direta. Como vemos na Figura 3, quando um botão é pressionado o potencial na linha de saída torna-se 0 V, o que coloca o bit correspondente no valor 0. Quando o botão é solto o potencial da linha sobe para 5 V e o valor do bit passa a ser 1.

Os bits de 0 a 3, correspondentes às linhas b0...b3, são usados para determinar a resistência dos potenciômetros. Essa determinação é mais complicada que no caso dos botões, e é feita com o auxílio de um circuito integrado, o NE558, composto basicamente por 4 “multivibradores monoestáveis” [12]. O circuito mantém os bits 0...3 com valor zero até que se escreva algo no endereço da porta. Nesse instante circuito descarrega os capacitores ligados ao potenciômetros e coloca os bits 0...3 no estado 1. Cada capacitor começa então a ser carregado através do seu potenciômetro, e o bit correspondente é mantido no valor 1 até que a tensão no capacitor atinja cerca de 3,3 V (2/3 do valor máximo 5 V). A partir daí o circuito coloca o bit de volta no estado 0. O tempo T durante o qual o bit permanece no estado 1 depende da resistência R do potenciômetro segundo a fórmula

$$T (\mu s) = 24,2 + 11 R(k\Omega)$$

Encontrando esse tempo obtemos a resistência do potenciômetro. A medida de tempo pode ser feita com um programa simples de contagem [5, 9]. Tal programa deve ser muito rápido, e portanto não pode ser escrito em uma linguagem interpretada como Logo. Por isso o SuperLogo tem um comando especial para determinar o tempo T , que será discutido mais à frente. Observe que com $R = 100 k\Omega$ gastamos aproximadamente 1 ms em uma medida de resistência. Note também que se não houver nada conectado a uma determinada linha ($R = \infty$) o bit correspondente pode ficar indefinidamente com valor 1.

(dois eixos X e dois Y) correspondentes aos dois joysticks, a um potencial de +5 V, e a um terra. Esta porta é muito segura, mas devemos tomar cuidado com curto-circuitos entre o potencial de 5 V e o terra.

A função dos pinos da porta de jogos pode ser vista na Tabela 1. Cada um dos joysticks (que chamamos 1 e 2) tem dois

Tabela 1. Pinos da interface de jogos.

Pino	Função
1	+5 Volts
2	Botão A1
3	Potenciômetro X1
4	Terra
5	Terra
6	Potenciômetro Y1
7	Botão B1
8	+5 Volts (ou sem uso)
9	+5 Volts
10	Botão A2
11	Potenciômetro X2
12	Terra (ou porta midi)
13	Potenciômetro Y2
14	Botão B2
15	+5 Volts (ou porta midi)

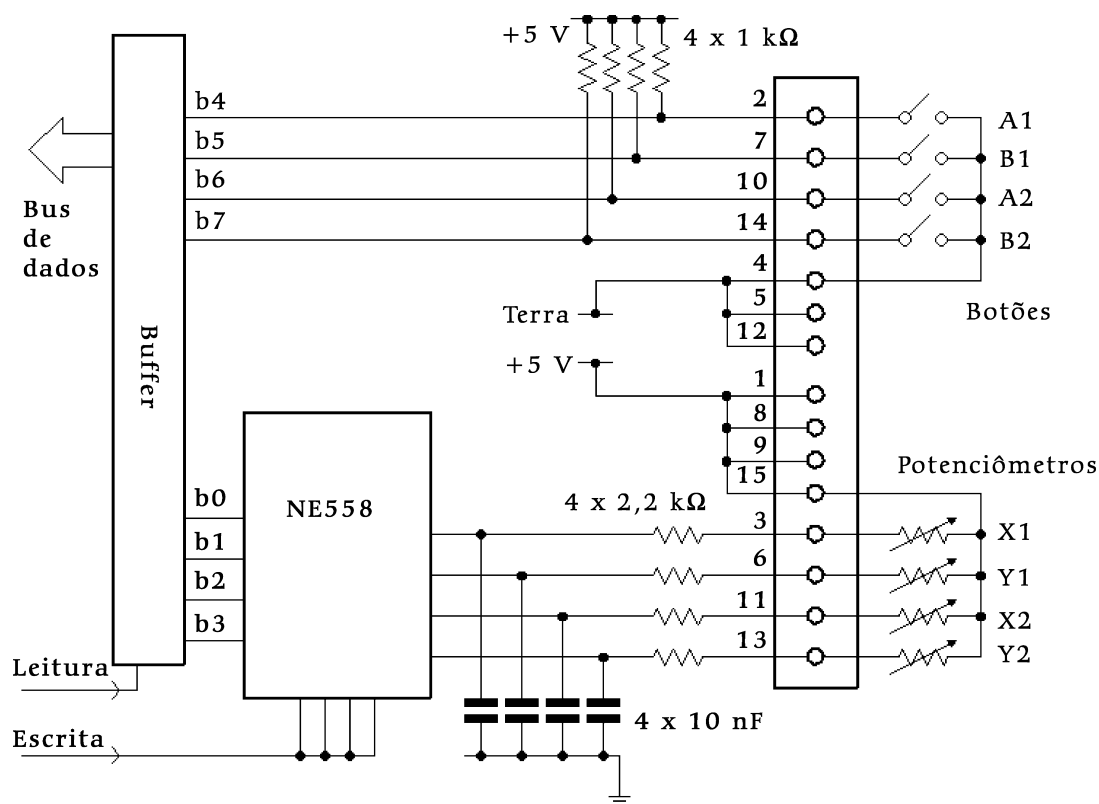


Figura 3. Esquema da porta de jogos.

A Tabela 2 resume como o estado dos joysticks é mapeado no byte da porta. A numeração dos bits, de 0 a 7, corresponde à significância deles no byte (os de menor índice estão “à direita” dos de maior índice).

Lendo a porta de jogos

Muitas versões do Logo têm comandos que lêem a porta de jogos. No SuperLogo isso é feito com `portaentradab 513`, onde 513 é o endereço da porta de jogos (512 também serve). Se tivermos um joystick conectado à porta e executarmos a instrução

```
mostre portaentradab 513
```

obteremos o byte da porta, ou melhor, a sua representação decimal (um número decimal entre 0 e 255). Para obter o estado de cada uma das 8 linhas da porta (o valor de cada bit) devemos converter esse número para a representação binária. A maneira mais eficiente de fazer isso é usar a operação lógica *E*, definida por: $0E0 = 0$, $0E1 = 0$, $1E0 = 0$, $1E1 = 1$. Existe no SuperLogo uma operação, `bite`, que toma dois números inteiros como argumento e aplica a operação *E* a cada par de bits de mesma significância (mesma “posição” no byte). Por exemplo, aplicando `bite` aos números binários 1100 e 1010 obtemos 1000. Como o Logo só usa a representação decimal, essa operação é realizada com a instrução

mostre bite 12 10

já que $12_{\text{dec}} = 1100_{\text{bin}}$ e $10_{\text{dec}} = 1010_{\text{bin}}$. A resposta que o Logo apresenta é 8, pois $8_{\text{dec}} = 1000_{\text{bin}}$.

Então, se quisermos saber qual é o N -ésimo bit ($N = 0, 1, 2, \dots$) de um número X , basta fazer o bite de 2^N com X . Todos os bits de 2^N valem 0, com exceção do N -ésimo bit que vale 1. Portanto, se o N -ésimo bit de X for 0 o resultado da operação será 0. Se o N -ésimo bit for 1 o resultado será 2^N . Por exemplo, para saber se o botão A1 (que corresponde ao bit 4) está apertado ou não, tomamos o bite de $2^4 = 16$ com a leitura da porta:

mostre (bite 16 portaentradab 513)/16

Se o botão estiver apertado o resultado será 0, e se ele estiver livre o resultado será 1. Para saber o valor de cada um dos 8 bits da porta, basta aplicar o procedimento acima para $N = 0, 1, 2, 3, \dots, 7$, o que corresponde a usar 1, 2, 4, 8, ..., 128 em bite. Isto pode ser feito com a instrução

mostre mapeie[(bite ? portaentradab 513)/?] [128 64 32 16 8 4 2 1]

que produz uma lista com o valor dos oito bits da porta.

Com esses procedimentos podemos usar os botões do joystick para controlar programas Logo. E o que é mais importante, podemos monitorar sensores externos. Por exemplo, fotodiodos e fototransistores são componentes eletrônicos que conduzem corrente dependendo da incidência de luz (veja “Conectando sensores à porta de jogos”). Substituindo um botão do joystick por algum desses fotosensores, podemos usar o computador para monitorar se o sensor está sendo iluminado ou não.

Medindo resistências com a porta de jogos

Como já comentamos, a resistência de um potenciômetro do joystick é obtida medindo-se o tempo que o bit correspondente permanece com valor 1. Esse tempo é tipicamente menor que alguns milissegundos. Fazer um programa em Logo para medi-lo não é eficiente, pois tal programa seria muito lento. Para realizar essa medida o SuperLogo tem uma função especial, `portajoystick :M`. Esta fornece o tempo que um bit da porta de jogos, especificado pela variável M , permanece no estado 1. Os valores $M = 1, 2, 4, 8$ correspondem aos bits 0, 1, 2, 3, ou seja, aos potenciômetros X1, Y1, X2, Y2. Por exemplo, para medir a resistência de X1 executamos a instrução

mostre portajoystick 1

Devemos ter algum cuidado ao tentar medir os potenciômetros X2 e Y2. Como eles quase nunca estão ligados à porta (pois o segundo joystick raramente é usado) a resistência que é encontrada é infinita, e o tempo a ser medido também. Nesse caso o comando `portajoystick` fornece o valor -1, mas pode levar muito tempo (até alguns minutos, dependendo do computador) para fazer isso.

Tabela 2. Bits da porta de jogos.

Bit	Joystick	Valor
7	Botão B2	0=fechado, 1=aberto
6	Botão A2	0=fechado, 1=aberto
5	Botão B1	0=fechado, 1=aberto
4	Botão A1	0=fechado, 1=aberto
3	Potenciôm. Y2	1=medindo, 0=inerte
2	Potenciôm. X2	1=medindo, 0=inerte
1	Potenciôm. Y1	1=medindo, 0=inerte
0	Potenciôm. X1	1=medindo, 0=inerte

O tempo fornecido por `portajoystick` não está em unidades predeterminadas. Mas, como já vimos, esse tempo varia linearmente com a resistência, o que é suficiente para muitas aplicações. De qualquer forma, usando resistências conhecidas é possível calibrar a saída de `portajoystick`. Com esse comando podemos utilizar o “manche” do joystick para controlar programas Logo. E, principalmente, podemos monitorar a resistência de sensores externos como fotoresistores e termistores (resistores dependentes de luz e temperatura, veja “Conectando sensores à porta de jogos”) colocados no lugar dos potenciômetros.

A medida de tempo

Agora que já sabemos ler a porta de jogos, o próximo passo é registrar a evolução temporal dos sinais que ela recebe. Para isso precisamos aprender a medir o instante em que o sinal foi lido. No SuperLogo isso pode ser feito com o comando `tempomili`, que fornece o tempo em milissegundos decorrido desde que o sistema operacional (Windows) foi iniciado. Executando a instrução

```
mostre tempomili
```

obtemos a quantos milissegundos o Windows está operando. É importante saber que o tempo fornecido por `tempomili` não é atualizado a cada milissegundo, mas em intervalos cuja magnitude depende do computador e da configuração do sistema. Resoluções temporais típicas de `tempomili` estão na faixa de 3 a 15 ms.

Quando lemos apenas o estado dos botões, é possível obter uma resolução temporal melhor do que a citada acima. Quer o botão esteja aberto ou fechado, uma medida do seu estado leva sempre o mesmo tempo para ser realizada. Como esse tempo é bem menor que a resolução temporal de `tempomili`, podemos usar a contagem de medidas como relógio. O intervalo de tempo entre duas medidas sucessivas é calculado dividindo o tempo total de aquisição, que pode ser medido com `tempomili`, pelo número de medidas realizadas. Esse procedimento não pode ser utilizado se lemos um potenciômetro (via `portajoystick`) pois, como já vimos, nesse caso a duração da medida depende do valor da resistência.

Conectando sensores à porta de jogos

No lugar dos botões e potenciômetros do joystick, podemos conectar à porta de jogos componentes eletrônicos de resistência variável e usá-los como sensores. Nesta seção discutiremos rapidamente alguns desses componentes: o termistor NTC, o fotoresistor, o fotodiodo e o fototransistor [12, 13].

Termistores

O termistor é um componente eletrônico cuja resistência varia consideravelmente com a temperatura. Em geral os termistores são do tipo NTC (*Negative Temperature Coefficient*), para os quais a resistência diminui com o aumento da temperatura. Um termistor NTC é feito de material semicondutor, e é tipicamente utilizado na faixa de temperaturas entre $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A relação entre a resistência e a temperatura absoluta de um NTC (curva característica R/T) é altamente não-linear, e pode ser aproximada por $R = \alpha \exp(\beta/T)$. Medindo a resistência para duas temperaturas diferentes podemos obter as constantes α e β e construir uma curva de calibração razoavelmente precisa. A resistência de um NTC é geralmente especificada a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, e na maioria dos casos está entre $100\text{ }\Omega$ e $100\text{ k}\Omega$.

Tipicamente, a sensibilidade a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ é da ordem de $-4\%/^{\circ}\text{C}$.

Fotoresistores

O fotoresistor, também chamado de célula fotocondutora, fotocélula, ou LDR (*Light Dependent Resistor*) possui uma resistência que depende da quantidade de luz que ele recebe. No escuro os fotoresistores têm resistência elevada, tipicamente na faixa de $M\Omega$. Quando são expostos à luz, a resistência diminui por ordens de magnitude. Sua desvantagem como sensor está na lentidão de resposta, que chega a décimos de segundo – uma fotocélula pode não perceber o “pisca-pisca” de 60 Hz de uma lâmpada fluorescente.

Fotodiodos

O fotodiodo é um diodo semicondutor em que a junção está exposta à luz. A corrente reversa de um fotodiodo aumenta linearmente com a incidência de luz, como pode ser visto nas curvas características I/V da Figura 4. No escuro, a corrente reversa é muito pequena, geralmente da ordem de nA. Observe que as curvas características passam pelo quarto quadrante ($V \times I < 0$), de modo que o fotodiodo pode produzir energia elétrica – as células solares são um tipo de fotodiodo.

Os fotodiodos são úteis como sensores de radiação visível e infravermelha. A resposta espectral (sensibilidade a diferentes comprimentos de onda) de um fotodiodo de silício atinge o máximo em torno 900 nm, no infravermelho. Alguns fotodiodos têm coberturas que filtram a luz visível ou a radiação infravermelha.

As correntes obtidas com um fotodiodo são geralmente baixas, menores que 100 μA para uma incidência luminosa de 1 mW/cm^2 . Com isso não podemos usar um fotodiodo diretamente no lugar de um botão do joystick. Como vemos na Figura 3, com o botão apertado passam pelo circuito cerca de 5 mA (na verdade ~ 4 mA já são interpretados como “botão apertado” pela

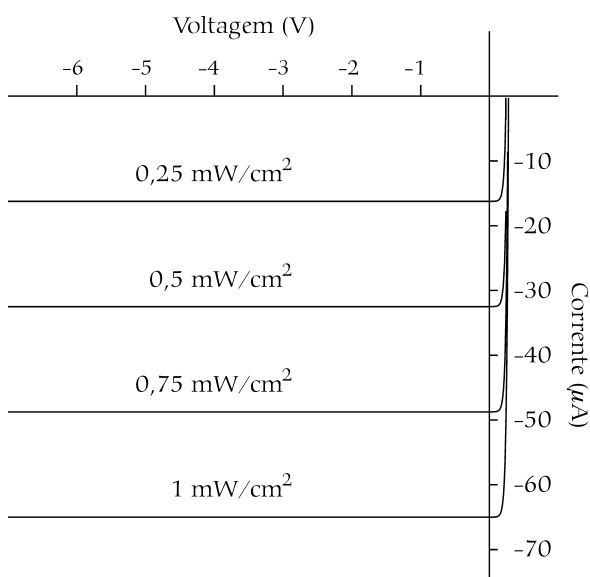


Figura 4. Curvas características I/V de um fotodiodo, para diferentes intensidades luminosas. Os valores mostrados são apenas representativos; dependendo do tipo, fotodiodos têm sensibilidades diferentes. Note que o fotodiodo opera com polarização reversa.

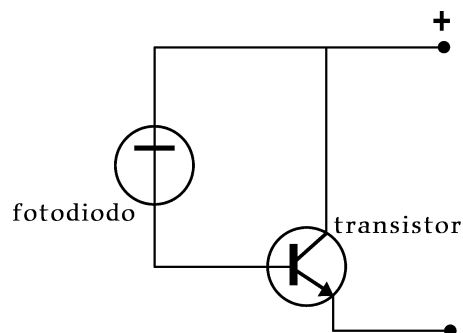


Figura 5. Circuito para amplificar a corrente de um fotodiodo.

porta). Para obter correntes dessa magnitude temos que amplificar o sinal do fotodiodo, ligando-o a um transistor como está mostrado na Figura 5.

Fototransistores

Os fototransistores são transistores com a junção coletor-base exposta à luz. Fototransistores são bem mais sensíveis que fotodiodos, gerando correntes da ordem de mA quando iluminados a 1 mW/cm^2 . Um fototransistor com “ganho” suficientemente alto pode ser usado diretamente no lugar de um botão do joystick. Caso contrário um circuito semelhante ao da Figura 5 (um *photodarlington*) pode ser usado para amplificar a corrente.

Aplicação: Período do pêndulo a grandes oscilações

A montagem do experimento

O objetivo da experiência é medir o período de um pêndulo como função da amplitude de oscilação. O aparato utilizado está mostrado na Figura 6. O movimento do pêndulo é monitorado a partir das interrupções que a sua passagem causa no feixe luminoso que vai da lâmpada ao fotosensor.

Usamos como detetor o conjunto fotodiodo-transistor discutido em “Fotodiodos”, iluminado por um LED infravermelho obtido em um controle remoto de TV. O fotodiodo foi tirado de um *mouse* sem uso, e a amplificação foi feita por um transistor NPN de uso genérico (BC548C). A Figura 7 mostra o sistema usado. O transistor está ligado à porta de jogos via os pinos 2 e 4 do conector, que correspondem ao botão A1 do joystick e ao terra (veja a subseção “A porta de jogos”, na seção de mesmo nome). Assim, quando o fotodiodo estiver no escuro, ou recebendo uma iluminação insuficiente, o transistor se comportará como uma chave aberta. Se o fotodiodo receber um sinal luminoso mais forte o transistor permitirá a passagem de uma corrente alta entre o pino 2 e o terra, simulando o apertar do botão do joystick. Portanto, quando o pêndulo passa entre o LED e o fotodiodo, deixando este último na sombra, o bit 4 da porta vale 1. Quando a luz atinge o fotodiodo o bit 4 passa a valer 0.

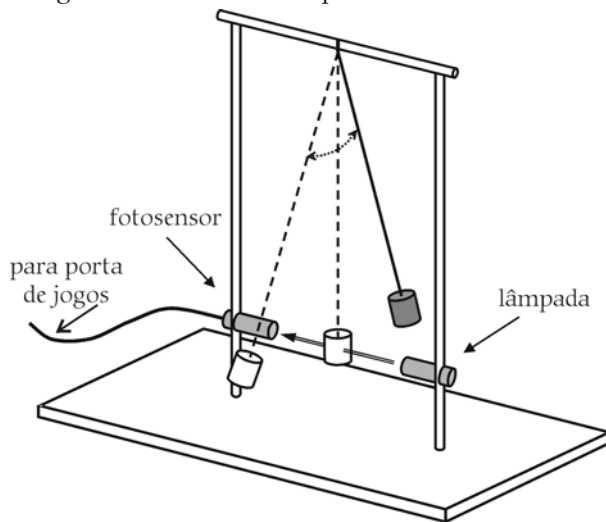


Figura 6. Esquema do arranjo experimental para medir o período de um pêndulo.

Ao oscilar, o pêndulo gera então um sinal como o mostrado na Figura 8. Registrando esse sinal podemos obter o período da oscilação, e o tempo Δt durante o qual o pêndulo esteve em frente ao fotosensor. A velocidade do pêndulo nesse ponto é dada por

$$V_0 = \frac{D}{\Delta t}$$

onde D é o diâmetro do objeto oscilante ou, mais exatamente, a distância que esse objeto percorre enquanto a porta recebe “1” como sinal. Essa distância pode ser medida independentemente, o que permite calcular V_0 . Como o fotosensor está em frente à posição de equilíbrio do pêndulo, V_0 é a velocidade máxima da oscilação. A velocidade angular correspondente é

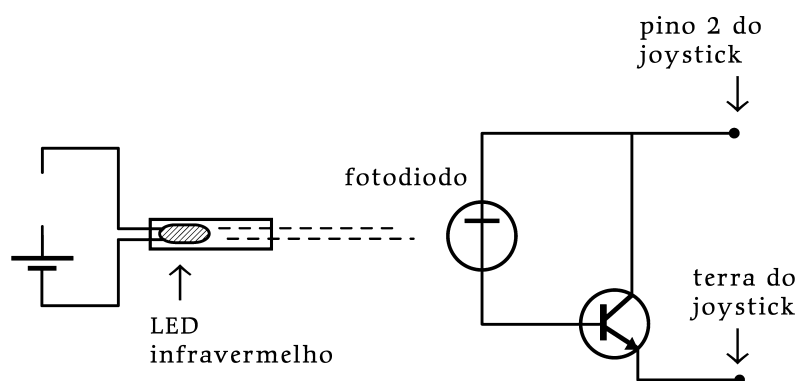


Figura 7. Diagrama do sistema de detecção. A “lâmpada” é um LED infravermelho e um fotodiodo é usado como sensor.

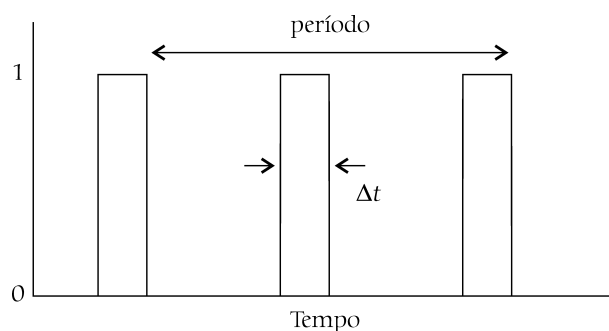


Figura 8. Sinal no detector gerado pela oscilação do pêndulo.

$$\Omega_0 = \frac{V_0}{R} = \frac{D/R}{\Delta t}$$

onde R é a distância do feixe luminoso ao ponto de fixação do pêndulo. Na nossa montagem $D = 3,3 \pm 0.1$ cm e $R = 48,8 \pm 0.5$ cm. Conhecendo Ω_0 podemos calcular o ângulo máximo de oscilação, $\Theta_{\max}$, dado por

$$\cos \Theta_{\max} = 1 - \frac{R_G}{2g} \Omega_0^2$$

onde R_G é o raio de giração do pêndulo e g é a aceleração da gravidade.

O programa de aquisição

O programa de aquisição que utilizamos (aquisicao) está listado abaixo. O parâmetro de entrada tmax determina a duração da aquisição de dados em milissegundos. O programa lê continuamente o tempo e o estado do botão A1, que corresponde ao pino da interface de jogos ligado ao fotosensor. A cada leitura os resultados são colocados nas variáveis t e $a1$, que em seguida são escritas em um arquivo chamado dados.txt. O valor de $a1$ é 0 quando o sensor está iluminado e 16 quando ele está no escuro.

```

aprenda aquisicao :tmax
abraparaescrever "dados.txt
mudeescrita "dados.txt
atribua "t0 tempomili
enquanto [:t < :tmax] ~
[
atribua "t tempomili-:t0
atribua "a1 (bite 16 portaentradab 513)
(escreva :t :a1)
]
mudeescrita []
fechearg "dados.txt
escreva [*** fim da aquisição ***]
fim

```

Para obter o período e amplitude de cada oscilação do pêndulo devemos analisar os dados contidos no arquivo gerado pelo programa de aquisição. Isso é feito pelo programa *analise*, mostrado no Apêndice, que calcula o período e a velocidade angular a cada passagem do pêndulo pela posição de equilíbrio.

Resultados experimentais

Mostramos a seguir os resultados de um experimento em que o movimento do pêndulo foi acompanhado durante 4 minutos. A Figura 9 mostra a velocidade angular máxima Ω_0 como função do tempo. O amortecimento da oscilação causado pelas forças de atrito é bem visível. O período das oscilações como função do tempo está apresentado na Figura 10. A diminuição do período reflete a sua dependência na amplitude que, como vimos, é gradativamente reduzida

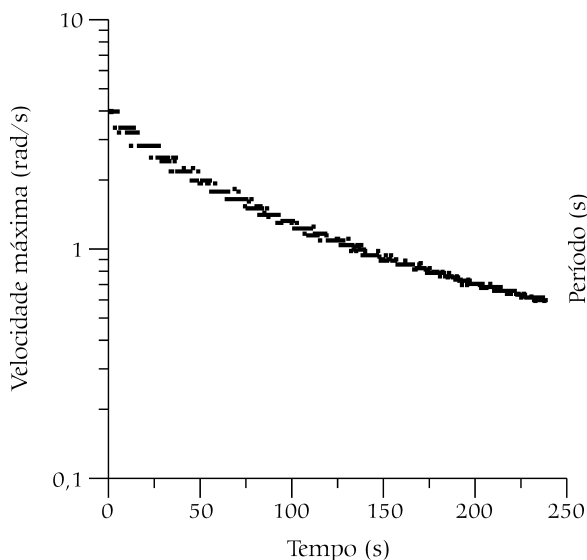


Figura 9. A velocidade angular máxima como função do tempo.

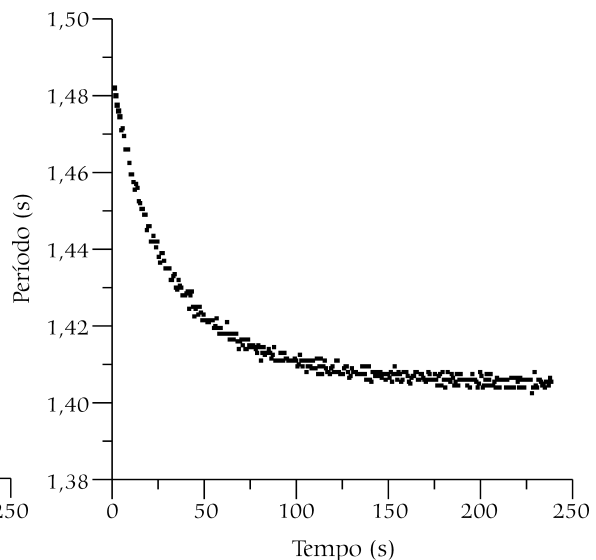


Figura 10. O período como função do tempo.

pelos atritos. A estabilização do período que ocorre após algum tempo corresponde à entrada do pêndulo no “regime de pequenas oscilações”.

A Figura 11 mostra como o período depende da velocidade angular máxima. As oscilações de maior amplitude têm $\Omega_0 \approx 4$ rad/s, o que corresponde a $\Theta_{\max} \approx 50^\circ$. Para estas amplitudes o período é cerca de 0,08 s maior que para as pequenas oscilações, um aumento da ordem de 5%.

Para as pequenas oscilações sabemos que o período é dado por

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R_G}{g}}$$

O pêndulo que utilizamos tem um raio de giração $R_G = 48,8 \pm 0,2$ cm. Usando $g = 978,8$ cm/s² para a aceleração gravitacional no Rio de Janeiro (segundo o Observatório Nacional) obtemos $T = 1,403 \pm 0,003$ s. A Figura 11 mostra que esse cálculo está em bom acordo com o resultado experimental a baixas velocidades (pequenas amplitudes).

Período do pêndulo a grandes amplitudes

A Figura 11 mostra algo que dificilmente é medido em um laboratório didático convencional: a variação do período de um pêndulo com a amplitude da oscilação. Comparar essa medida com a previsão da mecânica newtoniana é instrutivo. Um cálculo simples do período de grandes oscilações pode ser realizado resolvendo numericamente a equação de movimento do pêndulo. Isso é feito no programa Logo listado a seguir, *pendulo*, que calcula o período (em segundos) como função da velocidade angular máxima, dada pelo parâmetro de entrada *omega* (em rad/s). No programa a variável *x* é o comprimento do arco descrito pelo pêndulo a partir do ponto de equilíbrio, e *v* e *a* são a velocidade e aceleração correspondentes. O efeito das forças de atrito sobre o período foi ignorado por ser muito pequeno no nosso caso, mas pode ser incluído facilmente no programa se for necessário.

```
aprenda pendulo :omega0
atribua "dt 0.0001 ;salto de tempo (s)
atribua "g 978.8 ;acel. grav. (cm/s2)
atribua "rg 48.8 ;raio de giração (cm)
atribua "t 0 ;instante inicial
atribua "x 0 ;posição inicial
atribua "v :omega0*rg ;veloc. inicial
façaenquanto [passo] [:x > 0]
atribua "período 2*(:t-x/:v)
escreva (lista :omega0 :período)
fim
```

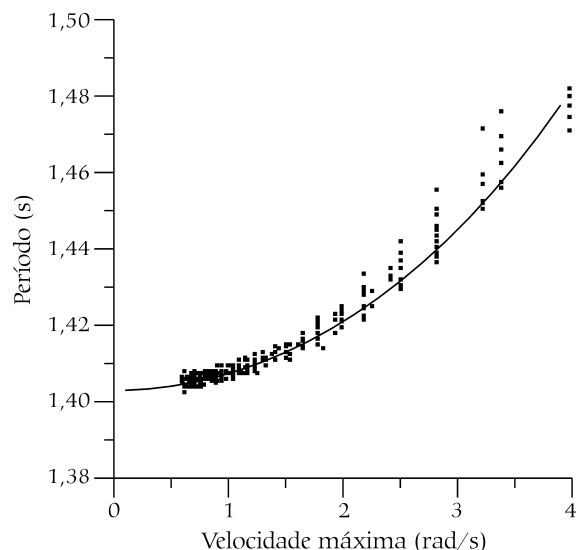


Figura 11. O período como função da velocidade angular máxima. A curva contínua é o resultado do cálculo descrito em “Período do pêndulo a grandes amplitudes”.

```

aprenda passo
atribua "a - :g*(senrad :x/:rg)
atribua "v :v + :a*:dt ;nova velocidade
atribua "x :x + :v*:dt ;nova posição
atribua "t :t + :dt ;novo tempo
fim

```

A curva que está na Figura 11 foi obtida com o programa acima. O cálculo reproduz bastante bem o comportamento dos dados experimentais. Observe que o cálculo do período no programa pêndulo utiliza apenas conceitos que são familiares no Ensino Médio (essencialmente $\Delta x = v\Delta t$ e $\Delta v = a\Delta t$, veja a rotina passo). Este é um bom exemplo de como os computadores podem facilitar a modelagem matemática de fenômenos físicos, tornando-a acessível a alunos que não conhecem cálculo.

Comentários finais

Neste trabalho nós discutimos a utilização da porta de jogos de um PC/Windows como interface para aquisição de dados. O sistema apresentado tem as seguintes características:

- pode ser montado sem fazer modificações no computador;
- utiliza como sensores componentes eletrônicos simples e fáceis de encontrar;
- é fácil de compreender e implementar;
- é versátil, podendo ser usado em muitos experimentos diferentes;
- é bastante rápido, pelo menos para os objetivos de um laboratório didático, alcançando resoluções temporais da ordem de milissegundos;
- tem custo próximo de zero se o computador já estiver disponível;
- os programas de aquisição e análise de dados podem ser todos escritos em Logo.

O sistema pode ser usado em laboratórios didáticos do Ensino Médio, em condições tais que *tanto alunos quanto professores são capazes de compreender e controlar todas as etapas do processo de aquisição e análise dos dados*. Isso se deve não apenas à simplicidade da interface, mas principalmente ao fato de que os programas de aquisição e análise são inteiramente escritos em uma linguagem acessível como Logo.

A aquisição de dados pela porta de jogos não representa, obviamente, a única forma de utilização do computador em um laboratório didático. Além dos kits comerciais já mencionados (alguns até usam a porta de jogos), inúmeras outras propostas existem, com diferentes graus de sofisticação e custo. Para alguns exemplos, veja as Refs. [2, 14-18]. Qualquer que seja a proposta, parece claro que ao introduzir computadores no laboratório didático passamos a ser capazes de observar uma variedade maior de fenômenos, e a analisá-los com mais facilidade. Se somarmos a isso o potencial que o computador tem enquanto instrumento de modelagem matemática, vemos que essas máquinas podem ter um impacto muito positivo no ensino de Física, possibilitando uma ligação entre experimento e teoria que raramente é alcançada com outros meios.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio dado pelo Laboratório Didático do Instituto de Física da UFRJ (LADIF), e pelos Profs. Artur Chaves e Susana de Souza Barros.

Apêndice

Neste apêndice mostramos o programa *analise*, que utilizamos para analisar os dados obtidos na experiência com o pêndulo. Os dados são lidos no arquivo *dados.txt*, gerado pelo programa aquisição (ver seção “O programa de aquisição”). O programa de análise calcula o instante t em que ocorre uma passagem do pêndulo pela posição de equilíbrio, e o período T e velocidade angular Ω_0 nessa passagem. Para isso o programa localiza os instantes em que o sinal na porta deu os “saltos” mostrados na Figura 8, coloca esses tempos em uma lista (*saltos*), e a partir dessa lista calcula os valores de t , T e Ω_0 (variáveis *t*, *periodo* e *omega*). Uma tabela com os resultados é escrita no arquivo *tpo.dat*. A variável *fator* usada para calcular Ω_0 corresponde a D/R (ver seção “A montagem do experimento”). Todos os tempos são convertidos para segundos.

```
aprenda analise
atribua "fator 3.3/48.8 ; valor de D/R
escreva [*** aguarde ***]
;
; >>> Cria lista com tempos de salto
atribua "saltos []
abraparaler "dados.txt
mudeleitura "dados.txt
atribua "dato leialista
atribua "t0 primeiro :dato
atribua "x0 último :dato
atribua "xi :x0
atéque [éfimarq] ~
[
atribua "dato leialista
atribua "t1 primeiro :dato
atribua "x1 último :dato
teste :x1=:x0
sefalso ~
[
atribua "saltos juntenofim :t1 :saltos
atribua "t0 :t1
atribua "x0 :x1
]
]
atribua "xf :x1
mudeleitura []
fecheaq "dados.txt
;
; >>> Primeiro salto deve ser 0->16
se (:xi=16) [atribua "saltos sp :saltos]
; >>> Ultimo salto deve ser 16->0
se (:xf=16) [atribua "saltos su :saltos]
;
; >>> Calcula tempo, período e omega
```

```

abraparaescrever "tpo.dat
mudeescrita "tpo.dat
atribua "nsaltos numelem :saltos
para [i 1 :nsaltos-6 2] ~
[
  atribua t1 elemento :i :saltos
  atribua "t2 elemento :i+1 :saltos
  atribua "t3 elemento :i+2 :saltos
  atribua "t4 elemento :i+3 :saltos
  atribua "t5 elemento :i+4 :saltos
  atribua "t6 elemento :i+5 :saltos
  atribua "periodo (:t5+:t6-:t1-:t2)/2000
  atribua "omega :fator/(:t4-:t3)*1000
  atribua "t (:t3+:t4)/2000
  (escreva :t :periodo :omega)
]
mudeescrita []
fechearq "tpo.dat
escreva [*** fim da análise ***]
fim

```

Referências

- [1] J.C. Alves, *Uma Proposta Pedagógica para Uso do Computador em Ambientes de Ensino Experimental de Física*. Tese de Doutorado, COPPE-UFRJ, 2000.
- [2] M.A. Cavalcante e C.R.C. Tavoraro, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **22**, 421 (2000).
- [3] M.L. de Jong e J.W. Layman, *The Physics Teacher* **22**, 291 (1984).
- [4] W.M. Gonçalves, A.F. Heinrich e J.C. Sartorelli, *Revista de Ensino de Física* **13**, 63 (1991).
- [5] J. Fuller, Science Experimenters' Kit, <http://www.southwest.com.au/~{}jfuller/scikit.zip>.
- [6] R. Haag, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **23**, 176 (2001).
- [7] Núcleo de Informática Aplicada à Educação (Nied/Unicamp), SuperLogo 3.0, <http://www.nied.unicamp.br>.
- [8] G. Mills, MSWLogo, <http://www.softronix.com/logo.html>.
- [9] J. Fuller, Games Port Input, <http://www.southwest.com.au/~{}jfuller/logotut/games.htm>.
- [10] T. Engdal, Joysticks and other game controllers, <http://www.hut.fi/Misc/Electronics/docs/joystick/>.
- [11] R. Zelenovsky e A. Mendonça, *PC: um guia prático de hardware e interfaceamento* (Editora MZ, 1999).
- [12] G.J. Deboo e C.N. Burrous, *Integrated Circuits and Semiconductor Devices* (McGraw-Hill, 1977).
- [13] S.M. Sze, *Physics of Semiconductor Devices* (Wiley, 1969).
- [14] R.D. Peters, *Computers in Physics* **68**, July/Aug (1988).
- [15] P.J. Collings e T.B. Greensdale, *The Physics Teacher* **76**, Feb (1989).
- [16] R.V. Ribas, A.F. Souza e N. Santos, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **20**, 293 (1998).
- [17] D.Fagundes, J. Sartori, T. Catunda e L.A.O. Nunes, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **17**, 196 (1995).
- [18] D.F. Souza, J. Sartori, M.J.V. Bell e L.A.O. Nunes, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **20**, 413 (1998).



.....
Marisa Almeida Cavalcante

GoPEF: Grupo de Pesquisa em Ensino
 de Física da PUC/SP

<http://mesonpi.cat.cbpf.br/marisa>

E-mail: marisac@pucsp.br

.....
Cristiane R.C. Tavoraro

GoPEF: Grupo de Pesquisa em Ensino
 de Física da PUC/SP

E-mail: cris@pucsp.br

.....

Para fazer experimentos que envolvam ondas sonoras ou mesmo resolver exercícios propostos em livros didáticos, é muito comum adotar como velocidade de propagação do som no ar o valor 340 m/s, que corresponde à velocidade dessas ondas a cerca de 20 °C. Porém, a dependência da velocidade do som com a temperatura do meio de propagação é grande. Uma boa aproximação para a velocidade do som no ar é dada por [1]:

$$v = 330,4 + 0,59T \text{ (m/s)} \quad (1)$$

em que T é a temperatura dada em °C

Não é difícil determinar a velocidade do som no ar a uma temperatura qualquer: coloque em vibração um diapasão de frequência conhecida próximo à boca de um tubo contendo água; ao variar o nível da água no tubo, procure ouvir um reforço na intensidade do som (Figura 1).

Esse reforço se deve ao fato de formar-se no tubo uma onda estacionária na coluna de ar existente entre o nível da água e a boca do tubo, de comprimento L . Sendo esse o primeiro reforço observado, a coluna

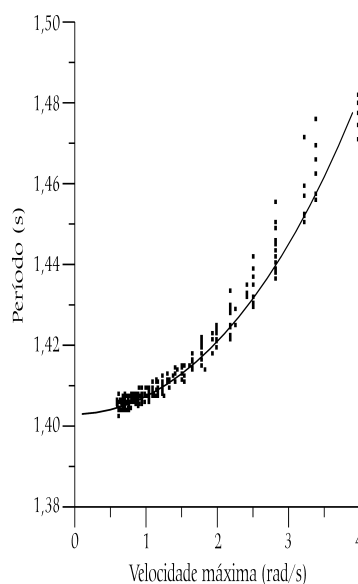


Figura 1. Montagem inicial do experimento.

Este artigo propõe um experimento de baixo custo para medir com eficiência a velocidade do som (publicado originalmente na Física na Escola v. 4, n. 1, p. 29-30 (2003)).

de ar está vibrando com a menor frequência possível, que corresponde à frequência do diapásão. O comprimento de onda nesse caso corresponde a quatro vezes o comprimento L da coluna [2], por tratar-se de um tubo fechado em uma das extremidades. Então $v = \lambda f$, isto é

$$v = 4\lambda f \quad (2)$$

A precisão da medida fica limitada à determinação do comprimento L no momento em que ocorre um aumento na intensidade do som. Nesse experimento, no entanto, as variações desse comprimento não produzem variações de intensidade sonora muito perceptíveis pelo ouvido humano, dificultando muito a determinação do ponto de ressonância.

De que maneira podemos diminuir a interferência do observador e melhorar a precisão da medida de uma forma simples e sem grandes custos?

Vamos começar tomando um tubo de ar de comprimento L fixo, de seção constante e a princípio aberto nas duas extremidades. Esse tubo pode ser de material opaco ou transparente, mas se for transparente, poderá ser usado em outros experimentos interessantes. Existem disponíveis no mercado, tubos de PVC transparente de 33 mm de diâmetro por cerca de R\$ 6,00 o metro. É mais fácil manusear tubos de até 1 m de comprimento. Vejamos por que: ao bater com a palma da mão em uma das extremidades abertas do tubo podemos ouvir um som característico que depende do comprimento L (note que ao bater com a palma da mão em uma das extremidades esse tubo se torna fechado em uma das extremidades, como na Figura 2). Se você tiver tubos de comprimentos diferentes, experimente e observe: quanto mais longo o tubo mais grave será o som, isto é, menor será a sua frequência. Então agora só falta determinar a frequência do som que ouvimos para calcular v ! Só?

Essa é a parte mais interessante! Existem equipamentos especiais que medem a frequência de uma onda sonora com bastante precisão: são os espectrômetros sonoros. No entanto é um equipamento caro que certamente não se encontra disponível em nossas escolas e às vezes nem nas universidades. Mas dispondo de um computador com placa de som, microfone, e conexão com a internet, então você tem um espectrômetro em potencial!

Existem na rede vários softwares livres que desempenham com bastante eficiência o papel de analisador de espectro sonoro, isto é, que conseguem determinar a frequência fundamental acompanhada das respectivas frequências harmônicas de uma onda sonora (frequências harmônicas são múltiplas inteiras da frequência fundamental). Dentre eles está o Gram V6, cujo endereço para acesso é <http://www.visualizationsoftware.com/gram/gramdl.html>.

Voltemos ao tubo sonoro: ao bater em uma das extremidades com a palma da mão conforme indica a Figura 2, teremos um tubo fechado em uma das extremidades. O som produzido pode ser captado pelo microfone ligado à placa de som do computador. O Gram V6 salva o som produzido em extensão “wav” e o reproduz de duas maneiras: no alto falante do computador e simultaneamente na tela, já mostrando as diferentes frequências que o compõem (fundamental e harmônicas).

A Figura 3 mostra o espectro do som produzido em um tubo de 20 cm. Deslizando o cursor pelo espectro temos a indicação da frequência correspondente.

A menor frequência (localizada pelo cursor) é a fundamental e as superiores são as frequências harmônicas produzidas no tubo, sendo $fn = nv/4L$ para $n = 1, 3, 5, \dots$. O espectro se repete porque foram produzidas várias batidas seguidas. Esse procedimento pode ser também visualizado no endereço <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/index.html> [1].

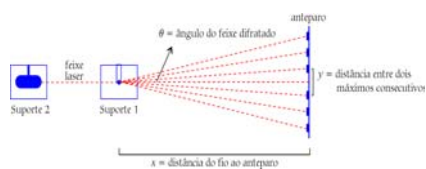


Figura 2. Fonte sonora utilizada para a obtenção do espectro.

A Figura 4 mostra a curva espectral para o tubo de 20 cm, onde podemos localizar com maior precisão a frequência fundamental e os respectivos harmônicos. O experimento foi reproduzido utilizando-se tubos de comprimentos 20, 40 e 100 cm, nas mesmas condições de temperatura.

A Tabela 1 mostra os resultados obtidos através da curva espectral em cada caso. Quando realizamos esse experimento, a temperatura era de 18 °C. Se utilizarmos a relação para a velocidade do som no ar,

$$v = 330,4 + 0,59T \text{ (}^{\circ}\text{C)},$$

teremos $v = 341,02 \text{ m/s}$ [1].

O software Gram V6 permite ajustar a banda de frequência a ser analisada bem como o número de canais de coleta de dados de modo a obtermos a precisão indicada na Tabela 1.

A utilização do computador como ferramenta de medida tornou o processo de determinação da velocidade do som muito rápido e simples, além de barato, podendo ser reproduzido em sala de aula sem grandes restrições (não precisa ser um laboratório de Física, por exemplo). Usando um pouco de criatividade, é possível usar o processo de medição de frequências de ondas sonoras em outros experimentos: por que não construir um instrumento musical? Seja com tubos ou cordas, certamente é uma atividade que desperta o interesse dos alunos além de proporcionar uma ampla discussão sobre Acústica.

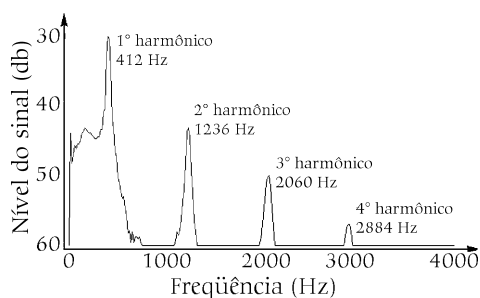


Figura 4. Outra forma de representação espectral que pode ser obtida através do software de análise sonora Gram V6. Para obter essa curva basta clicar sobre a região do espectro sonoro do gráfico representado na Figura 2 e fixar as condições de resolução desejadas. O valor de frequência pode ser obtido diretamente na tela alterando-se a posição do cursor para o ponto da curva em que se deseja obter essa informação.

Tabela 1. Estimativa da velocidade do som para tubos de diferentes comprimentos, à temperatura de 18 °C.

Comprimento do tubo (cm)	Frequência fundamental (Hz)	Velocidade do som (m/s)
20	412 ± 4	330 ± 3
40	205 ± 3	328 ± 4
100	82 ± 2	328 ± 6

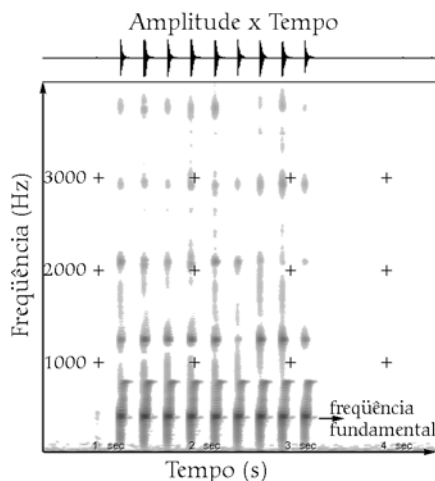


Figura 3. Espectro sonoro para um tubo com 20 cm de comprimento obtido através do software Gram V6. Para facilitar a compreensão representamos os eixos tempo e frequência. Esse software mostra também o sinal sonoro capturado através do microfone (amplitude x tempo), como pode ser visto acima do espectro.

Referências

- [1] <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/index.html>, site do Grupo de Novas Tecnologias em Ensino do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [2] D. Halliday; R. Resnick e J. Walker *Fundamentos de Física*, (LTC)v. 2, 4ª ed.



Microgravidade na Sala de Aula

Introdução

O que é microgravidade? Por que ir ao espaço para obtê-la? Por que a microgravidade oferece uma situação ótima para determinados estudos e investigações científicas?

Ainda que algumas questões como essas sejam de difícil compreensão para o público, respondê-las pode não ser tarefa tão árdua se houver maior proximidade do público com o tema.

Como tentativa de atacar o problema elaborou-se, no Clube de Ciências Quark em São José dos Campos, um projeto com alunos de nível médio (antigo segundo grau) de escolas da região para investigar o tema. Entre outras atividades realizadas abordando microgravidade [1,2], relatamos aqui experiências vivenciadas com a construção de um dispositivo simples e de baixo custo para reproduzir em sala de aula o ambiente de microgravidade experimentado pelos astronautas. Com ele reproduzimos em pequena escala e a custo acessível o ambiente de microgravidade obtido em “torres de queda livre” e nos vãos parabólicos de aeronaves especialmente adaptadas para essa finalidade.

Descrição do projeto

A Figura 1 ilustra os equipamentos utilizados na criação do ambiente de microgravidade em sala de aula. Uma pequena câmera de vídeo alojada dentro de uma caixa metálica captura imagens de experiências em queda livre permitindo uma posterior análise do seu comportamento. A caixa é suspensa por meio de roldanas presas no teto e, ao ser liberada, as imagens da câmera são gravadas em

.....
Marcelo M.F. Saba

Instituto Nacional de Pesquisas
Espaciais
C.P. 515 – 12201-970
S. José dos Campos, SP, Brasil
e-mail: saba@dge.inpe.br

.....
Bruno B. Silva e Paulo R.J. de Paula

Clube de Ciências Quark
R. Teopompo de Vasconcelos, 86
12243-830
S. José dos Campos, SP, Brasil
.....

Neste trabalho descrevemos alguns experimentos simples que facilitam o entendimento, pelos alunos e o público em geral, de conceitos relativos à microgravidade. A observação de experimentos comuns em microgravidade por queda livre pode ser obtida utilizando-se equipamentos de baixo custo. Um gravador de videocassete, uma microcâmera CCD monocromática do tipo utilizada para vigilância e uma caixa é tudo o que se necessita para “eliminar” os efeitos da gravidade terrestre (publicado originalmente na Física na Escola v. 1, n. 1, p. 15-17 (2000)).

um videocassete normal. A reprodução posterior da fita, no modo quadro-a-quadro ou em câmera lenta, possibilita a análise e a discussão do fenômeno a ser estudado durante a queda. Como para uma gravação em videocassete o intervalo entre sucessivos quadros é de 33 milissegundos, para uma altura de apenas 3 m (do teto ao solo), pôde-se obter aproximadamente 23 imagens instantâneas da experiência em microgravidade. Constatou-se que, para a maioria dos fenômenos, esse número de imagens é mais do que suficiente para uma visualização das diferenças de comportamento entre uma experiência realizada sob a ação da gravidade normal e em microgravidade.

Os materiais envolvidos nas experiências são de fácil aquisição e de baixo custo. O item mais oneroso é a microcâmera que pode ser um modelo simples, preto e branco, do tipo usado para vigilância. Essa deve ser alimentada com 8 pilhas pequenas que podem ser acondicionadas em porta-pilhas presos dentro da caixa. Dois longos fios finos ligam a câmera ao videocassete (*video input*). O videocassete e a televisão, para o monitoramento das imagens, são equipamentos já usuais na maioria das escolas, de modo que o leitor não deverá encontrar dificuldade em obtê-los.

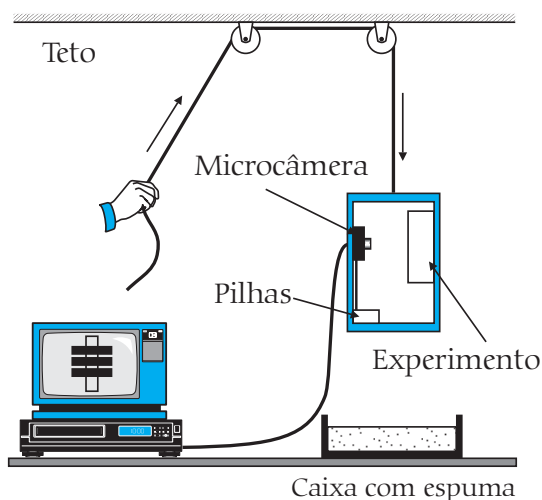


Figura 1. Esquema geral dos equipamentos utilizados.

Experimentos

Ao todo foram realizadas várias experiências, envolvendo diferentes tópicos da física: *escoamento de fluidos, tensão superficial, empuxo, movimentos oscilatórios, magnetismo, convecção, difusão gasosa* etc. Descrevemos alguns desses experimentos.

a) Repulsão entre ímãs

Diante da microcâmera fixe um lápis com três ímãs em formato de arruela ao seu redor (Figura 2). Os ímãs estão dispostos de forma a repelirem-se mutuamente. Observe que a distância entre o ímã do meio e o de baixo é menor que entre este e o de cima.

Durante a queda, em microgravidade, os três ímãs ficam igualmente espaçados. Para a câmera que cai junto com os ímãs, tudo se passa como se apenas a força magnética de repulsão atuasse sobre os ímãs.

b) A Chama de uma vela

Prenda uma vela na caixa, de maneira que sua chama fique em frente à câmera. Observe a chama. Ela é alongada e brilhante.

Depois de acesa a vela, a caixa é solta. Em sua queda livre pode-se observar que a chama se torna esférica e menos intensa. Em microgravidade cessam os

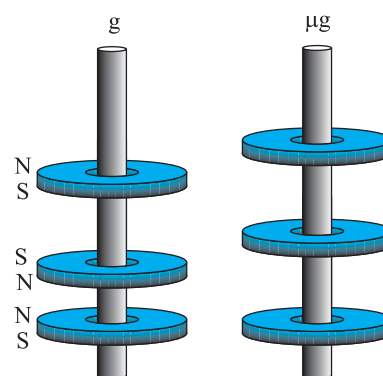


Figura 2. Ímãs se repelindo sob a ação da gravidade e em microgravidade.

movimentos de convecção do ar e, com isso, a chama passa a ter um formato esférico. Com uma ausência de renovação de oxigênio por convecção a chama torna-se menos intensa e a renovação do ar se faz somente por difusão.

c) Pêndulo

Fixe na lateral da caixa, em frente à câmera, o pivô de um pêndulo. Este pêndulo deverá ser feito com uma haste metálica rígida, portando um peso em sua extremidade.

É possível verificar que o pêndulo que oscilava normalmente sob a ação da gravidade, descreve um círculo em torno do seu ponto de apoio quando em microgravidade (Figura 3). A grande maioria das pessoas irá prever o cessar completo do movimento pendular durante a queda. No entanto, isso somente ocorrerá se a caixa for largada no exato momento em que a velocidade tangencial do pêndulo for zero, o que é muito improvável.

Pode ser interessante desafiar os alunos a calcularem a velocidade tangencial do pêndulo durante a queda. Para isto deve-se ter em conta que o tempo entre os sucessivos quadros filmados é de 0,033 segundos.

d) Peso com a mola

Pendure um peso em uma extremidade de uma mola, de forma que a mola fique distendida. Fixe o conjunto em frente à câmera.

Observe que assim que a caixa é solta, a mola contrai-se, mostrando que a força peso que a distendia “desaparece” na situação de microgravidade.

e) Peso e elástico

Pendure um peso qualquer na parte central de uma tira elástica esticada.

Observe que em queda livre esse peso oscilará em torno de uma linha horizontal imaginária que une os dois pontos de fixação do elástico (Figura 4).

f) Bolha de ar no xampu

Encha um tubo de ensaio grande com xampu colorido e viscoso. Faça uma marca bem visível no seu centro (por exemplo: com corretor de texto). Deixe um pouco de ar dentro do tubo ao tampá-lo com uma rolha. Fixe o tubo em frente à câmera. Segure a caixa com o lado de cima para baixo e quando tudo estiver pronto para gravar, volte a caixa para a posição normal. Observe pelo monitor a bolha subindo. Quando ela atingir a marca no centro do tubo de ensaio, solte a caixa.

Observe que a bolha de ar pára de subir durante o tempo de queda.

g) Gota de mercúrio

Coloque uma gota de mercúrio de 1 cm de diâmetro dentro de um frasco com uma face frontal plana e transparente. Lacre o frasco.

Ao colocá-la em microgravidade, a gota torna-se praticamente esférica, mostrando claramente a atuação da tensão superficial no líquido. É possível observar também que sua superfície oscila em torno de uma posição de equilíbrio durante a queda.

h) Filete de água

Faça um furo embaixo de um frasco. Encha de água e coloque outro embaixo para coletá-la, conforme mostra a Figura 5.

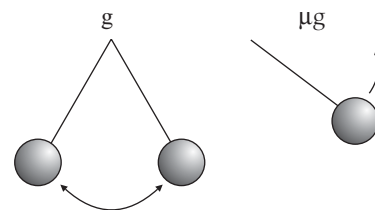


Figura 3. Pêndulo oscilando sob ação da gravidade e em microgravidade.

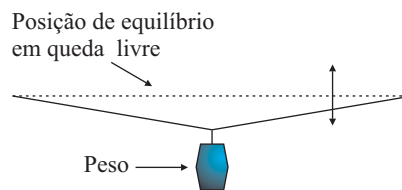


Figura 4. Elástico e peso em oscilação.

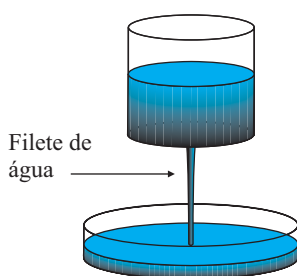


Figura 5. Filete de água escoando de um frasco para o outro.

Observe como o filete de água, em queda livre, se desmancha em gotas aproximadamente esféricas. Em queda livre o volume líquido que tende a possuir a menor superfície possível assume um formato esférico. No passado, as melhores esferas de chumbo para caça eram feitas derramando, de alguns metros de altura, pequenas gotas de chumbo derretido.

Discussão

Para uma frutuosa discussão do que ocorre em cada experimento é, sem dúvida, necessária uma correta compreensão do conceito de microgravidade. Se entendermos

microgravidade como uma redução na aceleração gravitacional ambiente por um fator de 10^6 , isso só seria viável a uma distância de $6,37 \times 10^6$ km da Terra (quase 17 vezes a distância Terra-Lua!).

O termo microgravidade utilizado em astronáutica corresponde apenas a uma situação em que o **peso aparente** do sistema é pequeno se comparado ao **peso real** devido à gravidade. Uma pessoa sobre uma balança dentro de um elevador pode entender isso facilmente. O peso real será dado pela massa vezes a aceleração da gravidade, enquanto que a força que o chão exerce sobre a pessoa – que é o que mede a balança – será o seu peso aparente. Se o elevador subir, uma nova força entra em jogo devido à aceleração do elevador e o peso aparente aumenta. Se o cabo do elevador quebrar, descontando os efeitos da resistência do ar, a pessoa estará caindo livremente com a aceleração da gravidade e o seu peso aparente será zero. É uma situação também conhecida como de queda livre, e se apresenta sempre que a única força atuante sobre um corpo for a força da gravidade. Portanto, é nessa situação que os experimentos de microgravidade são realizados e não obviamente a $6,37 \times 10^6$ km da Terra.

Microgravidade em laboratório é obtida por três meios:

- torres de queda de diferentes alturas. No Japão existe uma de 490 m, na qual a experiência pode atingir 10^{-5} g durante 11,7 s!;
- vôos parabólicos com aeronaves e foguetes. Os primeiros alcançam 10^{-3} g durante 15 s e 25s. Os foguetes atingem 10^{-5} g durante 4 minutos e 6 minutos;
- espaçonaves que podem atingir 10^{-6} g durante o tempo em órbita.

Assim, com o aparato descrito neste trabalho podemos reproduzir as torres de queda livre dentro de uma sala. Caso se deseje também simular um vôo parabólico, basta dispensar o cabo que sustenta a caixa e arremessá-la para cima, tomando o cuidado de não imprimir nenhum movimento de rotação nessa. O objeto a ser filmado nesse caso pode ser um “boneco-astronauta”.

Conclusões

Ao final do projeto todos os estudantes envolvidos entenderam melhor o que vem a ser a microgravidade. A sua importância e seus usos em ciência espacial foram amplamente discutidos e a física de cada um dos experimentos pôde ser também melhor compreendida. A participação de todos foi surpreendente, a ponto de sugerirem diversas experiências inéditas quase sempre através do questionamento: “O que aconteceria se colocássemos ... em queda livre??”.

Referências

- [1] G. Vogt, and M. Wargo, *Microgravity – Teacher's Guide with Activities for Physical Science* (EG-103, National Aeronautics Space Administration, Washington, DC 1995).
- [2] M.M.F. Saba, *Relatório do I Workshop Brasileiro de Microgravidade* (São José dos Campos, 1999) p. 115-116, 19 a 21 de maio.



Improvizando

Dentro da Sala de Aula

Óptica

Astigmatismo

O astigmatismo talvez seja a deficiência mais frequente da visão. Decorre de uma deformação não uniforme da curvatura da córnea (córneas assimétricas) do olho humano, que não permite ver todas as partes de uma imagem ao mesmo tempo, ou seja, a luz de qualquer ponto originada de um objeto não consegue convergir para formar todas as partes da imagem na retina.

Para corrigir esse defeito torna-se necessário o uso de lentes cilíndricas. Estas lentes irão mudar a distância focal do olho na direção onde o raio de curvatura da córnea difere de suas demais partes. Para ilustrar esse defeito da visão precisamos dos seguintes materiais: um copo de vidro transparente com água, uma vela e fósforos.

Procedimentos

Encha o copo com água e acenda a vela. Focalize a luz da vela com o copo em um anteparo (Figura a) que pode ser uma folha de papel em branco. Mantendo o copo na mesma distância da vela, gire-o para a esquerda e para a direita como ilustram as Figuras b e c.

Por que a imagem alongada projetada pelo copo no anteparo encurva-se na direção de giro do copo?

No procedimento experimental ilustrado pela Figura 1 (a, b e c), vemos que a imagem formada pela vela aparece alongada no anteparo, ou seja, ela é formada na direção do eixo de simetria do copo. Nas Figuras b e c, o copo, funcionando como uma lente cilíndrica, faz com que os raios de luz que o atravessam converjam na direção paralela ao eixo do copo mostrando, portanto, uma imagem alongada nessa direção. No caso de lentes esféricas, a simetria da lente permite a formação da imagem proporcionalmente em todas as direções, o que não ocorre nas lentes cilíndricas.

.....
Henrique Bezerra Cardoso

Mestrando em Física pelo
Departamento de Física da UFC.

.....
Josué Mendes Filho

(josue@fisica.ufc.br)
Coordenador do curso de pós-
graduação em Física da UFC

.....

Este artigo apresenta experimentos de Física possíveis de se realizar em sala de aula com a utilização de materiais de fácil acesso nas escolas ou de uso comum pelos alunos (publicado originalmente na Física na Escola v. 3, n. 2, p. 5-6 (2002)).

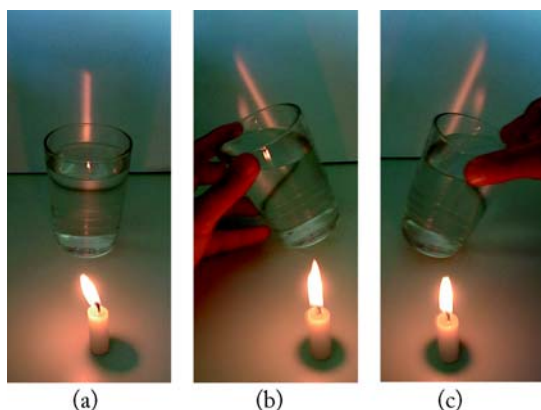


Figura 1. Projeção da luz passando através de um copo com água.

Como detectar a existência de astigmatismo? Olhe para a Figura 2 sem óculos e veja se consegue ver nitidamente todas as linhas.

Fibra óptica

Uma fibra óptica é um fio fino de vidro (fibras dielétricas transparentes). A luz, ao penetrá-lo obliquamente, não consegue escapar lateralmente devido ao fenômeno de reflexão total interna, conseguindo, portanto, ser transmitida através dele (Figura 3).

Para ilustrar o funcionamento de uma fibra óptica são necessários os seguintes materiais: uma caneta ou chaveiro *laser point* e uma caneta esferográfica de corpo transparente (caneta BIC, por exemplo).

Procedimentos

Tire o refil da caneta e incida a luz do laser obliquamente em uma de suas extremidades (Figura 4). Observe que a luz atravessa a caneta saindo pela outra extremidade sem escapar lateralmente.

Pressão atmosférica

Bebendo água

Podemos demonstrar a existência da pressão atmosférica fazendo uma pegadinha com um amigo. Para isso vamos precisar de um copo com água potável (suco ou refrigerante) e canudos.



Figura 2. Teste de astigmatismo: para uma pessoa normal, todas as linhas devem aparecer igualmente escuras.



Figura 3. Propagação da luz dentro de uma fibra óptica.

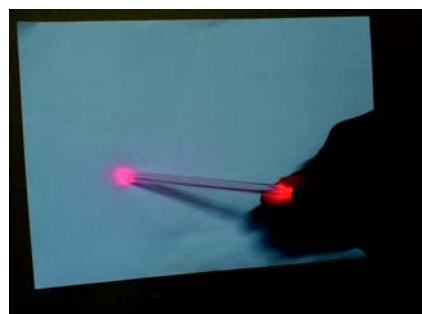


Figura 4. A estrutura de uma caneta sendo usada como fibra óptica.

Referências

- Thomas D. Rossing e Christopher J. Chiaverina, *Light Science - Physics and the Visual Arts* (Springer, USA, 1999).
- Lloyd W. Taylor, *Physics the Pioneer Science* (Dover, 1959), v. 2.
- Paul G. Hewitt, *Conceptual Physics* (Addison Wesley, 1997), 8ª ed.

Procedimentos

Coloque um canudo no copo com água e peça para um amigo que aspire a água pelo o canudo. Depois coloque dois canudos dentro do mesmo copo e peça para seu amigo aspirar novamente a água com os dois canudos juntos. Mude, colocando um canudo dentro do copo e o outro fora e peça para ele aspirar a água sugando pelas duas extremidades livres do canudo ao mesmo tempo. Ele ainda consegue beber? Por quê? Para que a água seja sugada é preciso haver diferença de pressão...

Sifão

Você já deve ter visto alguém esvaziando, ou já esvaziou, um depósito de água ou um tanque de gasolina do carro por meio de uma mangueira ou sifão. O funcionamento de um sifão baseia-se na diferença de pressão entre as extremidades nos dois ramos da mangueira. Nós podemos facilmente construir um sifão de improviso. Para isso precisaremos de um canudo, três copos e um clipe.

Procedimentos

Encurve o clipe e enfie dentro do canudo (veja a Figura 5a). Depois é só montar o esquema da Figura 5b. Coloque o canudo dentro do copo. Em seguida, derrame a água no copo de cima e, para que o sifão comece a funcionar, aspire a água pela extremidade de baixo do canudo até que ela comece a descer.

O princípio de funcionamento de um sifão é bastante simples. Vejamos a Figura 5c. A pressão exercida no ponto A é igual à pressão atmosférica. A pressão em C é igual à pressão de B (que é igual à pressão em A) mais a pressão exercida pela coluna de água “h”. Portanto, a diferença de pressão entre os dois ramos, devido à coluna de água “h”, faz com que a água do copo desça pelo canudo. Existe uma altura máxima de desnível para que um sifão possa ou não funcionar?

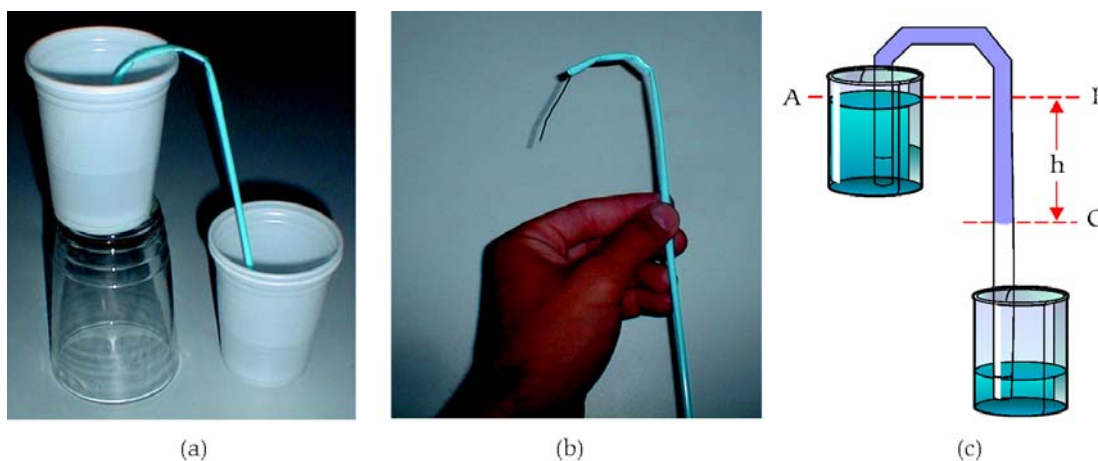


Figura 5. Esquema de montagem de um sifão.

Referências e Notas

Oswald H. Blackwood *et al.*, *Física na Escola Secundária* (Mec, 1962).

R.D. Edge, *String & Sticky Tape Experiments* (American Association of Physics Teachers -AAPT - 1981).

O leitor poderá ter acesso a mais experimentos acessando a seção *Improvizando Dentro da Sala de Aula*, do site Convite à Física no endereço: www.conviteafisica.com.br.



.....
Élder Mantovani Lopes e
Carlos Eduardo Laburú
Departamento de Física - UEL
Londrina - PR
.....

Introdução

O elevado custo de boas redes de difração, bem como a dificuldade em adquiri-las, faz com que as demonstrações dos temas ligados à dispersão espectral tornem-se exclusividades dos laboratórios das universidades. Entretanto, no intuito de difundir tal tema no ensino básico, versões didáticas e de fácil acesso de tais redes vêm surgindo na literatura. Em 1969, Kalinowski *et al.* [6] utilizaram uma técnica fotográfica, em que uma matriz conveniente de linhas claras e escuras era fotografada a distância e, com o filme de diapositivos produzido, reduzia-se a matriz às proporções desejadas. No entanto, no processo acima descrito, ocorre uma série de dificuldades como, por exemplo, a granulação do filme, que deve ser extrafina, para seu tamanho não deformar as linhas da rede. Tal fato, além do emprego de uma câmera fotográfica conveniente, dificulta a difusão do método devido à necessidade de materiais de custo elevado. Mais recentemente, alguns trabalhos [1-3] têm sido desenvolvidos, propondo a utilização de um "Compact Disc" como elemento que decompõe a luz em suas frequências características, permitindo obter resultados bastante satisfatórios.

Enquanto os trabalhos anteriores concentram as suas sugestões no sentido de utilizar a difração por fendas ou por reflexão, propomos, diferentemente daqueles, empregar um arranjo experimental que utiliza a técnica de difração por obstáculo, com o objetivo de determinar o diâmetro de um fio de cabelo. Além de ser uma atividade complementar à difração por reflexão ou por fendas, a difração por obstáculo não apresenta diferentes leis ou equações, visto que um obstáculo de espessura " x " é semelhante, no que se refere à difração, a uma fenda de espessura similar [8]. Uma vantagem desse experimento

Este trabalho descreve um método simples, utilizando material de baixo custo, para demonstrar o fenômeno da difração no Ensino Médio. Sua utilização permite determinar o diâmetro de um fio de cabelo e a largura das "fendas" de uma tela de serigrafia, utilizando um apontador a laser (publicado originalmente no Caderno Catarinense de Ensino de Física v. 18, n. 2, p. 239-236 (2001)).

consiste em possibilitar ao aluno comparar a espessura do fio de cabelo, determinado por esse método, com a medida efetuada diretamente com um micrômetro e, assim, observar que um fenômeno peculiar, como a difração, pode ser utilizado na determinação de dimensões reduzidas, pertinentes a objetos variados.

Finalmente, com este trabalho, sugerimos demonstrar qualitativamente, de uma maneira fácil e direta o fenômeno da difração por fenda, utilizando uma tela de serigrafia. Evidentemente, é possível realizar esse experimento com um apontador laser e, com isso, medir o espaçamento d entre os traços de três diferentes telas de serigrafia, classificadas em nossas medidas, aleatoriamente, de “fina”, “média” e “grossa”.

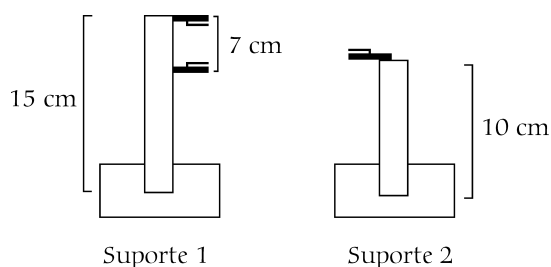


Figura 1. Esquema da montagem dos dois suportes.

Materiais utilizados

Os materiais necessários para a realização dos experimentos foram: régua, trena, micrômetro, apontador laser (λ fornecido pelo fabricante = $(6500 \pm 200) \text{ \AA}$), duas bases de madeira de $12 \times 12 \text{ cm}$, duas pequenas colunas de madeira de $15 \times 3 \times 1 \text{ cm}$ e $10 \times 3 \times 1 \text{ cm}$, três prendedores de roupa, fio de cabelo, cola de madeira, três telas de serigrafia com “densidades” diferentes (fina, média e grossa), seis pedaços de madeira de aproximadamente $10 \times 1 \times 1 \text{ cm}$ e $20 \times 1 \times 1 \text{ cm}$, para a montagem da moldura das telas, grampeador e fita adesiva.

Construção

Perpendicularmente ao centro de cada base de madeira, fixou-se uma das colunas de madeira, de modo que o conjunto formasse um suporte. Foram construídos dois suportes. Na extremidade superior do suporte maior colou-se, lateralmente, um prendedor de roupa e a 7 cm abaixo desse, outro (suporte 1, Figura 1). Na extremidade do suporte menor colou-se, na sua parte superior, um prendedor (suporte 2, Figura 1). Um dos suportes serve para colocar o fio de cabelo, esticando-o entre os dois prendedores, o outro vai ser utilizado para segurar o apontador laser.

Para a montagem das três telas de serigrafia (fina, média e grossa), construíram-se três “molduras”, utilizando-se pedaços de madeira (seis pedaços, um para cada lateral de cada moldura, de $10 \times 1 \times 1 \text{ cm}$, é seis pedaços, um para a parte superior e um para a parte inferior de cada moldura, de $20 \times 1 \times 1 \text{ cm}$). Esticou-se, então, a tela de serigrafia sobre sua respectiva moldura e, com o auxílio de um grampeador, prendeu-se completamente a tela sobre um dos lados da moldura, grampeando, em seguida, o lado oposto, para que, nessa direção, a tela ficasse perfeitamente esticada. Repetiu-se, então, o procedimento para os outros dois lados, de modo que nessa direção a tela também ficasse esticada. Recortou-se o excesso de tecido e, para um melhor acabamento, passou-se fita crepe sobre os lados da moldura.

Procedimento experimental

Em uma sala escura, coloca-se o suporte 1 (Figura 1), com o fio de cabelo, a uma distância x de uma parede (medida com uma trena) que, no nosso caso, funciona como um anteparo. Após o suporte 1, coloca-se o suporte 2 (Figura 1) com o apontador laser, de modo que o feixe laser atinja o fio de cabelo e incida sobre o anteparo perpendicularmente (ver Figura 3). Ligando o apontador, observa-se facilmente sobre o anteparo espectros até segunda ordem. Mede-se, então, com o

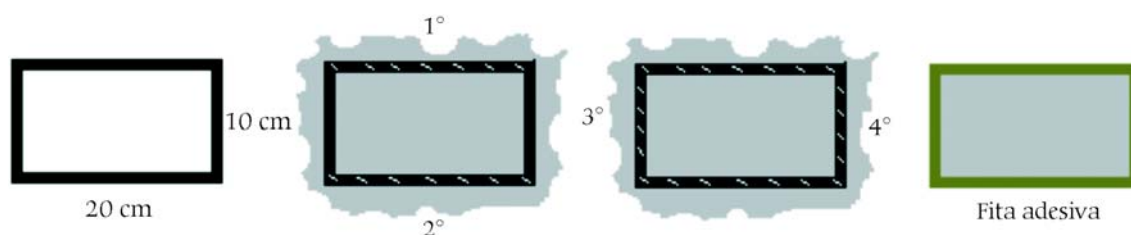


Figura 2. Sequência (da esquerda para a direita) da montagem da tela de serigrafia.

auxílio de uma régua, a distância, y , (Figura 3) entre dois máximos (primários) consecutivos. Essa técnica reduz o erro na medida, pois, o que é necessário, na realidade, é a distância entre o máximo central e o máximo que se deseja medir (primário). Nota-se que os máximos apresentam um determinado comprimento na horizontal, sendo que para a realização da medida y , toma-se como base a metade de cada máximo. A montagem geral é apresentada na Figura 3.

Nos experimentos com as telas de serigrafia, o arranjo experimental é análogo, trocando-se apenas o suporte 1 (do fio de cabelo) pela tela de serigrafia. Com as medidas de x e y é possível calcular, através das Eqs. (1) e (2), da seção abaixo, o diâmetro do fio de cabelo ou a largura das fendas das telas de serigrafia.

Resultados experimentais

É previsto que os máximos ocorrerão sob ângulos θ dados, teoricamente, pela expressão: $m\lambda = d \sin \theta$ [4]. O valor de λ fornecido por um fabricante de apontadores, é de $(6500 \pm 200) \text{ \AA}$. Sabendo que:

$$\sin \theta = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (1)$$

o diâmetro d do fio de cabelo pode ser expresso como:

$$d = \frac{m\lambda \sqrt{x^2 + y^2}}{y} = m\lambda \sqrt{1 + x^2/y^2} \quad (2)$$

As medidas para dois fios de cabelos (de diâmetros visivelmente diferentes) são expressas na

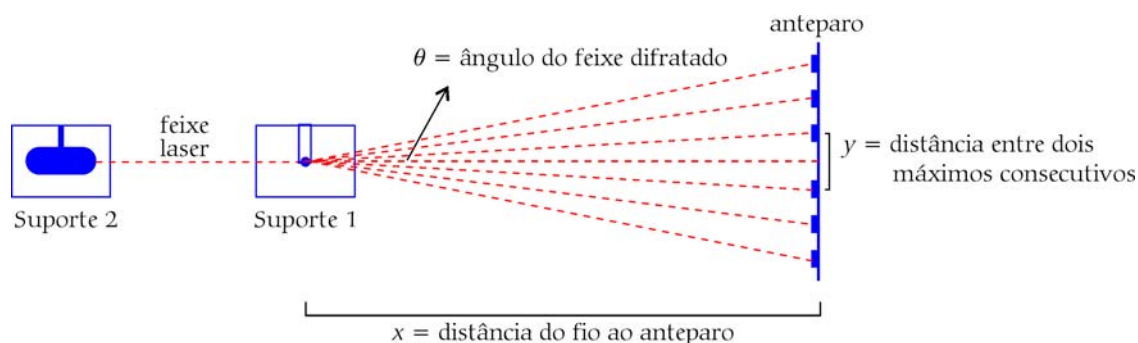


Figura 3. Vista por cima do arranjo experimental.

Tabela 1.

Fio	x (cm)	y (cm)	y' (cm)	d (μm)	δ (μm)	δ^2 (μm^2)
Fino	100,0	2,8	1,4	46,4	-2,5	6,25
	200,0	5,0	2,5	52,0	3,1	9,61
	300,0	8,7	4,4	44,3	-4,6	21,16
	400,0	10,2	5,1	51,0	2,1	4,41
	500,0	13,6	6,8	47,8	-1,1	1,21
	600,0	15,0	7,5	52,0	3,1	9,61
				$\langle d_1 \rangle = 48,9$		$\Sigma = 52,25$
Grosso	100,0	1,9	1,0	65,0	-6,1	37,21
	200,0	3,8	1,9	68,4	-2,7	7,29
	300,0	5,2	2,6	75,0	3,9	15,21
	400,0	7,2	3,6	72,2	1,1	1,21
	500,0	9,0	4,5	72,2	1,1	1,21
	600,0	10,6	5,3	73,6	2,5	6,25
				$\langle d_1 \rangle = 71,1$		$\Sigma = 68,38$

Tabela 2.

Fio	x (cm)	y (cm)	y' (cm)	d (μm)	δ (μm)	δ^2 (μm^2)
Fina	100,0	1,8	0,9	72,2	-2,6	6,76
	200,0	3,4	1,7	76,5	1,7	2,89
	300,0	5,2	2,6	75,0	0,2	0,04
	400,0	6,8	3,4	76,5	1,7	2,89
	500,0	8,9	4,5	72,2	-2,6	6,76
	600,0	10,1	5,1	76,5	1,7	2,89
				$\langle d_1 \rangle = 74,8$		$\Sigma = 22,23$
Média	100,0	0,8	0,4	162,5	-3,9	15,21
	200,0	1,3	0,7	185,7	19,3	372,5
	300,0	2,3	1,2	162,5	-3,9	15,21
	400,0	3,2	1,6	162,5	-3,9	15,21
	500,0	4,0	2,0	162,5	-3,9	15,21
	600,0	4,7	2,4	162,5	-3,9	15,21
				$\langle d_1 \rangle = 166,4$		$\Sigma = 448,6$
Grossa	100,0	0,4	0,2	325,0	-9,5	90,25
	200,0	0,8	0,4	325,0	-9,5	90,25
	300,0	1,1	0,6	325,0	-9,5	90,25
	400,0	1,4	0,7	371,0	36,5	1332,2
	500,0	1,8	0,9	361,1	26,6	707,6
	600,0	2,6	1,3	300,0	-34,5	1190,2
				$\langle d_1 \rangle = 334,5$		$\Sigma = 3500,7$

Tabela 1, sendo x a distância do fio ao anteparo, y a distância entre dois máximos de primeira ordem, $y' = y/2$ o valor da distância entre o máximo central e o máximo de primeira ordem, d o diâmetro do fio de cabelo calculado com base no máximo de primeira ordem, $\delta = d - \langle d \rangle$ o desvio com relação ao máximo de primeira ordem e δ^2 os desvios quadráticos em relação ao máximo de primeira ordem:

O desvio padrão da média é dado por:

$$\sigma_{(dn)} = \sqrt{\frac{\Sigma \delta^2}{N(N-1)'}}$$

sendo N o número de medidas.

Assim:

$$d_{\text{fino}} = (49 \pm 1) \mu\text{m}$$

$$d_{\text{grosso}} = (71 \pm 2) \mu\text{m}$$

Os valores acima nos mostram que as medidas dos fios são dadas com uma ordem de erro experimental de 3%. Comparando esses valores com as medidas diretas dos fios de cabelo

empregando um micrômetro, que dá $52 \pm 5 \mu\text{m}$ e $71 \pm 5 \mu\text{m}$ para os fios fino e grosso respectivamente, vemos que os valores são semelhantes dentro da faixa de precisão.

Na Tabela 2 podem ser vistas as medidas do espaçamento entre as linhas obtidas para três típicas telas de serigrafia encontradas no mercado.

Assim, através de uma análise análoga à do fio de cabelo, obtemos o espaçamento das linhas:

Tela Fina: $d = (75 \pm 1) \mu\text{m}$

Tela Média: $d = (166 \pm 4) \mu\text{m}$

Tela Grossa: $d = (334 \pm 11) \mu\text{m}$

Conclusão

Os resultados deste trabalho sugerem o uso de telas de serigrafia para a demonstração ou estudo quantitativo da dispersão ótica, por meio de uma montagem com instrumentos simples, possíveis de serem reproduzidos por qualquer aluno ou professor do Ensino Médio. Não é demais realçar que com o uso da tela de serigrafia, consegue-se demonstrar de maneira muito evidente o fenômeno de difração luminosa.

Por sua vez, o experimento que emprega o fio de cabelo, além de sugerir uma técnica de difração diferente – difração por obstáculo – da encontrada na literatura especializada nesse tipo de divulgação, permite, ainda, ao professor medir e comparar o fio de cabelo de diferentes alunos; um experimento que talvez desperte um maior interesse, pois, ao contrário da largura das invisíveis trilhas de um CD ou de fendas ópticas, os alunos têm a oportunidade de medir e comparar a espessura de algo muito mais concreto, o seu fio de cabelo. Acreditamos, que o estudo das trilhas do CD, após a realização da medida do fio de cabelo ou do espaçamento visível da rede das telas aqui propostas, possa até despertar mais curiosidade sobre o valor das distâncias das trilhas, em razão de ter o aluno, como comparação, a ordem de grandeza desses mais comparáveis a olho nu.

Com os alunos é possível, também, fazer-se uma discussão a respeito da maior acurácia conseguida com o equipamento utilizado, visto que, através dele, foi possível obter resultados mais precisos em relação ao micrômetro que não é um instrumento bastante apropriado devido a sua elevada margem de erro.

De ponto de vista geral podemos afirmar que os equipamentos sugeridos têm ótima relação custo-benefício, visto serem os resultados obtidos muito significativos, em termos experimentais. Pedacos de pano de tela de serigrafia podem ser facilmente conseguidos, por cortesia, em lojas especializadas. Sugere-se, também, a utilização de “meias de seda”, facilmente conseguidas através de mães ou irmãs. Fios de cabelo não apresentam maiores dificuldades de obtenção, assim como, o apontador laser.

Referências

- [1] Catelli, F., Caderno Catarinense de Ensino de Física **16**, 123-126 (1999).
- [2] Cavalcante, M.A.; Jardim, V. e Barros, J.A.A., Caderno Catarinense de Ensino de Física **16**, 154-169 (1999).
- [3] Garcia, N.M.D. e Kalinowski, H.J., Caderno Catarinense de Ensino de Física **11**, 134-140 (1994).
- [4] Halliday, D.; Resnick, R. e Walker, J., *Fundamentos de Física. Ótica e Física Moderna* (Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1995), v. 4, 4ª ed.
- [5] Henneies, C.E.; Guimarães, W.O.N. e Roversi, J.A., *Problemas Experimentais em Física* (Editora da Unicamp, Campinas, 1986), v. 1.
- [6] Kalinowski, H.J.; Dummer, O.S. e Gifforn, E. (org). Redes de difração fotográficas. [Curitiba], 1969. (trabalho apresentado na Feira de Ciências do Paraná, dez. 1969.).
- [7] Kalinowski, H.J. e Garcia, N.M.D., Caderno Catarinense de Ensino de Física **7**, 64-72 (1990).
- [8] Nussenzveig, H.M. *Curso de Física Básica: Ótica, Relatividade e Física Quântica* (Editora Edgard Blucher Ltda., 1998), v. 4, 1ª ed.



Introdução

O conceito de resistência elétrica e o procedimento de cálculo de resistência equivalente de associações de resistores não são, tradicionalmente, conteúdos de Física considerados difíceis pelos estudantes do Ensino Médio, talvez porque o nível típico de conhecimentos exigidos nas avaliações inclua, preponderantemente, a aplicação direta de equações. Como a elaboração matemática desse conteúdo pode ser relativamente simples –incluindo apenas soma de frações e um pouco de álgebra– e abordagens descritivas ou qualitativas nem sempre são incluídas como complemento à aplicação de fórmulas, é possível que uma parcela dos estudantes adquira habilidades limitadas à realização mecânica dos cálculos envolvendo resistividade e associações de resistores, sem que ocorra a apropriação da fenomenologia correspondente. Por esse motivo, é imprescindível que as escolas ofereçam oportunidades de aprendizagem experimental, inclusive porque:

Estudos adicionais sobre habilidades de experimentação mostram que elas se relacionam intimamente com as habilidades de pensamento formal [...] sabemos também que a maioria dos recém adolescentes e muitos jovens adultos ainda não atingiram a plenitude de sua capacidade de raciocínio formal. [1]

Professores atentos à possibilidade de perda de sincronismo entre o conhecimento teórico e o aplicado podem optar, por exemplo, por proporcionar a seus alunos práticas experimentais que enfatizem a descrição qualitativa dos fenômenos, reforçando as relações de interdependência das variáveis resistência, resistividade, comprimento e área de seção reta dos condutores. Mesmo nesses casos, entretanto, o enfoque dado pelo professor às aulas

.....
João Bernardes da Rocha Filho e
Suzana Coelho

PUCRS, Faculdade de Física

.....
Marcos Salami

PUCRS, MCT

.....
Marília Rangel Maciel

Pedro Ubirajara Schrage

Colégio Estadual Júlio de Castilhos

Porto Alegre – RS

.....

Este artigo apresenta um desenvolvimento realizado na PUCRS, em julho e agosto de 2002, envolvendo a viabilidade da utilização de resistores feitos de grafite depositado sobre papel, para a aprendizagem experimental de eletricidade, especificamente em relação aos conteúdos “resistividade e cálculo de resistência equivalente de associações em série e em paralelo de resistores”. Tal técnica permite ao estudante manipular ludicamente variáveis envolvidas na definição de resistência elétrica, além de criar e modificar livremente associações de resistores, utilizando unicamente um multímetro, papel e lápis, e tem potencial para acelerar seu processo de compreensão e aprendizagem desses conteúdos porque é agradável, simples, barata e promove o engajamento e a livre participação de todos os alunos (publicado originalmente no Caderno Brasileiro de Ensino de Física v. 20, n. 2, p. 228-236 (2003)).

experimentais pode caracterizar-se pela preponderância de práticas envolvendo associação de resistores, em detrimento das relações entre resistência e dimensões do condutor, por razões de ordem pragmática: a facilidade com que podem ser realizadas montagens, empregando simplesmente multímetros e resistores de filme de carbono –muito baratos e disponíveis em todas as cidades brasileiras, seja em lojas especializadas, seja na sucata de aparelhos eletrônicos– e a dificuldade intrínseca em desenvolver experimentos econômicos envolvendo a relação entre a resistência elétrica e as dimensões do condutor.

Embora a experimentação relacionada à associação de resistores usando componentes comerciais seja adequada aos propósitos educacionais, raramente experimentos envolvendo a relação entre resistência elétrica e as dimensões são realizados, porque não é trivial produzir alteração nas variáveis dimensionais de componentes comerciais, nem é prático alterá-las em fios metálicos. Uma proposta de experimentação didática que possa contemplar a criação e a manipulação de resistores, além da medição das resistências elétricas individuais e resultantes de associações pode ser, então, uma técnica útil à implementação de práticas pedagógicas orientadas para a promoção de aprendizagens significativas, preenchendo uma lacuna da didática experimental. O desenvolvimento descrito neste artigo apresenta, justamente, uma opção metodológica que oferece aos professores de Física do Ensino Médio a possibilidade de realizar, tanto experimentos de associação de resistores, quanto experimentos envolvendo dimensões e resistência elétrica, utilizando apenas lápis, papel e multímetros comerciais de baixo custo. Ainda que a economia dessa técnica, em relação a procedimentos experimentais que envolvam associação de resistores comerciais, não seja significativa, dado o preço acessível desses componentes, ela pode ser utilizada concomitantemente pelos professores que já dispõem de conjuntos de resistores de filme de carbono, ou resistores de níquel-cromo, pois possui pelo menos três vantagens complementares importantes, que são:

a) possui um potencial promissor para despertar o interesse dos alunos e motivar a aprendizagem, pois lhes oferece a prerrogativa de construir seus próprios resistores e associações, de forma lúdica e criativa;

b) envolve medições de resistência elétrica com possibilidade de atuação sobre variáveis dimensionais, que não são realizadas corriqueiramente no Ensino Médio, permitindo uma compreensão experimental da relação entre a geometria do condutor e sua resistência elétrica;

c) permite que o professor de Física desenvolva um trabalho interdisciplinar com os professores de Química, já que a espessura da camada de grafite depositado sobre o papel tem, normalmente, algumas dezenas de nanômetros, sendo constituída por um número relativamente pequeno de átomos, cuja dimensão é alvo de estudos naquela disciplina.

Criando e analisando resistores de papel e grafite

Os resistores de papel e grafite descritos neste artigo são construídos simplesmente desenhando-os sobre uma folha comum de caderno. Não são necessários recortes, colagens ou qualquer outra operação além do desenho e da medição. Como se sabe, a grafita é um material condutor, embora sua resistividade seja relativamente elevada quando comparada com a dos metais em geral. Como o grafite do lápis é constituído de grafita processada, um risco feito sobre uma superfície isolante, como o papel, por exemplo, se tiver continuidade elétrica suficiente para que se consiga medir a resistência entre dois pontos, pode ser usado como um resistor experimental, útil para uso em laboratórios didáticos de Física.

Conseguir continuidade elétrica em um único risco, porém, pode ser difícil, em face da flexibilidade e irregularidades do papel, que acabam interrompendo o filme de grafite depositado. Nas avaliações realizadas com os grupos de estudantes e professores descritos no resumo, ficou

claro que, embora experimentos satisfatórios possam ser obtidos sem muitos cuidados, os melhores resultados dessa técnica não são atingidos com riscos isolados, mas com desenhos de, pelo menos, 2 mm de largura, obtidos com diversos riscos fortes de lápis com grafite mole (tipo 6B), usado em desenho, que produzem linhas bem escuras e brilhantes.

Embora praticamente qualquer trecho desenhado em grafite possa ser usado como um resistor experimental, alguns desenhos típicos são mostrados na Figura 1 abaixo, na qual R_a , R_b e R_c são exemplos de desenhos diferentes que podem ser adotados, e foram testados preliminarmente pelos grupos e turmas que nos apoiaram. Cabem aqui algumas considerações sobre a escolha da geometria dos desenhos dos resistores. O resistor R_c representa o desenho tradicional utilizado pela maioria dos livros de Física para representar resistores, assim como por grande parte dos professores no momento de abordarem o respectivo assunto. Já o resistor R_b é um tipo de resistor de grafite e papel que o aluno não possuidor de muitos conhecimentos sobre o assunto tende a criar, segundo nossa experiência, provavelmente porque se trata de um desenho intuitivo. E o formato do resistor R_a foi escolhido aleatoriamente, sem preocupação prévia com sua geometria, simplesmente porque é um desenho possível. É importante destacar que o professor ou o aluno que desejar utilizar essa técnica está livre para poder investigar qualquer formato para seus resistores que não constem neste trabalho. As possibilidades são delimitadas pela imaginação, e não iremos nos deter na descrição de outros formatos pois, na compreensão dos autores, seria uma tarefa redundante.

Os círculos e quadriláteros que foram colocados nas extremidades dos traços dos resistores desenhados, mostrados na Figura 1, representam um detalhe necessário: têm funções importantes para a realização da experimentação e sua necessidade ficou evidente nos testes preliminares. A ampliação da área de contato do filme de grafite com as ponteiros metálicos do multímetro usado para a medição da resistência elétrica evita que deficiências nesse contato elétrico causem instabilidade na indicação do instrumento. Além disso, os detalhes assinalam precisamente o ponto de medição, garantindo a repetitividade de medições sucessivas da resistência do mesmo resistor desenhado, e servem como elo de interligação dos resistores desenhados, minimizando a influência da resistência elétrica desses trechos de interligação na resistência final da associação. Essas terminações fazem o papel de elo de ligação do resistor desenhado com o sistema de medição ou com outros resistores. Nos resistores comerciais essas partes de interligação são metálicas, tendo pouca influência na resistência final daqueles componentes. Como não é interessante usar metais para unir os resistores desenhados, dado que um aumento de complexidade pode prejudicar a aplicabilidade desse experimento didático, fazer essas conexões mais largas que os próprios resistores garante que sua influência seja pequena.

Portanto, nas associações em série, paralelo e mista, é necessário que os elos entre os resistores desenhados sejam mais largos que os próprios resistores, de modo a influírem minimamente na resistência equivalente. Assim, exemplos de possíveis associações usando resistores semelhantes aos mostrados anteriormente, são dados nas Figuras 2, 3 e 4. Os grandes retângulos desenhados,

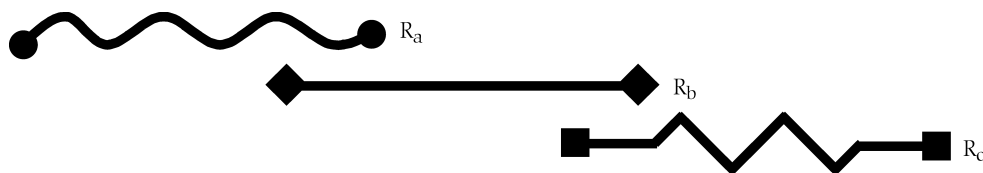


Figura 1. Exemplos de desenhos adequados para a aplicação da técnica resistores de papel e grafite.

unindo as extremidades dos resistores associados nas Figuras 2 e 4, destinam-se a reduzir a resistência elétrica dos trechos de união. As letras X e Y, nessas figuras, assinalam os pontos em que podem ser aplicadas as ponteiros do multímetro, com o objetivo de medir a resistência equivalente da associação. Esses formatos são sugeridos e foram aplicados pelas equipes de professores e estudantes que avaliaram a técnica, e a resistência acrescentada ao circuito pelos retângulos de interligação foi da ordem de 3% da resistência final da associação, sendo desprezível para nossos objetivos educacionais. Os exemplos de associações de resistores, mostrados a seguir, podem ser desenhados no caderno, pelo aluno, e o mesmo pode alterar essas configurações de acordo com suas dúvidas.

Comportamento elétrico dos resistores de papel e grafite

Para verificar a aplicabilidade dos resistores desenhados como alternativa aos resistores comerciais, no ensino de Física, foram realizados experimentos visando à verificação da dependência da resistência elétrica com o comprimento do resistor desenhado, assim como testes envolvendo a largura mínima dos traços que poderiam ser usados com segurança para essa técnica e testes envolvendo a correspondência do valor calculado com o valor medido para associações de resistores. Os dados foram recolhidos durante a apresentação da técnica aos graduandos e mestrandos e, principalmente, durante extensos testes realizados pelos auxiliares de pesquisa no Laboratório de Física do MCT/PUCRS.

Traços de 0,5 mm a 2,5 mm de espessura e 12 cm de comprimento foram feitos com grafite 6B sobre folhas de papel milimetrado, e enquanto uma ponteira do multímetro era mantida sobre uma das extremidades do traço a outra ponteira era deslizada sobre seu comprimento; a resistência indicada pelo instrumento era anotada a intervalos de 2 cm, na Tabela 1. Esses experimentos produziram uma família de curvas que pode ser vista na Figura 5, onde se evidenciam a dependência entre o comprimento e a resistência elétrica para larguras de traços maiores, e que valores praticamente ideais são obtidos a partir de 2 mm de largura. A dispersão das medidas, apesar de ser muito pequena e apenas perceptível no gráfico do resistor 1, reduz-se com o aumento da largura, o que não prejudica a experimentação pois traços de 2 mm de grafite sobre papel são extremamente simples de serem obtidos.



Figura 2. Exemplo de associação em paralelo de três resistores semelhantes aos mostrados na Figura 1.



Figura 3. Exemplo de associação em série de três resistores semelhantes aos mostrados na Figura 1.



Figura 4. Exemplo de associação mista de cinco resistores semelhantes aos mostrados na Figura 1.

Tabela 1. Variação da resistência em função da distância das ponteiros de medição para resistores de papel e grafite retangulares, de 12 cm de comprimento.

Distância entre as ponteiros de medição (cm)	R_1	R_2	R_3	R_4
2	22,6	4,9	1,8	1,3
4	50,0	9,8	3,5	2,6
6	74,8	14,9	6,1	4,0
8	103,9	19,0	9,1	5,5
10	128,0	26,2	11,4	7,4
12	148,6	33,1	14,6	9,9

R_1 : largura do traço: 0,5 mm (k Ω). R_2 : largura do traço: 1,0 mm (k Ω). R_3 : largura do traço: 1,5 mm (k Ω). R_4 : largura do traço: 2,5 mm (k Ω).

Embora o comportamento linear da resistência em função da distância entre ponteiros seja fundamental para o uso didático dos resistores de papel e grafite, outro elemento determinante da aplicabilidade dos resistores desenhados é a concordância entre os valores das resistências calculadas e medidas para associações. Para verificar essa concordância, foram desenhados conjuntos de dois a sete resistores e medidas as suas resistências individuais. Em seguida, eles foram unidos em associações em série e/ou paralelo, e foram feitas medições da resistência total das associações, do mesmo modo mostrado nas Figuras 2, 3 e 4. O resultado desse experimento está sintetizado na Tabela 2, que relaciona os valores previstos por cálculo e os que são medidos diretamente para a resistência das associações.

As pequenas divergências entre as duas últimas colunas da Tabela 2 devem-se, principalmente, à resistência acrescida à associação pelas ligações entre os resistores desenhados, e podem ser utilizadas como tema de um debate crítico, ao final de uma aula experimental, quando os próprios alunos podem ser levados a discutir e explicar seus resultados. Em uma etapa posterior do processo, o professor pode explorar essas divergências como mais um recurso didático oferecido pela técnica, solicitando aos alunos que meçam as resistências das conexões, e as incluam nos cálculos.

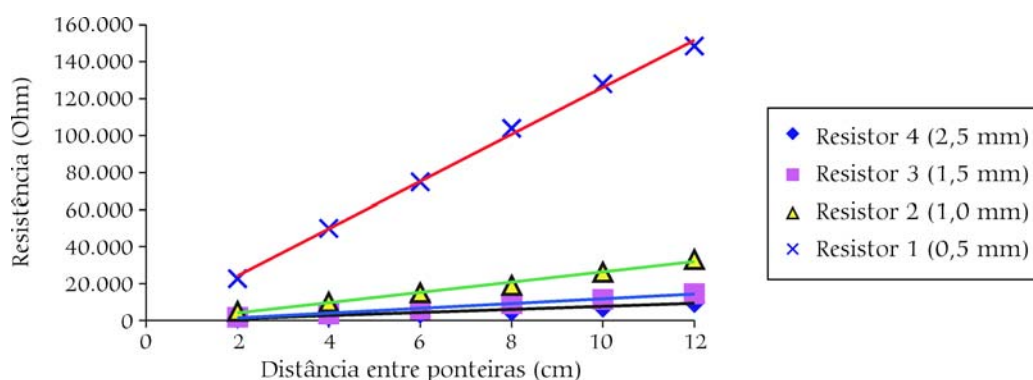


Figura 5. Família de curvas mostrando a dependência da Resistência x Comprimento para resistores desenhados de 12 cm de comprimento e de diferentes larguras.

Tabela 2. Resistências individuais medidas e resistências calculadas e medidas para associações.

Tipo de associação de resistores	R_1 (M Ω)	R_2 (M Ω)	R_3 (M Ω)	R_4 (M Ω)	R_5 (M Ω)	R_6 (M Ω)	R_7 (M Ω)	R_{ec} (M Ω)	R_{em} (M Ω)
Paralelo [$R_1//R_2$]	0,21	0,11	-	-	-	-	-	0,07	0,07
Paralelo [$R_1//R_2$]	0,46	0,77	-	-	-	-	-	0,29	0,29
Paralelo [$R_1//R_2$]	0,15	0,07	-	-	-	-	-	0,05	0,05
Série [R_1+R_2]	0,23	0,17	-	-	-	-	-	0,40	0,40
Série [R_1+R_2]	0,11	0,34	-	-	-	-	-	0,45	0,46
Série [$R_1+R_2+R_3$]	0,39	0,54	0,43	-	-	-	-	1,36	1,39
Mista [$R_1+(R_2//R_4)+R_3$]	0,41	0,29	0,34	0,28	-	-	-	0,89	0,92
Mista [$R_3//(R_3+R_4)/(R_1+R_2)$]	0,20	0,34	0,19	0,20	0,32	-	-	0,13	0,13
Mista [$R_1+(R_2//R_3)+R_4+(R_5//R_6//R_7)$]	0,76	0,75	0,57	1,42	0,84	0,60	0,58	2,72	2,75

R_{ec} : Resistência equivalente calculada. R_{em} : Resistência equivalente medida.

Foram realizados, também, testes para averiguar se os resistores de papel e grafite apresentavam a dependência inversa esperada entre a resistência e a largura, de forma que pudessem ser utilizados para práticas experimentais que envolvessem a verificação da influência da largura do traço na resistência final. Como se pode avaliar pela Tabela 2, comparando a resistência de resistores com larguras diferentes e ponteiros igualmente distanciadas, a relação inversa da resistência com a largura fica melhor caracterizada para resistores mais largos. Os experimentos realizados sugerem que esse fato esteja relacionado à relativa dificuldade em desenhar resistores com larguras pequenas e espessuras constantes e, assim, para experimentos nos quais o professor esteja interessado em explorar a relação entre a largura do resistor e sua resistência elétrica, é aconselhável que utilize desenhos com mais 5 mm de largura. Em experimentos com resistores desenhados de 10 mm e 20 mm de largura e 100 mm de comprimento, foi possível obter concordância melhor que 5% na relação entre a resistência esperada e a medida.

Conclusões

A técnica resistores de papel e grafite foi desenvolvida com o objetivo de oferecer aos alunos uma prática experimental simples e econômica, eficaz na construção de concepções úteis, que contribua substancialmente para a aprendizagem significativa de alguns conceitos em eletricidade. Para avaliar preliminarmente os efeitos de sua aplicação, a técnica foi apresentada a professores mestrandos do EDUCEM/PUCRS, a alunos de graduação em Física da FAFIS/PUCRS e a estudantes do Ensino Médio, das redes pública e privada de Porto Alegre, que participam de um programa de intercâmbio com o MCT/PUCRS.

Dentro do espírito de tentar melhorar a qualidade do ensino de Física a partir da disseminação de práticas experimentais simples, os resistores de papel e grafite representam uma técnica de baixo custo, lúdica e eficiente como auxiliar do ensino dos conceitos de resistência elétrica e de associação de resistores. Sua difusão ao maior número possível de professores do Ensino Médio está sendo providenciada por meio deste artigo e de apresentações em seminários e oficinas. Opiniões, sugestões e críticas de colegas interessados no tema serão bem acolhidas.

Referência

- [1] Padilla, M.J. Caderno Catarinense de Ensino de Física **5**, 162-167 (1988).



Introdução

O presente comentário refere-se ao artigo supracitado, no qual os autores estabelecem indevidamente uma identidade entre a *força eletromotriz equivalente* de uma associação de pilhas e a *diferença de potencial elétrico* que tal associação fornece à porção externa do circuito elétrico. Além disso, na conclusão, os autores passam a idéia de que a associação de pilhas em paralelo é usual, interpretando, como referida à associação em paralelo, a afirmação de que “muitos fabricantes de artigos eletrônicos não recomendam que em seus equipamentos sejam colocadas pilhas usadas, juntamente com novas...” [5].

Damos início ao comentário fazendo a distinção entre *diferença de potencial elétrico* e *força eletromotriz* para, em seguida, analisar teoricamente, sem recorrer ao teorema de Thévenin [8], as associações de fontes ou geradores elétricos. No final, expomos as razões pelas quais é inusitado, incomum, o uso da associação de pilhas em paralelo.

Diferença de potencial elétrico e força eletromotriz

Para analisar uma associação de fontes elétricas, seja uma associação em série ou em paralelo, partimos da *equação do gerador elétrico* – encontrada nos bons livros de Ensino Médio –, referente à *diferença de potencial elétrico* entre os terminais de uma fonte (*pilha, bateria...*) quando há demanda de corrente elétrica (vide Figura 1). Essa equação estabelece que a *diferença de potencial elétrico* entre os terminais de um gerador (representada por V_{ba}) é igual a sua *força eletromotriz* ($\mathcal{E}$) menos o produto da *intensidade da corrente elétrica* (i) na fonte pela sua *resistência elétrica interna* (r). Ou seja:

.....
Fernando Lang da Silveira

Instituto de Física, UFRGS
 Porto Alegre, RS

.....
Rolando Axt

Departamento de Física, Estatística e
 Matemática, UNIJUÍ
 Ijuí, RS

Neste artigo são comentados alguns enganos comuns envolvendo os conceitos de força eletromotriz equivalente e diferença de potencial elétrico (publicado originalmente no Caderno Brasileiro de Ensino de Física v. 20, n. 2, p. 391-399 (2003)).

$$V_{b,a} = \varepsilon - ir \quad (1)$$

Uma importante consequência da *equação do gerador* é que a *diferença de potencial elétrico* entre os seus terminais, quando há demanda de corrente pela parte externa do circuito elétrico, é menor do que o valor da sua *força eletromotriz*. Somente em circuito aberto - isto é, não havendo demanda de corrente no gerador - a *diferença de potencial elétrico* entre os seus terminais tem o mesmo valor da *força eletromotriz*. Ainda quando as duas grandezas possuem valores idênticos, não podemos confundi-las, pois, embora tenham a mesma unidade de medida (Volt), são conceitualmente diferentes: a *diferença de potencial elétrico* expressa o trabalho por unidade de carga realizado por um *campo eletrostático*, enquanto a *força eletromotriz* exprime o trabalho por unidade de carga realizado por um *campo não-eletrostático* [6, 7]. Nas pilhas e nas baterias, esse *campo não-eletrostático* é de natureza *eletroquímica*, atuando no interior do gerador, orientado do terminal de potencial mais baixo (negativo) para o terminal de potencial mais alto (positivo); nos geradores eletromecânicos, o *campo não-eletrostático* é *induzido eletromagneticamente*. Discutir conceitualmente, qualitativamente, o que seja a *força eletromotriz* é extremamente importante para se entender que, contrariamente às idéias “intuitivas” que as pessoas em geral e mesmo autores de livros didáticos [9] têm sobre fontes, elas não são depósitos de *carga elétrica*. Se fossem, a energia ali armazenada seria *energia eletrostática* (como acontece em um capacitor) ao invés de *energia química*.

No interior de pilhas e baterias, as *cargas livres* (cargas responsáveis pela corrente elétrica) não são *elétrons* como nos metais; são *íons positivos* e *íons negativos*. Nas baterias de automóvel (*baterias chumbo-ácido*), a corrente elétrica é devida principalmente ao movimento dos *íons positivos*, pois eles têm mobilidade muito maior do que os *íons negativos* [10].

Associação de geradores elétricos

Podemos agora analisar as associações em série e em paralelo de fontes ou geradores elétricos. Começemos pela primeira, notando que na associação em série há uma única corrente elétrica (i). A Figura 2 representa uma porção do circuito, com duas fontes associadas em série, com demanda de corrente [11], sendo $V_{b,a}$ e $V_{c,b}$ as *diferenças de potencial elétrico* entre seus terminais (b e a ; c e b).

Uma associação de geradores em série é utilizada para se obter, entre os terminais da associação, uma *diferença de potencial elétrico* que seja maior do que a *diferença de potencial elétrico* entre os terminais de apenas um dos geradores. No sistema representado na Figura 2, a *diferença de potencial elétrico* $V_{c,a}$, entre os terminais da associação, é igual à soma das *diferenças de potencial elétrico* ($V_{b,a} + V_{c,b}$), entre os terminais de cada um dos geradores, ou seja,

$$V_{c,a} = V_{b,a} + V_{c,b} \quad (2)$$

Recorrendo à Eq. (1), temos:

$$V_{c,a} = \varepsilon_1 - ir_1 + \varepsilon_2 - ir_2 \quad (3)$$

$$V_{c,a} = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) - (r_1 + r_2) \quad (4)$$

Na Eq. (4), o somatório das forças eletromotrizes é a força eletromotriz equivalente da associação (ε_{eq}). O somatório das resistências elétricas internas é a resistência elétrica interna equivalente (r_{eq}) da associação em série das duas resistências elétricas

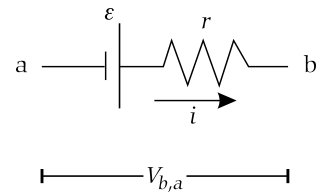


Figura 1. Porção do circuito compreendendo um gerador com demanda de corrente.

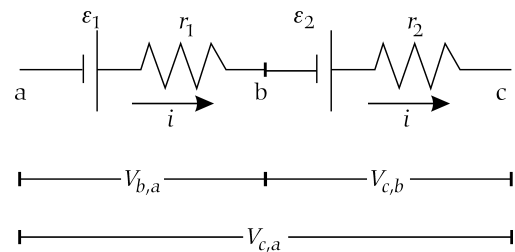


Figura 2. Porção do circuito com associação em série de geradores elétricos.

internas. Ou seja, a associação de duas fontes em série comporta-se como uma única fonte (a fonte equivalente da associação) com as características representadas na Figura 3.

Uma associação de dois geradores em paralelo (vide a Figura 4) é utilizada para se obter uma *intensidade da corrente elétrica* (i) que seja maior do que a *intensidade da corrente elétrica* possível em um único gerador, sendo ela igual à soma das *intensidades da corrente elétrica* ($i_1 + i_2$) em cada um dos geradores, ou seja,

$$i = i_1 + i_2 \quad (5)$$

Como os dois geradores estão conectados aos mesmos terminais b e a , a *diferença de potencial* entre os terminais b e a pode ser expressa em função da *força eletromotriz*, da *resistência interna* e da *intensidade da corrente elétrica* em cada um dos geradores. Através da Eq. (1) - *equação do gerador elétrico* -, obtém-se para a fonte 1:

$$V_{b,a} = \varepsilon_1 - i_1 r_1 \quad (6)$$

Isolando-se i_1 na Eq. (6), resulta:

$$i_1 = \frac{\varepsilon_1 - V_{b,a}}{r_1} \quad (7)$$

Através da Eq. (1) - *equação do gerador elétrico* -, obtém-se para a fonte 2:

$$V_{b,a} = \varepsilon_2 - i_2 r_2 \quad (8)$$

Isolando-se i_2 na Eq. (8), resulta:

$$i_2 = \frac{\varepsilon_2 - V_{b,a}}{r_2} \quad (9)$$

Substituindo-se as *intensidades das correntes elétricas* dadas pelas Eqs. (7) e (9) na Eq. (5), encontra-se:

$$i = \frac{\varepsilon_1 - V_{b,a}}{r_1} + \frac{\varepsilon_2 - V_{b,a}}{r_2} \quad (10)$$

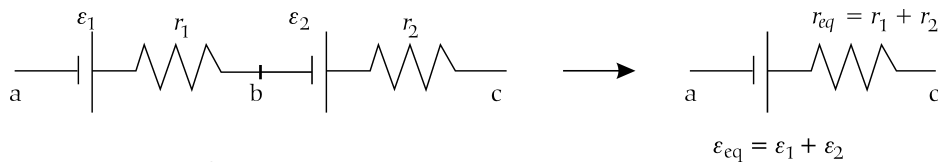


Figura 3. Representação da fonte equivalente da associação em série de dois geradores elétricos.

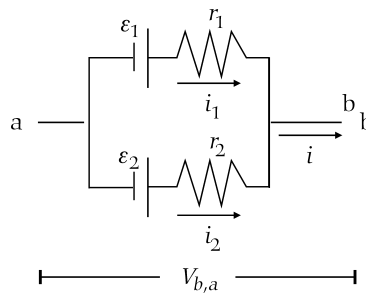


Figura 4. Porção do circuito com associação em paralelo de dois geradores elétricos.

Isolando-se a *diferença de potencial* entre *b* e *a* na Eq. (10), obtém-se:

$$V_{b,a} = \frac{\varepsilon_1 \cdot r_2 + \varepsilon_2 \cdot r_1}{r_1 + r_2} - i \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \quad (11)$$

A expressão entre parênteses, que multiplica a *intensidade da corrente elétrica* (*i*) na Eq. (11), é a *resistência elétrica equivalente* (r_{eq}) da associação em paralelo das *resistências elétricas internas* das duas fontes. A primeira expressão entre parênteses, no lado direito da Eq. (11), é a *força eletromotriz equivalente* (ε_{eq}) da associação em paralelo das duas fontes. Dessa forma, a Eq. (11) – *equação do gerador para a associação das duas fontes em paralelo* – prova que uma associação em paralelo de duas fontes é equivalente a uma única fonte (a fonte equivalente da associação), que apresenta as propriedades explicitadas na Figura 5.

Como acabamos de demonstrar, as características da fonte equivalente de uma associação em série, ou em paralelo, decorrem das propriedades fundamentais dos circuitos de corrente contínua, não havendo necessidade de se utilizar o pouco conhecido *teorema de Thévenin* [12].

Da Eq. (11) decorre que a *diferença de potencial elétrico* entre os terminais da fonte equivalente, quando ela efetivamente alimenta um dispositivo externo – ou seja, quando $i > 0$ –, é menor do que a *força eletromotriz equivalente*.

$$V_{b,a} < \frac{\varepsilon_1 \cdot r_2 + \varepsilon_2 \cdot r_1}{r_1 + r_2} \quad (12)$$

Sendo assim, é incorreto igualar a *diferença de potencial* fornecida pela associação de geradores à parte externa do circuito com a *força eletromotriz equivalente* dessa associação [5].

Associação de pilhas em paralelo: Onde e quando é usada?

A maioria dos equipamentos elétricos ou eletrônicos que utilizam como fonte de alimentação diversas *pilhas* vale-se da associação em série [13].

Uma das razões pelas quais se evitam as associações de *pilhas* em paralelo é que, se houver diferenças entre as *forças eletromotrizes*, ainda que pequenas, ocorrerão correntes internas à associação, acarretando um indesejável consumo de energia, mesmo quando a parte do circuito externo estiver desligada. “Geradores associados em paralelo podem criar correntes internas entre os geradores componentes... pelo menos um deles funciona como receptor, consumindo energia” [2].

Um motivo para se utilizarem *pilhas* em paralelo poderia ser o de aumentar a *energia química* armazenada na associação, a fim de que as pilhas operassem durante um tempo maior. Entretanto, como a *energia química* armazenada cresce com o volume da *pilha*, esse objetivo é muito mais facilmente exequível utilizando-se *pilhas* maiores (é o que acontece nos equipamentos elétricos e eletrônicos). Os aparelhos de telefonia, até a década de sessenta do último século, eram alimentados por *pilhas* de 1,5 V que mediam cerca de 5 cm de diâmetro e 15 cm de altura!! Tais *pilhas* também eram utilizadas em atividades experimentais propostas nos manuais do PSSC.

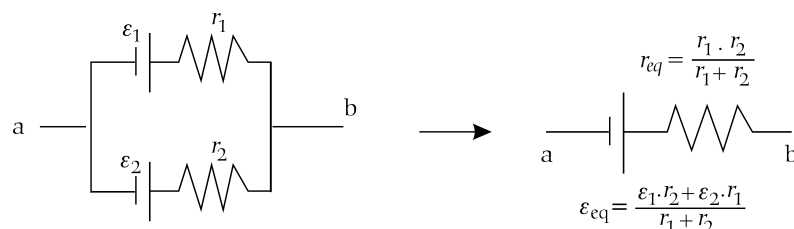


Figura 5. Representação da fonte equivalente da associação em paralelo de dois geradores elétricos.

Tabela 1. Resultados experimentais para pilhas novas de 1,5 V.

Tipo da pilha	Intensidade da corrente de curto circuito (A)	Resistência interna (Ω)
Pilha grande alcalina	16,0	0,10
Pilha grande convencional	7,5	0,22
Pilha pequena alcalina	13,3	0,12
Pilha pequena convencional	4,6	0,36
Pilha pequena de vendedor ambulante	2,7	0,56

Outra razão para o emprego de *pilhas* em paralelo seria a de se obter maior *intensidade de corrente* [14] do que com uma única *pilha*. Esse objetivo é exequível mais facilmente utilizando-se *pilhas* com *resistência interna* menor. A *resistência interna* das *pilhas* diminui com o aumento do seu tamanho; as *pilhas* pequenas novas têm *resistência interna* maior do que as *pilhas* grandes novas [15]. A natureza dos reagentes químicos também influi: se compararmos uma *pilha* convencional com uma alcalina (ambas novas e de mesmo tamanho), notaremos que a *pilha* alcalina tem *resistência interna* menor do que a convencional.

Para dar uma idéia concreta sobre a influência que tem o tamanho e a natureza da *pilha* sobre a *resistência interna*, apresentamos a Tabela 1, com valores determinados experimentalmente para algumas *pilhas* novas.

Finalmente, é preciso registrar que a recomendação dos fabricantes, no sentido de se utilizarem *pilhas* de mesma natureza e em mesmo estado de uso, aplica-se certamente a associação em série. Em tal associação, a *resistência interna equivalente* é a soma das *resistências internas* (vide Figura 3). Se for feita uma associação de *pilhas* que inclua uma *pilha* velha (ou de qualidade inferior – como as compradas no comércio ambulante), com *resistência interna* algumas vezes maior do que a de uma *pilha* nova, o desempenho da associação estará prejudicado, pois, além de limitar a corrente máxima a um valor substancialmente menor [16], a *pilha* velha poderá dissipar mais potência do que libera, não transferindo potência para a parte externa do circuito [17].

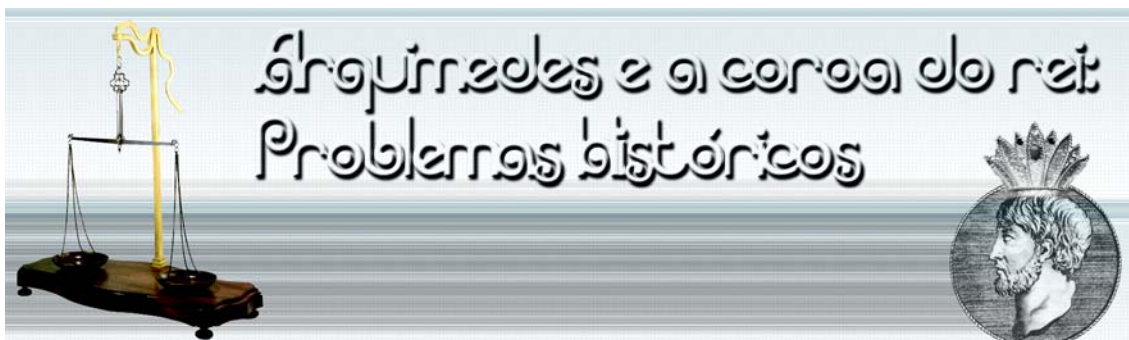
Agradecimentos

Agradecemos à Prof^a. Maria Cristina Varriale, pela leitura crítica deste comentário e pelas valiosas sugestões para melhorá-lo.

Referências

- [1] F. Cabral e A. Lago, *Física 3* (Harbra, São Paulo, 2002).
- [2] A. Gaspar, *Física 3* (Ática, São Paulo, 2001).
- [3] M. Gussow, *Eletricidade Básica* (Pearson Education, São Paulo, 1997).
- [4] N.I. Kochkin e M.G. Chirkévitch, *Prontuário de Física Elementar* (MIR, Moscou, 1986).
- [5] D.P.M. Lopes, D.L. Chinaglia e J.R. Pimentel, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **20**, 17 (2003).
- [6] H.M. Nussenzweig, *Curso de Física Básica 3* (Edgard Blücher, São Paulo, 1997).
- [7] I.V. Savéliev, *Curso de Física General* (MIR, Moscou, 1984).
- [8] O teorema de Thévenin não é encontrado em livros de Ensino Médio, nem em livros de Física Geral para o terceiro grau, integrando a literatura mais especializada em circuitos elétricos, por exemplo, Gussow (1997). Desta forma, pode estar havendo um certo exagero em efetuar “uma análise qualitativa para o Ensino Médio” de uma associação em paralelo de *pilhas*, utilizando-se o referido teorema. Vide também Ref. 12.
- [9] Por exemplo, a afirmação “Baterias modernas conseguem armazenar grandes quantidades de carga...”, contida no texto de Cabral e Lago [1], além de ser incorreta, não faz outra coisa do que reforçar a concepção errônea que as pessoas têm sobre *baterias*.

- [10] O eletrólito das *baterias chumbo-ácido* é uma solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4). A corrente elétrica nesse eletrólito é devida principalmente aos *cátions* H^+ pois eles possuem uma mobilidade quase cinco vezes maior do que a mobilidade dos *ânions* SO_4^{2-} [4].
- [11] Nesta representação, omitimos a parte do circuito que é externa à(s) fonte(s). Essa parte externa pode estar constituída por mais de um elemento; entretanto, para fins de análise do comportamento da(s) fonte(s), basta saber que está havendo uma demanda de corrente. A *intensidade da corrente elétrica* que efetivamente ocorre na(s) fonte(s) não depende apenas dela(s), mas da totalidade do circuito. Este aspecto, que pode parecer trivial, não o é para grande parte dos nossos alunos, como diversas pesquisas sobre as *concepções alternativas* têm demonstrado.
- [12] Qualitativamente, o *teorema de Thévenin* afirma que qualquer rede de fontes e resistores é equivalente a uma única fonte. Os resultados aqui obtidos, para duas fontes em série e em paralelo, são casos particulares daquele teorema. Assim, não precisamos argumentar com base em um teorema não demonstrado para analisar as associações de fontes.
- [13] Desconhecemos a existência de algum equipamento, alimentado por *pilhas*, com tal tipo de associação. Diversas vezes utilizamos a associação em paralelo de duas *baterias* de automóvel, com o objetivo de auxiliar temporariamente a *bateria* que estava fraca. Também associamos *pilhas* em paralelo, para obter uma maior corrente de curto-circuito em demonstrações de sala de aula; neste caso, tomamos o cuidado de, imediatamente após a demonstração, desfazer a associação, pelo motivo que exporemos logo a seguir no próprio texto. Em casos extremos, quando é necessária uma corrente elétrica muito elevada, como para se acionar motores de arranque de grandes máquinas ou produzir a excitação magnética inicial de geradores eletromecânicos, é utilizada a associação em paralelo (ou mista) de diversas *baterias*.
- [14] Se, no caso de uma única fonte, a demanda em *intensidade de corrente* for da mesma ordem de grandeza da máxima possível – que é igual à *intensidade de corrente de curto-circuito*, ou seja, igual à razão entre a *força eletromotriz* pela *resistência interna* –, a associação em paralelo de fontes iguais determinará um incremento relevante na corrente. Mas, se a demanda for de uma corrente elétrica inferior a 1/10 da corrente de curto-circuito da fonte, não haverá ganho apreciável em corrente ao se associar fontes em paralelo. Ainda assim, tal associação poderá ser desejável, posto que a corrente em cada gerador acabará sendo menor do que a corrente total.
- [15] Durante a vida de uma *pilha*, a *força eletromotriz* permanece praticamente inalterada, ao passo que sua *resistência interna* cresce. *Pilhas* velhas e inúteis são reconhecidas não por sua *força eletromotriz* (que pode ainda ser praticamente a mesma de uma nova), mas pela redução na corrente de curto-circuito, causada pelo crescimento da sua *resistência interna*.
- [16] A *pilha* velha (ou de baixa qualidade) aumenta muito a *resistência interna equivalente* da associação, determinando uma redução na máxima *intensidade de corrente* (corrente de curto-circuito).
- [17] A potência que efetivamente uma *pilha* transfere para fora de si (*potência de saída* ou *potência útil*) é a diferença entre a *potência de entrada* (potência devida à *força eletromotriz*, igual ao produto ϵi) e a *potência dissipada na resistência interna* (dada por ri^2). Se $ri^2 > \epsilon i$, a *pilha* consome mais potência do que produz. Por exemplo, imaginemos a associação em série da *pilha* pequena de *vendedor ambulante* com três *pilhas* alcalinas pequenas, alimentando um resistor de $1,0 \, \Omega$. A *intensidade da corrente* será aproximadamente o quociente de 6 V por $(1,0 + 0,12 + 0,12 + 0,12 + 0,56) \, \Omega$, ou seja, algo em torno de 3 A. (Se fossem utilizadas quatro *pilhas* alcalinas, a *intensidade da corrente* seria aproximadamente 4 A.) A *potência de entrada* da *pilha* de *vendedor ambulante* será aproximadamente $(1,5 \times 3) \, \text{W} = 4,5 \, \text{W}$; a *potência dissipada na resistência interna* dessa mesma *pilha* será aproximadamente $(0,56 \times 3^2) \, \text{W} = 5 \, \text{W}$. Portanto, nesta situação, além de reduzir a corrente elétrica de 4 A para 3 A, a *pilha* de *vendedor ambulante* consome mais potência do que produz!



Introdução

Muitos livros e enciclopédias repetem histórias que não possuem nenhum fundamento, como a lenda sobre Arquimedes e a coroa do rei Hieron II de Siracusa. Costuma-se dizer que o famoso matemático estava tentando determinar se o ourives que a fabricou havia substituído uma parte do ouro por prata e que a solução surgiu durante um banho. A lenda afirma que Arquimedes teria notado que transbordava uma quantidade de água da banheira, correspondente ao seu próprio volume, quando entrava nela e que, utilizando um método semelhante, poderia comparar o volume da coroa com os volumes de iguais pesos de prata e ouro: bastava colocá-los em um recipiente cheio de água, e medir a quantidade de líquido derramado. Feliz com essa fantástica descoberta, Arquimedes teria saído correndo, nu, pelas ruas, gritando “eureka” (em grego, evidentemente!) [6].

Como determinar se um suposto relato histórico é fidedigno ou não? Que tipo de critério se pode utilizar para saber se um fato descrito por um autor ocorreu ou não? Esse é o tipo de questão que ocorre imediatamente a um historiador da Ciência ao ler descrições como essa.

Método de análise

Questões relativas a um passado remoto devem ser discutidas com base em documentos, testemunhos e objetos associados àquele passado remoto. Além disso, questões envolvendo a História da Ciência estão sujeitas a uma análise que leva em conta o próprio conhecimento científico atual, uma vez que uma análise anacrônica (embora criticável sob outros aspectos) é válida para tentar-se determinar se um fenômeno é possível ou plausível [7].

.....
Roberto de Andrade Martins
 Instituto de Física – UNICAMP
 Campinas – SP

Este artigo discute a história de que Arquimedes teria descoberto a falsificação da coroa do rei Hieron de Siracusa a partir de medidas da água derramadas pela coroa e por iguais pesos de ouro e de prata. Essa história, relatada pela primeira vez por Vitruvius, é repetida constantemente em livros didáticos e em sala de aula. Contudo, esse método atribuído a Arquimedes não seria adequado por causa dos erros introduzidos pela tensão superficial do líquido. Galileo já suspeitava que Arquimedes teria utilizado outro método, empregando pesagens (balança hidrostática) e não medidas de líquido derramado. Há mais de cem anos, Berthelot encontrou um texto do início da era cristã que confirmava a conjectura de Galileo, pois atribuía a Arquimedes esse segundo método. Apesar disso, autores sem um bom conhecimento sobre a História da Ciência copiam-se uns aos outros e perpetuam a velha interpretação implausível e sem base histórica (publicado originalmente no Caderno Catarinense de Ensino de Física v. 17, n. 2, p. 115–121 (2000)).

A partir da análise de todos esses fatores, pode-se construir um argumento defendendo alguma conclusão e deve-se deixar claro até que ponto a conclusão é algo bem fundamentado ou apenas uma opinião ou conjectura. Tentar esclarecer, por exemplo, se Arquimedes realmente analisou a coroa do rei Hieron de tal e tal maneira exige uma análise de diversos aspectos:

1) Quem descreveu os procedimentos, quando e a partir de que fontes de informação?

2) Esses procedimentos são possíveis e plausíveis (do ponto de vista científico)?

3) Que documentos, testemunhos e objetos do passado podem ser utilizados para tentar esclarecer esse ponto?

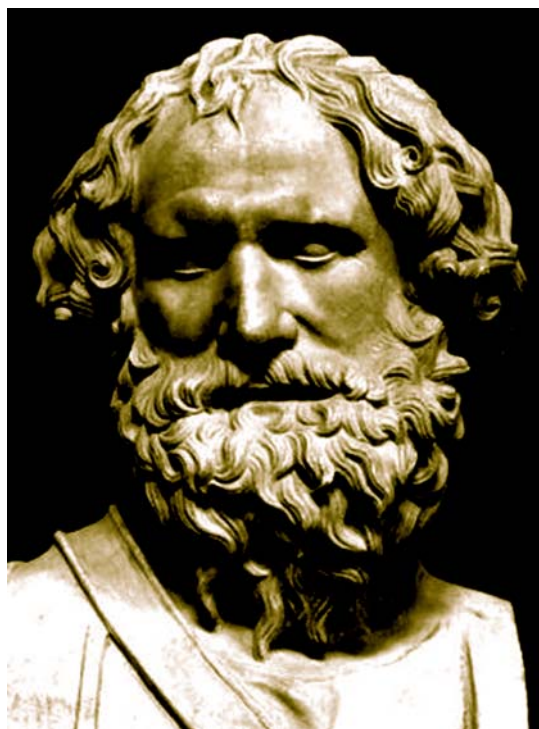
4) Até que ponto se pode chegar a uma conclusão segura sobre essa questão?

A fonte da lenda: Vitruvius

Começemos pelo ponto (1): como se originou essa versão da história?

Nenhuma das obras de Arquimedes que foram conservadas menciona essa questão. O autor mais antigo que a descreveu foi Marcus Vitruvius Pollio, um arquiteto romano do século I a.C., em sua obra *De architectura*. Eis a tradução do trecho relevante:

*Quanto a Arquimedes, ele certamente fez descobertas admiráveis em muitos domínios, mas aquela que vou expor testemunha, entre muitas outras, um engenho extremo. Hieron de Siracusa, tendo chegado ao poder real, decidiu colocar em um templo, por causa de seus sucessos, uma coroa de ouro que havia prometido aos deuses imortais. Ofereceu assim um prêmio pela execução do trabalho e forneceu ao vencedor a quantidade de ouro necessária, devidamente pesada. Esse, depois do tempo previsto, submeteu seu trabalho, finalmente manufaturado, à aprovação do rei e, com uma balança, fez uma prova do peso da coroa. Quando Hieron soube, através de uma denúncia, que certa quantidade de ouro havia sido retirada e substituída pelo equivalente em prata, incorporada ao objeto votivo, furioso por haver sido enganado, mas não encontrando nenhum modo de evidenciar a fraude, pediu a Arquimedes que refletisse sobre isso. E o acaso fez com que ele fosse se banhar com essa preocupação em mente e ao descer à banheira, notou que, à medida que lá entrava, escorria para fora uma quantidade de água igual ao volume de seu corpo. Isso lhe revelou o modo de resolver o problema: sem demora, ele saltou cheio de alegria para fora da banheira e completamente nu, tomou o caminho de sua casa, manifestando em voz alta para todos que havia encontrado o que procurava. Pois em sua corrida ele não cessava de gritar, em grego: *εὕρηκα, εὕρηκα* ["Encontrei, encontrei!"]. Assim encaminhado para sua descoberta, diz-se que ele fabricou dois blocos de mesmo peso, igual ao da coroa, sendo um de ouro e o outro de prata. Feito isso, encheu de água até a borda um grande vaso, no qual mergulhou o bloco de prata. Escoou-se uma quantidade de água igual ao volume imerso no vaso. Assim, depois de*



Arquimedes, 287a.C.-212a.C.

retirado o corpo, ele colocou de volta a água que faltava, medindo-a com um sextarius [8], de tal modo que o nível voltou à borda, como inicialmente. Ele encontrou assim o peso de prata correspondente a uma quantidade determinada de água. Feita essa experiência, ele mergulhou, então, da mesma forma o corpo de ouro no vaso cheio, e depois de retirá-lo fez então sua medida seguindo um método semelhante: partindo da quantidade de água necessária, que não era igual e sim menor, encontrou em que proporção o corpo de ouro era menos volumoso do que o de prata, quando tinham pesos iguais. Em seguida, depois de ter enchido o vaso e mergulhado desta vez a coroa na mesma água, descobriu que havia escoado mais água para a coroa do que para o bloco de ouro de mesmo peso, e assim, partindo do fato de que fluía mais água no caso da coroa do que no do bloco, inferiu por seu raciocínio a mistura de prata ao ouro e tornou manifesto o furto do artesão. [5].

Há elementos um pouco estranhos na história. Por que motivo alguém encheria uma banheira até a borda? Para molhar todo o chão do lugar onde a pessoa ia tomar banho? Se o banho havia sido preparado por um escravo (uma hipótese plausível), ele próprio teria que secar todo o chão, depois. Não é muito razoável pensar que ele enchesse a banheira até a borda.

Vitruvius não viveu na época de Arquimedes e sim dois séculos depois, portanto suas palavras não constituem uma informação de primeira mão. Em que tipo de fonte ele baseou-se? Não o sabemos.

Dificuldades físicas do método

Vejamos, agora, o ponto (2): poderia Arquimedes ter utilizado esse método?

Basta um pouco de bom senso para perceber que esse método de medida de volume não pode funcionar. Suponhamos que a coroa do rei tivesse um diâmetro da ordem de 20 cm. Então, seria

Há elementos um pouco estranhos no episódio de Arquimedes e a coroa. Por que motivo alguém encheria uma banheira até a borda? Para molhar todo o chão do lugar onde a pessoa ia tomar banho?

preciso utilizar um recipiente com raio superior a 10 cm, cheio de água, e medir a mudança de nível ou a quantidade de líquido derramado quando a coroa fosse colocada lá dentro. Suponhamos que a massa da coroa fosse da ordem de 1 kg e que a sua densidade (por causa da falsificação) fosse de 15 g/cm³ (um valor intermediário entre a densidade do ouro e a da prata). Seu volume seria então de 67 cm³. Colocando essa coroa no recipiente cheio de água, cuja abertura teria uma área superior a 300 cm², o nível do líquido subiria uns 2 mm. É pouco plausível que fosse possível medir essa variação de nível ou medir a quantidade de líquido derramado com uma precisão

suficiente para chegar a qualquer conclusão, por causa da tensão superficial da água. Se o recipiente estivesse totalmente cheio, ao mergulhar a coroa dentro dele, poderia cair uma quantidade de líquido muito maior ou muito menor do que o volume da coroa (ou mesmo não cair nada). Portanto, é fisicamente pouco plausível que Arquimedes pudesse utilizar esse tipo de método.

Muitos autores antigos perceberam as dificuldades do método que Vitruvius atribuiu a Arquimedes. Um deles foi Galileo Galilei, que comentou sobre isso em um pequeno trabalho chamado *La bilancetta*. Nesse trabalho, ele afirmou que o método utilizando a quantidade de água que transbordava do recipiente seria “muito grosseiro e longe da perfeição”, ou “de todo falho”, e comentou:

Acreditaria sim que, difundindo-se a notícia de que Arquimedes havia descoberto o furto por meio da água, algum autor contemporâneo terá deixado algum relato do fato; e que o mesmo, ao

acrescentar qualquer coisa ao pouco que havia entendido pelos rumores espalhados, disse que Arquimedes havia utilizado a água do modo que passou a ser o universalmente aceito. [2].

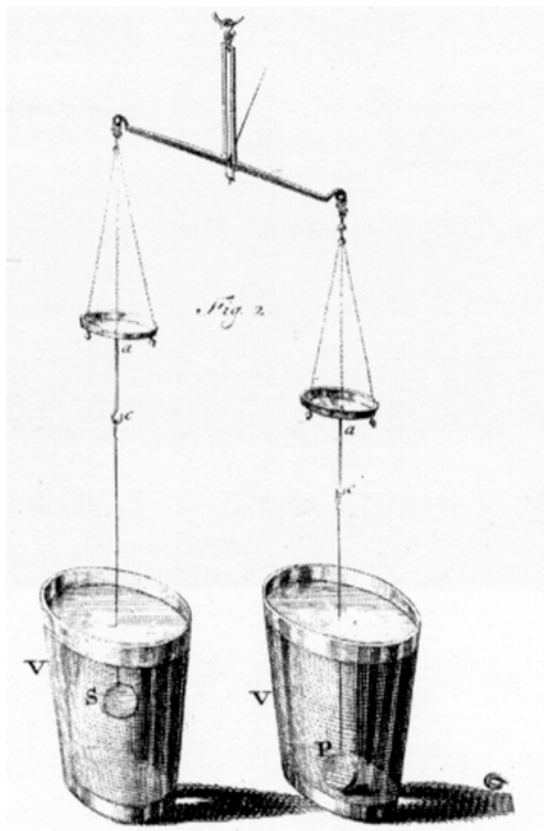
Galileo sugeriu que, em vez de utilizar o método descrito por Vitruvius, Arquimedes teria realizado medidas de peso (e não de volume) para resolver o problema, utilizando aquilo que chamamos de “princípio de Arquimedes”: cada corpo mergulhado em um líquido sofre um empuxo igual ao peso do líquido deslocado. Suponhamos que tomamos a coroa e um igual peso de ouro (medidos no ar). Depois, mergulhamos cada um na água, preso a um fio, e medimos novamente seu peso aparente. Esse peso será menor do que o peso anterior (medido no ar), por causa do empuxo. Se os volumes forem iguais, os empuxos serão iguais. Se a coroa contiver prata, seu volume será maior do que o do ouro puro, e seu empuxo será também maior, portanto seu peso na água será menor do que o do bloco de ouro puro. Através de medidas de peso da coroa e de blocos de prata e ouro puros, na água e no ar, é possível determinar-se com grande precisão a proporção de prata utilizada pelo ourives. No seu pequeno tratado, Galileo mostrou como poderia ser construída uma balança especial que permitisse realizar facilmente esse tipo de comparação.

Bem, Galileo não foi um historiador da Ciência. Estava se guiando apenas por seus conhecimentos físicos e não por algum documento antigo que indicasse como Arquimedes havia realmente feito seus experimentos. Os argumentos de Galileo são fisicamente plausíveis, mas poderiam não corresponder à verdade histórica. Existiriam documentos, testemunhos e objetos do passado que pudessem ser utilizados para tentar esclarecer esse ponto?

Evidências antigas

Nenhum historiador encontrou, até hoje, documentos da época de Arquimedes que pudessem esclarecer a questão. No entanto, há mais de 100 anos, Berthelot localizou documentos bastante antigos que favorecem a interpretação de Galileo [1]. Em primeiro lugar, analisando textos medievais, esse autor mostrou que, de fato, o método da balança hidrostática era descrito em tratados técnicos antigos para resolver problemas semelhantes ao da coroa. Um texto do século XII, chamado *Mappae clavicula*, fornece indicações precisas sobre como fazer as pesagens dentro da água e, a partir daí, calcular a porcentagem de prata utilizada ([1], p. 478-9).

Teria sido esse método utilizado por Arquimedes ou teria sido, por exemplo, uma invenção árabe transmitida à Europa durante o período medieval? Essa segunda possibilidade foi excluída



Balança hidrostática similar à usada por Galileo apresentada em *Physices Elementa*, Leiden, 1742.

por Berthelot, pois ele localizou um poema latino do século IV ou V d.C. (*Carmen de ponderibus et mensuris*), onde está descrito o uso da balança hidrostática para resolver o problema da coroa e onde esse método é explicitamente atribuído a Arquimedes. Comprovou, assim, a existência de uma tradição bastante antiga que interpretava a solução de Arquimedes de um modo compatível com nosso conhecimento científico.

Além disso, Berthelot indicou também que algumas partes do *Mappae clavicula* são traduções palavra por palavra de textos gregos antigos, o que indica uma transmissão de uma tradição muito antiga sobre o processo de pesagem no ar e na água como meio de avaliar as ligas metálicas ([1], p. 485).

Os argumentos e documentos estudados por Berthelot reforçam a idéia de que Arquimedes teria utilizado um método de pesagens no ar e na água e não o método de derramamento de água, descrito por Vitruvius.

Infelizmente, a lenda da água transbordando na banheira continua até hoje a ser repetida e contada nas escolas e nas universidades

Comentários finais

Podemos ter certeza de que essa é a interpretação correta? Não, não podemos. Nós nem sequer sabemos se existiu a coroa do rei Hieron. Porém, supondo-se que a coroa existiu e supondo que Arquimedes descobriu a falsificação, a versão de Vitruvius é implausível, e a idéia de que Arquimedes utilizou uma balança hidrostática é a mais razoável.

Apesar de Berthelot já ter proporcionado uma boa análise desse problema histórico há mais de um século, autores que não são historiadores da Ciência copiam-se uns aos outros e perpetuam interpretações que carecem de uma boa base.

Além de ser historicamente sem fundamento, essa história passa uma visão falsa sobre Arquimedes e sobre a Ciência em geral. Dá a impressão de que a Ciência evolui por acidentes, e que Arquimedes nada mais foi do que uma pessoa esperta e excêntrica. Na verdade, Arquimedes foi um excelente matemático, que deu grandes contribuições à estática e à hidrostática e que, através desses conhecimentos, tinha condições de determinar um modo adequado de avaliar se ocorreu ou não uma falsificação na coroa do rei Hieron. Além de proporcionar uma visão histórica falsa, essa versão popular faz um serviço negativo ao próprio ensino da Física, pois descreve um método inviável de comparação de densidades, em vez de ensinar como se poderia realmente detectar a fraude.

Infelizmente, a lenda da água transbordando na banheira continua até hoje a ser repetida e contada nas escolas e nas universidades e provavelmente continuará a ser contada no futuro.

Referências

- [1] Marcel Berthelot, *Annales de Chimie et de Physique* [série 6], **23**, 475–485, (1891).
- [2] Galileo Galilei, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* **9**, 105–7 (1986) (Trad. Pierre H. Lucie).
- [3] John V. Pickstone, *History of Science* **33**: 203–24 (1995).
- [4] Royston M. Roberts, *Descobertas Acidentais em Ciências* (Trad. André Oliveira Mattos, revisão de Oswaldo Pessoa Jr., Papirus, Campinas, 1993).
- [5] Marcus Vitruvius, *De l'architecture*. (Trad. Jean Soubiran, Belles Lettres, Paris, 1969).
- [6] O leitor poderá encontrar um grande número de relatos semelhantes a este. Para citar apenas uma obra recente que contém essa descrição, ver Roberts [4].
- [7] Atualmente existe uma resistência dos historiadores da Ciência contra o uso de informações científicas atuais para analisar episódios antigos. No entanto, em certos casos esse uso parece defensável, pois o conhecimento científico atual pode ser necessário para reconstruir o objeto de investigação [3].
- [8] O “sextarius” era uma medida romana de volume (0,547 L, em valores atuais), que tinha esse nome por ser equivalente a 1/6 do “congius”. O “congius” correspondia a aproximadamente um galão moderno.



A Sociedade Brasileira de Física SBF é uma associação que congrega os físicos e professores de Física do Brasil, com os objetivos de zelar pela liberdade de ensino, de pesquisa e pelos interesses e direitos dos físicos e professores de Física. A SBF busca ainda zelar pelo prestígio da ciência no país, estimular as pesquisas em Física e a melhoria do ensino da Física, em todos os níveis.

A SBF promove reuniões científicas, congressos especializados, conferências, cursos e atividades afins, inclusive com caráter de divulgação científica, e edita revistas para publicação de trabalhos científicos e didáticos no campo da Física.

Conheça mais sobre a SBF visitando o sítio

www.sbfisica.org.br



**Ministério
da Educação**

GOVERNO FEDERAL