

Carta do Editor

História e filosofia da ciência no ensino de física

Este número traz artigos muito interessantes sobre o uso da história e filosofia da ciência (HFC) em projetos de física no ensino médio. A abordagem da HFC no ensino tem sido feita em inúmeros estudos acadêmicos envolvendo cientistas, historiadores e educadores. E, felizmente, está chegando às salas de aula. Dois relatos são feitos sobre experiências bem-sucedidas de professores de física de escolas públicas. Serão eles os responsáveis pela inserção da HFC na educação básica. E, mais interessante, uma das propostas “Física na História”, mais especificamente o eletromagnetismo, é fruto de trabalho acadêmico no Mestrado Profissional, o que demonstra a importância desse tipo de especialização de professores numa área que é pouco explorada nos currículos das licenciaturas. A outra usa a estratégia de simulação de um júri para debater as concepções ondulatória e corpuscular da luz.

Alexandre Medeiros prossegue entrevistando personagens ilustres da história da física com muito humor e perspicácia. O entrevistado da vez é Benjamin Thompson. Quem o conhece? Esta figura curiosa esteve envolvida, há cerca de dois séculos, em assuntos extremamente atuais como educação, energia, transferência de tecnologia e meio ambiente. Suas invenções revolucionaram a vida doméstica (aquecimento central, cafeteiras por gotejamento, lâmpíões, fogão com forno, entre muitas outras). Como Santos Dumont, desprezou as patentes. Foi um militar profis-

sional, e além de se dedicar às ciências físicas, foi um reformista social, filantropo e fundador do que se pode chamar o primeiro sistema escolar público. Para alguns físicos e professores, é mais conhecido pelo seu título, Conde Rumford, e pela sua experiência com perfuração de canhões que o levou a concluir que o fluxo de calor de um corpo é inexaurível. Sua contribuição teria sido importante para o descrédito da teoria do calórico. Medeiros usa o personagem para discorrer sobre a história da construção da teoria do calórico e da teoria dinâmica do calor. Estes temas são pouco abordados na maioria dos livros didáticos (muitos incorrem em erros interpretativos). Muito oportuna e esclarecedora esta entrevista. Para maiores detalhes da vida de Rumford, veja correspondente verbete escrito por Sanborn C. Brown, no *Dicionário de Biografias Científicas*, v. 3, editado por Cesar Benjamin (Editora Contraponto, 2007).

A FnE presta sua homenagem ao Ano Internacional da Astronomia trazendo dois artigos sobre o tema. Em um deles é proposta a construção de aparatos que modelam as constelações celestes, em particular nosso Cruzeiro do Sul. O segundo trata de um dos objetos mais instigantes do Universo: os buracos negros. É um tema fascinante que desperta o interesse dos alunos do ensino médio.

Como parte das comemorações do centenário do voo do 14 Bis, foi publicada uma edição especial da FnE (v. 7, n. 2, 2006 - <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol7/>

Num2/) sobre Santos Dumont e a física do voo. Dois artigos abordaram o problema da sustentação da asa a partir de pontos de vista diferentes: Leis de Newton *versus* Princípio de Bernoulli. A velha controvérsia é revisitada neste número com uma defesa veemente do uso da força de reação (visão newtoniana) para explicar o mecanismo físico da sustentação. A tese já foi defendida em várias publicações do Prof. Klaus Weltner (uma delas na RBEF - http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v23_429.pdf). Vale a pena conferir!

Último mas não menos importante, o artigo “Corrida de Vetores”, escrito por Paulo Murilo de Oliveira, sobre uma antiga brincadeira que leva o jogador a compreender de forma lúdica o conceito de inércia. Faça você mesmo e divirta-se.



Nelson Stuardant



.....

Alexandre Medeiros

Departamento de Física, Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Recife,
PE, Brasil

E-mail: alexmed.df@gmail.com

.....

Este texto segue a mesma linha de outros artigos anteriores do autor – Entrevistas com Tycho Brahe, Kepler, Einstein e Santos Dumont – publicados na revista *A Física na Escola*. Assim como naqueles, pretende-se que o texto atual seja uma leitura divertida de um assunto muito sério: a vida e a obra de Benjamin Thompson, o conde Rumford. Rumford foi um personagem polêmico, que, no entanto, deu uma importante contribuição para lançar as bases da compreensão da equivalência entre calor e energia. Ao abalar as estruturas da teoria do calórico, com o seu célebre experimento de escavação de canhões, ele ajudou a estabelecer o calor como uma forma de movimento e a pavimentar a trilha de uma concepção energética que levaria no século XIX à construção da termodinâmica. Apesar disso, Rumford não teve a sua contribuição ao edifício conceitual da física devidamente reconhecida na época em que viveu. Na prática, ele desempenhou um papel menor do que aquele que poderia ser esperado, devido à importância do seu trabalho. O valor de sua obra foi resgatado, porém, na metade do século XIX, nos trabalhos de Tyndall. Rumford deu, também, contribuições tecnológicas de vulto, dentre elas a invenção do sistema de aquecimento central e o aperfeiçoamento da panela de pressão e das lareiras; além de ter sido também um grande divulgador da ciência e o fundador da célebre *Royal Institution*. Apesar de tudo isso, Rumford permanece, ainda hoje, quase como um desconhecido para muitos estudantes de física. Praticamente, a única coisa que sobre ele é mencionada é o seu célebre experimento do canhão, mesmo assim, comumente, de uma forma bastante breve e até mesmo distorcida, atribuindo-lhe coisas que efetivamente, Rumford nunca disse.

Para tentar dar conta do relato de sua vida e de sua obra, de um modo leve e pretensamente divertido, montamos uma

narrativa em forma de uma conversa informal com o conde Rumford. Em um tal cenário imaginário, alguns professores de física entrevistam o nosso personagem construído em um clima de total descontração, inquirindo-o sobre pontos importantes de sua vida e de sua obra.

Apesar da narrativa que se segue ser, essencialmente, uma ficção, as informações históricas veiculadas sobre a vida e obra do conde Rumford estão apoiadas em fontes de reconhecido valor acadêmico, incluindo aí parte relevante de suas obras originais incorporadas, principalmente, nas magníficas coletâneas organizadas por Sanborn Brown, seu maior biógrafo. Em última instância, porém, o leitor é o juiz para saber se a narrativa que se segue consegue ou não atingir os seus objetivos de conciliar informações histórico-conceituais fidedignas com uma abordagem que pretende ser antes de tudo divertida e atraente.

A entrevista com o nosso personagem

A gaoa naquela tarde cinzenta em São Paulo nos deixara presos na sala do apartamento do colega Luis Augusto, o Lula. Em torno de três pizzas que haviam acabado de chegar reuniam-se famintos os colegas professores: Severino, Amélia, Zé Roberto, Cleide, Jonas, João, eu e o Lula, nosso anfitrião.

A pizza foi devorada rapidamente, com o Lula e o João mostrando os seus dotes de glutões. A Coca-Cola estava quente e sem gás. Foi quando a Amélia perguntou ao Lula como ia o seu trabalho de doutorado em ensino de física na USP.

Lula: Vai bem! Tenho estudado algumas coisas de psicanálise e estou pensando em misturar isso com um estudo sobre o conceito de calor nas visões de professores.

Alexandre: Como você estudou o trabalho do Joule no mestrado, poderia encerrar coisas ainda mais básicas, resgatando,

Neste trabalho são apresentadas a história e a obra do conde Rumford na forma de uma entrevista construída. O objetivo central é mostrar a complexidade da teoria do calórico e o papel desempenhado por Rumford para superá-la. Algumas digressões filosóficas resgatam pontos nevrálgicos da ligação entre a história da ciência e a pedagogia da mesma.

por exemplo, a importância do trabalho do Rumford.

Lula: É possível. Mas eu preciso combinar essas coisas com a psicanálise. Qualquer coisa aqui tem que ser combinada com psicanálise, principalmente se envolver as idéias do Lacan. Já estou meio pirado lendo essas coisas sobre o *Grande Outro*.

Severino: Que outro? Você está falando de quem?

Lula: Esquece, você não vai acreditar! É muita piração, cara.

Amélia: Muito bem, já que tem que ser assim, por que você não tenta fazer uma regressão e falar com o “outro”, o Rumford?

Lula: Não sei, não. Acho que o Lacan não topava com essas coisas de regressão.

Amélia: Pois, se não topava, deveria topar. Pega um livro dele e um copo de Coca-Cola e vamos fazer uma tentativa. Já deu certo com o Tycho Brahe e com o Kepler e deve dar com o Rumford, quer o Lacan queira, quer não queira.

Lula: Não vai dar! Eu acho isso de psicanálise muito estranho, não consigo entender direito. Eu queria era estudar ensino de física.

Amélia: Você não tem que engolir a psicanálise. Basta engolir o refrigerante. Misture psicanálise com Coca-Cola quente que talvez dê para engolir. Tome aí o livro do Lacan e o copo de Coca-Cola.

Lula: Argh! Isso é uma droga!

Jonas: O quê? O livro ou a Coca Cola quente?

Rumford: Os dois! E esse negócio de todo mundo ficar esfregando a garrafa de Coca Cola nas mãos está fazendo ela aquecer ainda mais. Isso só me lembra daquele meu experimento com o aquecimento do canhão.

Severino: O que, Lula? De que canhão você está falando, cara?

Jonas: Deu certo! Parece que a mistura fez o Rumford aparecer. O Lula sumiu e estamos com Rumford à nossa frente.

Severino: Então, vamos aproveitar. Eu não conheço direito esse experimento do canhão. Como é que tudo isso começou?

Rumford: Com o meu interesse por armas e pólvora, em meio à guerra de independência dos Estados Unidos.

Zé Roberto: Espere aí, seu Rumford. Dá para começar do início, mesmo? Onde você nasceu, coisas assim?

Rumford: Seu Rumford é a vovozinha, eu exijo mais respeito! Conde Rumford, faz favor!

João: Puxa, o cara é enfezado mesmo!

Rumford: Pois é! O meu nome, na verdade, é Benjamin Thompson. Só vim a tornar-me conde muito depois. Nasci em

1753 em uma fazenda em Woburn, Massachusetts, bem pertinho de onde nasceu o Benjamin Franklin, mas uns cinquenta anos antes dele. Eu fui um garoto meio esquisito que achava que poderia construir uma máquina de movimento perpétuo e que tinha também um enorme interesse por eclipses.

Amélia: Sr. Thompson, o senhor também se envolveu com a medida da relação entre a carga e a massa do elétron, não foi? Além disso, parece que o senhor também tinha um outro apelido, além desse de conde. Se não me engano, o senhor era chamado também de Lord Kelvin, não é isso?

Rumford: A senhora está só trocando as bolas ou é maluca mesmo? Meu nome era Thompson, veja o “p”: Benjamin Thom-p-son, posteriormente conde Rumford. A senhora referiu-se a dois outros personagens importantes da história da física e confundiu-os comigo.

João: Sim, tudo bem, mas o que a Amélia quer saber é se eles eram seus parentes. Não é isso, Amélia?

Rumford: Você também é doido, meu rapaz? Eu acabei de dizer que o meu nome tem um “p”: Thom-p-son, Benjamin Thom-p-son.

Zé Roberto: Sim, mas esses outros dois, quem são eles?

Rumford: Eles nasceram muito depois da minha morte. Vocês estão confundindo Ana Tereza com a Natureza. Eu morri em 1814, o William Thomson, sem “p”, que viria a ser conhecido como o célebre Lord Kelvin, nasceu na Escócia, dez anos depois da minha morte, em 1824. Já o Joseph John Thomson, também sem “p”, o famoso J.J. Thomson, que determinou a relação carga/massa nos raios catódicos e com isso descobriu o elétron, nasceu apenas em 1856. Eles não são, portanto, meus parentes. Mas, afinal, eu estou aqui para falar deles ou de mim mesmo?

Severino: Calma seu conde, vá em frente.

Rumford: “Seu” conde eu já disse quem é. É a vovozinha!

Severino: Olhe aqui seu conde, eu sou de Garanhuns, terra de cabra macho. Se o senhor me arretar eu lhe amasso esse seu narigão e acabo logo com essa entrevista.

Cleide: Calma Severino, o conde é um pouco rude, mas já morreu, não adianta você se aperear.

Rumford: Tudo bem! Desculpe Sr. Severino! Posso continuar?

Severino: Vá em frente!

Rumford: Pois bem! Aos dezenove anos eu me casei com uma viúva rica, muito mais velha que eu e fomos morar na casa dela na cidade de Rumford.



Conde Rumford em sua época áurea em que trabalhava no arsenal de Munique. Caricatura de James Gillray, aproximadamente 1800.

Jonas: Você deu o famoso golpe do baú, não foi?

Rumford: Mais ou menos! O fato é que tudo teria ido muito bem para o meu lado se não fosse o início da guerra revolucionária.

Zé Roberto: Que guerra?

Rumford: Qual foi a escola que você estudou, meu filho? A guerra de separação que os Estados Unidos moveram contra a minha amada Inglaterra.

Jonas: Espere aí! Sua amada Inglaterra? Você era americano ou inglês?

Rumford: Eu havia nascido nos Estados Unidos, mas sempre fui fiel ao meu Rei. Eu era inglês, de coração. Ainda jovem, servi como espião de Sua Majestade.

Zé Roberto: Sujou! O bicho além de chato e de dar o golpe do baú, era traíra. Eu acho que eu vou deixar o Severino pegar esse cara.

Rumford: Calma, por favor! Deixe-me prosseguir minha narrativa. O fato é que quando as tropas britânicas foram forçadas a abandonar Boston, eu fui com elas, deixando para trás a minha esposa e a minha filha.

Cleide: Com essa agora, até eu fiquei chocada.

Amélia: É, professora, esse cara era um porco chauvinista, além de chato, interesseiro e traidor. Vamos sair daqui, em protesto!

Cleide: Não! Vamos ver o que ele vai dizer. Afinal, ele, apesar disso tudo, deu uma contribuição de vulto à história da física. Vamos ver se aguentamos chegar lá.

Rumford: Pois bem, passei a servir as tropas inglesas como tenente coronel.

Zé Roberto: Tenente coronel? Você não entrou como soldado? E lutou onde?

Jonas: Aqui nós diríamos que você era peixe dos ingleses, que entrou logo por cima. Mas onde foi mesmo que você lutou?

Rumford: Bem, eu não lutei no sentido estrito da palavra. Eu fui, na verdade, um excelente funcionário de gabinete, eu planejava coisas, pensava nelas ativamente. Dentre essas coisas que eu planejei estavam a construção e o aperfeiçoamento das armas de fogo. Eu me tornei, na prática, um excelente engenheiro.

João: E isso de mexer com armas de fogo deve ter-lhe levado a pensar ativamente sobre as teorias vigentes a respeito do calor.

Rumford: Exatamente, meu jovem. Finalmente, um de vocês fez uma constatação brilhante.

Jonas: Mas como você se arranjou quando a guerra de independência terminou e a Inglaterra perdeu a sua colônia?

Rumford: Eu fui para a Inglaterra, claro. Passei a viver em um exílio constante.

Amélia: Como assim? Você não se sentia um inglês? Estava do lado que escolheu ficar.

Rumford: É verdade, mas eu tive alguns problemas sérios na Inglaterra. Eu fui acusado de vender segredos de guerra para a França.

Zé Roberto: E vendeu ou não vendeu? Eu acho que você vendeu!

Rumford: Não sei, já faz muito tempo que eu morri, eu não me lembro direito. Os historiadores da ciência não estão de acordo se eu vendi ou não.

Severino: Não me venha com essa conversinha de que está esquecido, de jogar a bola para os historiadores da ciência. Eu acho que você vendeu, sim.

Rumford: Pode ser, meu caro senhor Severino, mas o que importa é que o Rei George III teve muita consideração comigo e achou que seria mais seguro para mim que eu me mudasse para o continente.

Amélia: Quer dizer: ele botou você para correr, não foi?

Rumford: Não, ele era meu amigo e apenas recomendou a minha saída.

Zé Roberto: Você era peixe do Rei. Era peixe, traidor, deu o golpe do baú e que mais?

Rumford: Bem, o fato é que eu me estabeleci em Munique, a serviço de Karl Theodor, o Eleitor da Baviera.

João: Como o Eleitor? Todos nós somos eleitores, eleitor é um cidadão qualquer. Você quer dizer do Rei da Baviera, não? Aliás, como a Baviera é parte da Alemanha, deve ter sido do Rei da Alemanha.

Rumford: A Alemanha ainda não existia, meu caro. Ela só veio a ser criada na

segunda metade do século XIX. O que existia era o Sacro Império Romano-Germânico, onde a Baviera tinha um voto na escolha do Imperador. Daí o nome de Eleitor para o seu governante. Você também não frequentou a escola meu filho? Lá em Campina Grande ...

João: Epa! Não fale mal de Campina Grande que eu lhe amasso esse narigão que nem o Severino lhe prometeu nesse instante.

Rumford: Virgem Maria, aqui só tem doido. Eu vou embora!

Severino: Não vai nada! Você fica e conta direitinho toda essa sua história.

Cleide: É, senhor conde, tente falar um pouco mais das suas idéias sobre o calor, fale da sua contribuição à história da física. Pode ser que assim a turma aqui esfrie um pouco mais a cabeça. Afinal essa sua biografia também não ajuda muito.

Rumford: É! Eu acho que a senhora tem razão. Vou seguir o seu conselho. Mesmo porque não quero absolutamente me indispor com o senhor Severino nem com o senhor João.

Zé Roberto: É bom, mesmo! Faz bem à saúde! Vá em frente com essa sua história, mas vê se começa logo a falar de física, como pediu a professora.

Rumford: Bem, as minhas contribuições à física nasceram todas da minha preocupação com o calor e com os fenômenos a ele relacionados. De certo modo, elas são frutos da minha preocupação com a produção de armamentos, como já disse antes. E na Baviera eu atuei exatamente nesta área, como um eficiente engenheiro militar e administrador. Eu dei, também, uma notável contribuição social ao tirar os mendigos das ruas.

Alexandre: É verdade, mas conte como você ocupava esses mendigos.

Rumford: Bem, eu lhes dei um emprego; coloquei-os para trabalharem nas fundições de canhões e na fabricação de uniformes para o exército.

Zé Roberto: Puxa, que alma bondosa! Aposto que o salário era bem baixinho.

Rumford: É verdade, mas eu também fui o introdutor da batata inglesa e da máquina a vapor no continente europeu. Como prova da sua gratidão o Eleitor da Baviera me agraciou, em 1790, com o título de Conde. Eu escolhi o nome de Rumford em homenagem à minha cidade de origem, onde a minha primeira esposa nascera e onde eu ainda tinha propriedades.

Amélia: Pensando nas suas propriedades, não? Estava com dor na consciência...

Rumford: O que importa é que foi trabalhando na perfuração de canhões na Baviera que eu vim a ter aquela minha in-

tuição sobre a natureza do calor; a minha mais famosa contribuição à ciência.

João: Como assim, a sua intuição? Eu pensei que você houvesse provado que o calórico não existia. Não foi exatamente isso que o experimento de perfuração dos canhões mostrou?

Jonas: É, eu sempre li nos livros didáticos de física que você foi o grande adversário da teoria do calórico. E tenho ensinado que esse seu experimento provou que o calórico não existia.

Rumford: A coisa é bem mais complexa, meu jovem. Para começar, eu nunca reivindiquei haver destruído a teoria do calórico. Para princípio de conversa, eu havia sido, até então, um fiel adepto da teoria do calórico. Havia, inclusive, contribuído para o seu desenvolvimento.

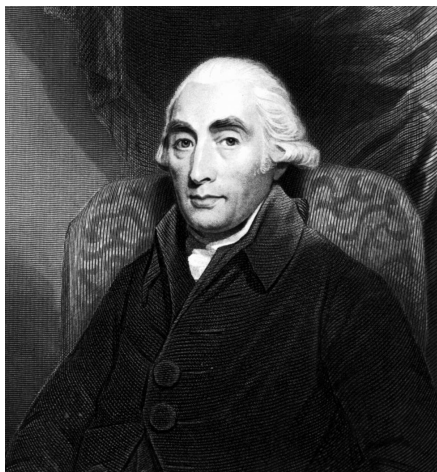
Amélia: Essa história está ficando mesmo complicada. Não foi você quem estabeleceu pela primeira vez a conservação da energia? Não foi você, também, que estabeleceu que havia uma equivalência entre calor e energia?

Rumford: Sim e não! De fato, eu gostaria de ter sido o primeiro a estabelecer uma tal equivalência, mas não fui tão longe assim. Isso é mais o fruto do trabalho posterior de indivíduos como o Mayer, o Joule e o Helmholtz. Mas isso foi bem após a minha morte. Vocês deviam conversar com eles a esse respeito. O que eu fiz foi lançar, com bastante vigor, a conjectura arrojada para a minha época, de que o calor deveria ser uma forma de movimento. Certamente, eu tinha minhas peças de evidência, mas nada que pudesse ser suficientemente convincente para os físicos da época. Entretanto, eu forneci várias pistas que pavimentaram o caminho para os trabalhos de muitos daqueles que me seguiram. Eu cheguei bem próximo de estabelecer o equivalente mecânico do calor, bem próximo mesmo. Eu fui um legítimo precursor do trabalho do Joule.

Severino: Eu confesso que estou meio enrolado nessa sua história. Afinal, você era adepto da teoria do calor como um fluido, ou seja, do calórico, ou era adepto do calor como movimento de partículas? Explique isso direitinho.

Rumford: Acho que nessa sua forma de falar já está implícita uma confusão que os livros didáticos de vocês apenas contribuem para perpetuar. Eu não creio que nós devêssemos colocar esse tipo de oposição entre uma teoria de partículas para o calor e a teoria do calórico.

Amélia: Mas, por que não? O calórico não era suposto ser uma substância contínua, uma espécie de fluido? E a temperatura não era vista como a quantidade de calórico presente nos corpos?



Joseph Black, físico escocês, principal criador da teoria do calórico e primeiro a diferenciar calor de temperatura.

Rumford: Não! Absolutamente, não! Como disse, antes, a coisa é mais complexa. Acho que para compreenderem melhor a minha contribuição, para perceberem como vim a auxiliar no lançamento das bases do que depois frutificaria como a nova e poderosa ciência da termodinâmica, é necessário que compreendam um pouco mais a própria teoria do calórico e as suas concorrentes.

Severino: Cara, eu sempre soube que você havia derrubado a teoria do calórico. Agora você me vem posar também, como traidor dessa causa?

Rumford: Não é bem assim, meu caro senhor Severino. Deixe-me relembra um pouco da história das primeiras teorias sobre o calor para que você possa compreender melhor as minhas idéias sobre o calórico e a minha interpretação do famoso experimento de escavação de canhões.

Zé Roberto: Pois, comece bem do início.

Rumford: Obrigado! Bem, de início vale salientar que a forma como o calórico costuma ser mencionado em vários livros-texto de física é a tal modo deturpada que facilmente o leitor é levado a crer que este conceito teria sido um grande equívoco, o produto de uma simples falta de reflexão dos seus proponentes. A idéia de que o calórico constituía uma teoria potente no seio da qual se desenvolveu a calorimetria e germinou a termodinâmica é algo que não passa em linha de conta nos relatos de tais textos.

Jonas: Essa eu não entendi! Como a termodinâmica pode haver germinado no seio da teoria do calórico? Isso para mim é demais, pois a termodinâmica, para ser desenvolvida, necessita, antes de tudo, de que o calor seja aceito como uma forma de

energia.

Rumford: Em parte, o que você está dizendo é verdade, mas a coisa é bem mais complexa. Claro, eu estou dizendo isso por haver lido, mesmo depois de morto, o que outros vieram a escrever. Sadi Carnot, por exemplo, já no século XIX, a quem se devem as primeiras claras expressões da termodinâmica, só veio a abandonar a teoria do calórico perto de morrer colérico.

Jonas: Como perto de morrer colérico? Ele ficou com tanta raiva, assim, do calórico?

Rumford: Não, meu caro senhor Jonas. O pobre senhor Carnot morreu de cólera mesmo, derretendo em uma bacia sanitária.

Amélia: Puxa, que coisa triste! Passe adiante, por favor.

Rumford: Pois bem, o estudo do senhor Carnot sobre o rendimento das máquinas térmicas foi todo ele conduzido dentro dos cânones da teoria do calórico. Logo, como você pode ver, não faz sentido que eu houvesse destruído, no final do século XVIII, algo que ainda estava bem vivo em pleno século XIX. Foram os trabalhos do Mayer e do Joule que alteraram radicalmente essa situação. Mas, deixe-me voltar a falar do meu próprio trabalho.

Jonas: Mas que você tentou destruir a teoria do calórico, tentou! Mesmo tendo sido até então um adepto meio traíra da mesma.

Rumford: Certamente, mas eu não tinha todas as peças de evidência. A minha teoria do calor era mais complexa, eu cheguei a pensar em vibrações de partículas no íntimo da matéria, mas de início eu era mesmo um calorista, apesar de não muito convicto. E quem não era? O que eu fiz mesmo foi dar o primeiro grande passo naquela direção. Eu não fui exatamente um revolucionário. Eu tentei apenas ser um reformista, mas as minhas idéias não plantaram uma reforma, plantaram mesmo foi uma tremenda revolução.

Amélia: Você estava falando das teorias sobre o calor. Como é mesmo que surgiu e como se desenvolveu a teoria do calórico? Onde é que você entra nessa história?

Rumford: Olhe, o enorme poder explicativo da teoria do calórico, para a época, é costumeiramente subestimado. Além disso, os livros didáticos de vocês costumam passar a idéia de que experimentos isolados, como os meus, os do Davy – que foi meu auxiliar – ou mesmo os do Joule teriam sido suficientes para refutarem sozinhos, por completo e de imediato, a teoria do calórico. Na verdade, a visão que uma análise histórica mais cuidadosa podemos fornecer é bastante diversa da caricatura traçada nesses livros-texto que

vocês usam. A teoria do calórico era dotada de um apreciável potencial explicativo, não facilmente refutável. Importante, também, parece ser apreciar os pressupostos sobre os quais essa teoria estava estabelecida. Isso feito desfaz-se a aparência de uma coleção de afirmações sem uma clara procedência ou fundamento, que é a forma como ela aparece em boa parte dos livros didáticos. Vamos fazer uma breve retrospectiva da polêmica sobre a natureza do calor examinando os pressupostos sobre os quais a teoria do calórico veio a ser construída em meados do século XVIII e apontando as suas muitas possibilidades explicativas. Só assim vocês poderão entender a minha contribuição em uma perspectiva histórica.

João: Deixe-me entender uma coisa. Você já tinha essa visão histórica toda?

Rumford: Claro que não, isso faz parte da ficção dessa entrevista. Eu só poderia saber todas essas coisas depois de morto. O que eu estou tentando lhes mostrar é que vocês se encontram em uma perspectiva histórica privilegiada. Podem, assim, olhar de cima, com um olhar de águia para o passado, olhar criticamente. É isso que eu estou tentando fazer agora, baseado no que li depois de morto, claro.

Zé Roberto: E como a gente vai saber como você pensava na sua época?

Rumford: Acompanhe a minha narrativa e você compreenderá.

Jonas: Tudo bem, mas aponte algumas coisas que os nossos livros-texto de física dizem sobre esse assunto que não sejam exatamente corretas. Isso pode ajudar nas minhas aulas. Mas não diga apenas como não é. Por favor, dê também a sua versão dos fatos.

Rumford: Tudo bem! Vamos lá! Vou dar até os nomes aos bois. Como eu já morri mesmo, eles não podem me pegar, não é senhor Severino?

Zé Roberto: Traíra!

Rumford: O quê?

Cleide: Nada senhor conde, pode continuar, foi só uma brincadeira do Zé. O seu papo está melhorando; dê os exemplos que o Jonas pediu.

Rumford: Olha, é comum que os livros-texto de vocês trivializem a complexidade da questão envolvendo a natureza do calor. O livro-texto do Bonjorno [1], por exemplo, afirma que: “apesar de tão evidente, a natureza do calor só recentemente foi definida pela ciência. Até fins do século XVIII, os cientistas acreditavam que o calor era uma espécie de fluido imponderável (sem massa) e invisível que aquecia ou resfriava os corpos. Deram a essa substância o nome de calórico”.

Jonas: E daí?

Rumford: Ora, este trecho contém gra-

ves imprecisões. Em primeiro lugar, a natureza do calor está longe de ser *evidente*, como sugere esse texto citado. Além disso, para que a concepção de energia viesse a ficar bem estabelecida, uma grande disputa de idéias foi travada durante os séculos XVIII e XIX entre a teoria do calórico e a teoria dinâmica. Eu que o diga, pois estava bem no meio desta guerra.

Alexandre: E o que é pior: você jogou dos dois lados dessa batalha.

Rumford: Exatamente! Mas vejamos mais: o livro do PEF, por exemplo, afirma que “acreditava-se que existia um fluido especial – o calórico – que provocava os fenômenos térmicos. Entretanto, a hipótese do calórico não explicava os fatos observados e foi abandonada”.

Jonas: E isso não está certo? A teoria do calórico conseguia explicar os fatos observados?

Rumford: Dizer que a teoria do calórico não explicava os fatos observados constitui-se em uma exagerada e grosseira simplificação. Se tivesse sido assim tão simples, o meu trabalho teria tido pouco valor e o do Joule e do Mayer também.

Severino: Teria sido como bater em um cego pelas costas.

Rumford: Mais ou menos isso e certamente não foi bem assim. O certo é que a teoria do calórico foi hegemônica durante grande parte do século XVIII. Mesmo após perder a hegemonia nos anos 1850, com os trabalhos do Kelvin, do Rankine e do Clausius, a referida teoria manteve-se ainda com adeptos até boa parte dos 1860. A própria *Encyclopedia Britannica* daquele ano, em seu verbete *heat* ainda afirmava que a teoria dinâmica do calor era vaga e insatisfatória e que a visão fornecida pela teoria do calórico era ainda de aceitação geral. Veja bem, isso já em 1860. Os criteriosos editores da *Britannica* não haviam ainda considerado com suficiente vigor as minhas interpretações sobre o experimento de perfuração do canhão realizado há mais de meio século e nem mesmo os trabalhos mais recentes do Mayer e do Joule.

Amélia: Mas, afinal o que a teoria do calórico conseguia explicar? Isso ainda não está claro, para mim.

Rumford: A teoria do calórico possuía um grande poder explicativo de diversos fenômenos, como por exemplo: a dilatação dos corpos, a mudança de fase, o aquecimento por desbastamento, apenas para citar alguns. Parte deste potencial explicativo, que dá uma idéia da não trivialidade de sua refutação, eu posso desenvolver para que vocês entendam melhor a adversidade da minha luta. Antes, entretanto, temos que fazer uma regressão no tempo.

Amélia: Eu acho que o Lula gostaria

de ouvir isso.

Rumford: Pois bem, três correntes de pensamento sobre a natureza do calor existiram desde a Antiguidade. Para Empédocles, por exemplo, o calor era uma substância, uma espécie de “fogo sutil”. Para Aristóteles, entretanto, o calor era uma das qualidades primitivas da matéria, cujas combinações definiam os mesmos elementos já postulados por Empédocles. Já para os atomistas, Demócrito e Leucipo, o calor era visto como uma consequência do movimento de partículas indivisíveis, constituintes da matéria comum. Vejam, portanto, que os atomistas foram os pioneiros na proposição de uma teoria dinâmica para o calor em termos do movimento de partículas da matéria comum.

Cleide: Dada a influência do pensamento aristotélico seria interessante conhecer essa concepção em maiores detalhes.

Rumford: Certamente, professora, explicarei com todo o prazer. Mas, note bem, que na Antiguidade nós tínhamos três teorias concorrentes sobre a natureza do calor: a teoria substancialista, do Empédocles; a teoria dinâmica, dos atomistas e a teoria das qualidades primitivas do Aristóteles.

Amélia: O senhor já disse isso, mas e a teoria do calórico? Eu li um dia desses em um site da Internet que a teoria do calórico era da Idade Média. É verdade?

Rumford: Não! Absolutamente, não! A teoria do calórico é bem mais recente, ela é do século XVIII. O que ocorre é que o calórico é um filho da teoria substancialista, esta sim bem antiga. Talvez, por isso, as pessoas confundam. Nós chegaremos lá. Vamos por partes.

Cleide: O senhor ia falar da teoria do Aristóteles e mudou de assunto.

Rumford: Isso! Pois bem, Aristóteles definia quatro qualidades sensíveis da matéria. Tais qualidades eram agrupadas duas a duas, segundo suas oposições: quente ou frio e seco ou úmido. As substâncias eram formadas de quatro elementos essenciais: água, ar, fogo e terra, os quais apresentavam sempre um par das citadas propriedades. Assim, por exemplo, o fogo era quente e seco, enquanto a água era úmida e fria. A concepção Aristotélica sobre a natureza do calor estabeleceu-se como hegemônica na Antiguidade e durante toda a Idade Média. Na época do Renascimento e da Revolução Científica, no entanto, houve um revigoramento das duas outras correntes interpretativas – a do calor como substância e a do calor como uma consequência do movimento de partículas da matéria comum (teoria dinâmica do calor) – e estas duas teorias suplantaram a teoria Aristotélica das qualidades primitivas.

Uma vez que a teoria de Aristóteles foi entrando em franca decadência, desde a época do Renascimento, sobram as outras duas. Então, durante o século XVII e até a metade do século XVIII, essas duas correntes – a teoria substancialista e a teoria dinâmica – coexistiram, não havendo, no entanto, qualquer hegemonia de uma sobre a outra.

Amélia: Esta teria sido uma etapa pré-paradigmática do desenvolvimento histórico desta área do conhecimento, para usar a linguagem do Thomas Kuhn?

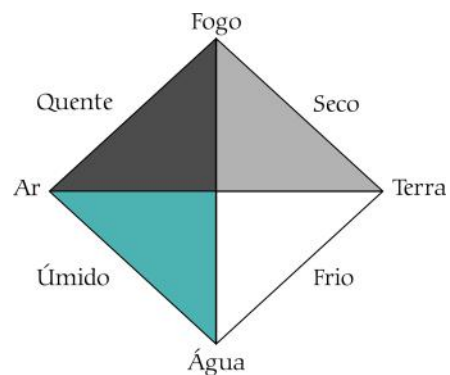
Rumford: Creio que sim, mas isso mudou rapidamente com o surgimento da teoria do calórico, uma filha legítima da antiga teoria substancialista.

Amélia: Como assim?

Rumford: Apesar de que importantes cientistas como Bacon, Locke, Newton, Boyle, Hooke, Huygens, Boerhaave e Muschenbroek, dentre outros, interpretassem o calor como sendo uma forma de movimento, esta concepção foi sendo pouco a pouco suplantada pela teoria substancialista, que cada vez mais dava conta de explicações convincentes que envolviam os fenômenos ligados ao calor. Assim, a partir da metade do século XVIII, a teoria substancialista tornar-se-ia dominante, sem que a disputa, entretanto, com a teoria dinâmica houvesse sido decidida. De fato, só bem após a minha morte, a partir da segunda metade do século XIX e até os dias atuais é que uma versão bem mais moderna da teoria dinâmica – a termodinâmica ou energética – viria a tornar-se completamente dominante. Mas, vocês verão que eu dei os primeiros passos para colocar a história nessa direção. Mas essa nossa história é repleta de idas e vindas.

Amélia: Do Newton, Boyle, Bacon, Hooke e do Huygens eu já ouvi falar; mas e esses outros dois cientistas de nomes esquisitos, quem são?

Rumford: O Hermann Boerhaave foi



Representação Aristotélica das qualidades opostas envolvendo a conceituação do calor.

um contemporâneo do Newton. Ele foi professor de Medicina em Leyden, na Holanda, tendo publicado, em 1732, um dos primeiros livros-texto de química que tratava sobre a coisa do calor. Já o Pieter van Musschenbroek foi professor de filosofia natural – como era chamada a física naquela época – também em Leyden e escreveu extensamente sobre física, no século XVIII. Ele foi um dos pioneiros tanto no ensino da física experimental, quanto também como autor dos primeiros livros didáticos de física de que se tem notícia.

João: Você falou, momentos atrás, que o desenvolvimento da calorimetria se deu dentro dos cânones da teoria do calórico. Foi isso que eu entendi, certo?

Rumford: Certo! Na verdade o desenvolvimento da teoria do calor tornou-se mais efetivo a partir da invenção de termômetros precisos, sensíveis e calibrados, de tal forma que os mesmos podiam ser reproduzíveis, tornando-se possível a realização de experimentos com medidas acuradas da variação da temperatura dos corpos. Antes da metade do século XVIII, os termos calor e temperatura eram usados indistintamente, tanto pelos substancialistas quanto pelos adeptos da teoria dinâmica do calor.

Severino: E como é que esses dois conceitos, o conceito de calor e o conceito de temperatura tornaram-se distintos um do outro na física?

Rumford: Excelente pergunta, professor Severino. Foi o Joseph Black (1728-1799), professor de Química e de Medicina em Glasgow e depois em Edinburgh – um partidário apaixonado da teoria substancialista do calor – o primeiro a diferenciar esses dois conceitos, adotando, inicialmente uma definição que chamaríamos modernamente de operacionalista, para só depois evoluir para uma abordagem mais conceitual.

Jonas: O Black não foi aquele que disse que “a temperatura é aquilo que os termômetros medem?” Eu já vi isso em um livro de física.

Rumford: Esta é a tal definição operacionalista da qual falei, mas, ela não retrata exatamente o pensamento do Black em sua íntegra. Deixe-me citar as próprias palavras do Black. O que ele disse foi: “Pelo uso do termômetro nós aprendemos que, se tomarmos diferentes tipos de matéria – tal como metal, pedras, sais, madeira, cortiça, pena, lã, água e uma variedade de outros fluidos – embora todos eles estejam a temperaturas diferentes – e se colocarmos juntos numa sala sem lareira e na qual o sol não brilhe, o calor será comunicado do mais quente desses corpos para o mais frio, durante algumas horas talvez, ou no decor-

rer de um dia. No fim de um tempo, se colocarmos um termômetro neles todos em sucessão, eles darão precisamente a mesma leitura. O calor se distribui entre eles já que nenhum desses corpos tem uma demanda maior ou atração para o calor do que qualquer outro... O calor é trazido para um estado de equilíbrio. Nós devemos adotar uma lei mais geral do calor, o princípio de que todo corpo comunicando-se livremente um com outro e isolado da ação externa, adquire a mesma temperatura, como indicada pelo termômetro” (Black, *apud* [2, p. 403]).

João: E aquela história de que corpos à mesma temperatura deveriam ter a mesma quantidade de calor?

Rumford: Veja, o Hermann Boerhave e o Pieter Musschenbroek, dois grandes cientistas, como falei antes, que eram adeptos da teoria dinâmica do calor, admitiam que corpos de volumes iguais à mesma temperatura possuíam as mesmas quantidades de calor; opinião esta com a qual o Black absolutamente não concordava. Como temperatura e calor eram coisas indistinguíveis naquela época, a medida registrada pelo termômetro era confundida com a medida da quantidade de calor. A esse respeito Black afirmou: “Mas essa é uma visão muito apressada do assunto. Isto é confundir quantidade de calor em diferentes corpos com a intensidade do calor (temperatura), embora seja evidente que essas sejam duas coisas diferentes e que deveriam sempre ser distinguidas uma da outra, quando pensássemos em distribuição do calor...” (*apud* [3, p. 129]).

Amélia: E o Black deixou isso escrito em algum livro?

Rumford: Como a senhora deve saber, o Black, na verdade, não chegou a escrever diretamente os seus textos. Suas notas de aula foram publicadas em 1803, após a sua morte, por um seu antigo estudante, o John Robison [3].

Severino: Mas, afinal, como era que o Black via a diferença entre calor e temperatura?

Rumford: Para Black, temperaturas iguais significavam que os corpos possuíam as mesmas intensidades ou graus de calor; uma coisa bem diferente da quantidade de calor. A idéia de temperatura de Black – por vezes por ele mesmo identificada como aquilo que marcava um termômetro – tinha, no entanto, um substrato teórico que a identificava com a tensão exercida internamente nos corpos pelo fluido calórico. Este é um ponto muito importante; mas, frequentemente ignorado nos livros-texto de física que costumadamente atribuem à teoria do calórico a não distinção entre calor e temperatura. Historicamente,

no entanto, tal distinção constituiu-se exatamente em uma das maiores contribuições da teoria do calórico.

Jonas: Puxa vida, eu sempre disse exatamente o contrário em sala de aula. Eu sempre ensinei que segundo a teoria do calórico a temperatura era o mesmo que a quantidade de calor de um corpo. Que mancada!

Rumford: Não se culpe por isso, boa parte dos livros-texto de física diz isso mesmo. Algum autor desinformado inventou um dia essa abobrinha e os outros descuidadamente saíram repetindo até hoje (risos).

Severino: As idéias que você apresentou do Black dão a entender que o calor era considerado como algo que se transferia de um corpo com temperatura mais alta para outro corpo de temperatura mais baixa. Como isso contribuiu para que o Black construísse a teoria do calórico?

Rumford: O Black foi realmente o principal construtor da teoria do calórico. Ele tentou dar conta das suas observações dos fenômenos térmicos baseando-se numa visão substancialista do calor que implicou no estabelecimento de propriedades mais sofisticadas para esse fluido.

João: Eu estou confundindo a teoria substancialista com a teoria do calórico. Elas são a mesma coisa?

Rumford: Bem, quase isso. Na verdade, como eu já falei, a teoria do calórico foi o fruto da sofisticação da teoria substancialista. Essa teoria mais sofisticada – a do calórico – explicava fenômenos como: o aquecimento e o resfriamento dos corpos, a dilatação térmica, a condução do calor, assim como as mudanças de fase dos corpos e outros mais. Os novos conceitos de quantidade de calor, de calor específico e de calor latente – apresentados também por Black – passaram a integrar, de forma decisiva, a fundamentação dessa nova teoria substancialista, a teoria do calórico.

Amélia: Você falou que a calorimetria foi uma filha da teoria do calórico, não foi isso?

Rumford: Foi! Os conceitos de quantidade de calor e de capacidade térmica nasceram no contexto da teoria do calórico.

Amélia: Como assim?

Rumford: Vocês deviam ter entrevistado o Black; mas, eu vou explicar isso para poder chegar às minhas próprias contribuições. Veja: misturando quantidades iguais de água, que em condições iniciais possuíam temperaturas diferentes e estavam termicamente isoladas, Black concluiu que a temperatura final de equilíbrio situava-se no meio entre as temperaturas iniciais consideradas. Parecia, portanto, convidativo imaginar que neste processo

alguma coisa havia passado entre as duas massas de água, ou seja, que o calor poderia ser encarado como uma quantidade de um certo fluido que se transferia de um corpo para o outro. A concepção do calor como uma substância colocava-se assim em consonância com o conceito filosófico de conservação da matéria aceito na época. Nos experimentos com misturas, o calor não poderia ser criado nem destruído, a quantidade de calor permaneceria constante [2]. Entenderam?

Severino: Entendido, mas que lei é essa de conservação do calor? Essa eu não conheço. Você deve estar querendo dizer “conservação da energia”, não? Que eu saiba, não há nenhuma lei de conservação do calor.

Rumford: Bem, a idéia geral de conservação da energia só viria a ser estabelecida no século XIX, no contexto exato do desenvolvimento da termodinâmica. Ela envolveria o relacionamento entre o calor, a energia interna do corpo e o trabalho realizado; mas, essa é uma outra história que vocês deveriam conversar com o Mayer ou com o Joule ou melhor ainda com o Helmholtz. Eles vieram depois de mim e são os principais responsáveis por esse troço. Deixe-me falar das coisas da minha época.

Jonas: Pois bem, mas como era essa coisa que você falou da conservação do calor?

Rumford: Esse era exatamente o ponto nevrálgico da questão. Esta idéia da conservação do calor era, portanto, vital para a teoria do calórico e seria um dos principais flancos de ataque que os seus opositores viriam a desenvolver no final do século XVIII e no século XIX. Dentre estes opositores, eu fui um dos pioneiros. Como vocês devem saber, o Black havia observado que quando diferentes quantidades de água eram misturadas, a temperatura variava numa proporção inversa às suas respectivas massas. Na linguagem atual, poderíamos expressar uma tal observação calorimétrica escrevendo que: $m_a \Delta\theta_a = m_b \Delta\theta_b$, ou seja

$$\Delta\theta_b = \frac{m_a}{m_b} \cdot \Delta\theta_a.$$

Um problema, entretanto, apresentava-se: esta observação não era válida para misturas de corpos de naturezas diferentes, pois a proporção acima referida não se verificava. Algo mais complexo, portanto, parecia ocorrer numa tal situação, requerendo, assim, a construção de um novo conceito que desse conta da mesma.

João: É aí que entra a idéia de calor específico, não?

Rumford: Exatamente! Esse talvez te-

nha sido o ponto mais alto das contribuições dadas pela teoria do calórico: a construção do conceito de calor específico dentro do seu contexto substancialista. Em suas concepções, Boerhaave e Musschenbroek, admitiam que a capacidade de um corpo absorver calor dependia do seu volume ou de seu peso. Por exemplo, para corpos de chumbo e ferro que possuíssem o mesmo volume, era requerida a mesma quantidade de calor para obter uma mesma variação de temperatura. Black, por sua vez, tendo analisado os experimentos descritos no livro publicado por Boerhaave em 1732, concluiu que não havia uma proporcionalidade entre a quantidade de calor e a quantidade de matéria em corpos de materiais diferentes.

Jonas: Mas como ele chegou a essa conclusão?

Rumford: Black argumentou dizendo que, se tal proporção existisse, a quantidade de calor para aquecer 1 libra de água, aumentando sua temperatura de 1 °F, deveria ser a mesma para aquecer 1 libra de mercúrio obtendo a mesma variação de temperatura. As diferenças nas quantidades de calor observadas em tais aquecimentos eram, para Black, uma contra-evidência empírica da existência da proporcionalidade acima referida [2]. O mesmo argumento seria utilizado ao considerar corpos de densidades diferentes. Sabendo-se que a densidade do mercúrio é aproximadamente 13 vezes maior que a densidade da água, então a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura em 1 °F de um certo volume de mercúrio deveria ser 13 vezes maior que a quantidade de calor necessária para elevar o mesmo valor da temperatura de um mesmo volume de água. Os resultados numéricos obtidos por Black seriam bastante diferentes dos aqui apontados, de forma simplificada, nesta nossa argumentação [3].

João: Você sabe, exatamente, como Black afirmou isso?

Rumford: Isso está no livro do Robison, que foi aluno dele, relatando as aulas do Black. Segundo o Robison, Black afirmou que “a quantidade de calor que leva 2 volumes de água a aquecer por, digamos 25 graus, é suficiente para fazer 3 volumes de mercúrio aquecer do mesmo número de graus. O mercúrio, portanto, tem menor capacidade para o calor (se me for permitido o uso desta expressão) do que a água; uma quantidade menor de calor é necessária para elevar sua temperatura pelo mesmo número de graus” (*apud* [3, p. 132]).

Jonas: E daí nasce diretamente o conceito de calor específico.

Rumford: Isso! Os experimentos levaram Black a concluir que corpos de

naturezas diferentes possuíam diferentes capacidades de absorção do calor. Este é o germe da idéia de calor específico.

Amélia: E como a teoria do calórico dava conta dos fenômenos de mudanças de fases? O conceito de calor latente já existia?

Rumford: Certamente a teoria do calórico explicava as mudanças de fase. O conceito de calor latente também nasceu no contexto da teoria do calórico. Naquela época, no século XVIII, acreditava-se que para um corpo mudar do estado sólido para o estado líquido, por exemplo, era requerida a adição de uma pequena quantidade de calor. Black argumentou contrariamente a essa posição. Ele afirmou que “a fusão tem sido considerada universalmente como causada pelo acréscimo de uma quantidade muito pequena de calor a um corpo sólido, uma vez que ele tenha sido aquecido até o ponto de fusão; e o retorno do estado líquido para o estado sólido como dependendo de uma diminuição pequena da quantidade de calor... Acreditava-se que este pequeno acréscimo de calor durante a fusão era necessário para produzir uma elevação como indicado por um termômetro... A opinião que eu formei... é a seguinte. Quando o gelo ou qualquer outra substância sólida é fundida... uma grande quantidade de calor entra no mesmo... sem produzir aparentemente aquecimento, quando medido por (um termômetro)... Eu afirmo que este grande acréscimo de calor é a causa principal e mais imediata da liquefação induzida” (*apud* [2, p. 409]).

Jonas: Mas como ela justificava essas suas afirmações?

Rumford: Black justificou sua afirmação com resultados quantitativos baseados em experimentos com o calorímetro, um instrumento desenvolvido por ele mesmo para medir a quantidade de calor. “Ele pegou um calorímetro (copo de vidro) de massa 32 g, contendo 467 g de água inicialmente a 88 °C. Levou rapidamente 404 g de gelo seco a 0 °C para o calorímetro, observando que o equilíbrio térmico acontecia para a temperatura de 12 °C. A quantidade de gelo e água não eram tão diferentes. Se a mudança de fase não tivesse sido considerada, esperar-se-ia uma temperatura próxima de 40 °C. A temperatura encontrada tinha sido muito abaixo, o que reforçava a hipótese de Black. Uma grande quantidade de calor deveria ter sido transferida para derreter o gelo a 0 °C” [2].

Os novos conceitos introduzidos na calorimetria, assim como os fenômenos a eles associados encontraram na teoria do calórico ótimas explicações.

Cleide: Eu estou começando a encarar a teoria do calórico com mais respeito. Eu

sempre pensei que ela fosse uma teoria meio maluca, sem pé nem cabeça. Mas em que bases filosóficas ela estava assentada? Quero dizer, como toda teoria ela devia conter os seus próprios pressupostos metafísicos. Quais eram eles?

Rumford: Muito interessante a sua pergunta minha senhora. Os livros-texto de física que vocês usam nunca, ou quase nunca, falam sobre os pressupostos das teorias. Isto me parece um crime. Pois bem, veja lá: a partir de 1760 a teoria do calórico já estava bem estabelecida existindo, portanto, toda uma formulação para a mesma com algumas propriedades básicas. Entre os seus pressupostos estavam, por exemplo:

1. O calórico era uma substância material, um fluido elástico, substância esta que não poderia ser criada nem destruída;
2. Ele era constituído de partículas que se repeliam entre si, mas que eram atraídas pelas partículas da matéria ordinária;
3. A magnitude da atração era diferente para diferentes materiais;
4. O calórico poderia ser *sensível*, onde se difundia através do corpo penetrando em suas partes vazias e, por atração ficaria como uma capa ao redor das partículas da matéria ordinária;
5. O calórico poderia, alternativamente, ser *latente*, agindo com as partículas atrativas de forma semelhante a das combinações químicas [2, 4].

Alexandre: Eu creio que seria interessante fazer uma comparação entre a teoria do calórico e a teoria dinâmica, a sua principal concorrente; porque eu creio que há várias semelhanças entre elas e não apenas diferenças. E isso confunde a cabeça do iniciante, o senhor não acha?

Rumford: Claro que confunde! É por isso que estudar a história da física, a história do surgimento dos conceitos físicos e das relações matemáticas entre os mesmos pode ser algo bastante esclarecedor. Neste sentido, é importante assinalar que a teoria dinâmica do calor e a teoria do calórico apresentavam realmente tanto semelhanças quanto diferenças entre si. Em primeiro lugar, ambas pressupunham uma natureza corpuscular da matéria, diferentemente do que habitualmente costuma ser apresentado nos livros-texto de vocês, nos quais o calórico é geralmente representado, de forma absurdamente equivocada, como sendo um fluido contínuo. Como eu já assinalei antes, o calórico tinha uma estrutura interna, do mesmo modo que a matéria ordinária, e essa era também uma estrutura de natureza corpuscular.

Jonas: Eu estou espantado com essa sua afirmação! O calórico tinha também uma natureza corpuscular? Mas, então,

qual era a diferença entre a teoria do calórico e a teoria dinâmica? Sempre pensei que essa fosse exatamente a diferença entre elas.

Rumford: A principal diferença entre elas residia no fato de que enquanto a teoria dinâmica tratava apenas com corpúsculos da matéria ordinária, a teoria do calórico pressupunha a existência igualmente de partículas de um fluido sutil. Por outro lado ainda, o calor na teoria dinâmica era visto como um resultado do movimento, não diretamente acessível aos sentidos, um movimento das partículas da matéria comum, enquanto que a teoria do calórico pressupunha que tais partículas eram mantidas estáticas. O próprio fluido calórico mantinha as suas partículas igualmente estáticas envolvendo as partículas da matéria comum, como a casca de uma fruta. Em um tal modelo, as tensões estáticas, e não o movimento de quaisquer partículas, é que eram vistas como responsáveis pelas variações de temperatura. Assim, ambas as teorias falavam em *calor de um corpo*, algo bem diferente da visão moderna de calor como um processo. No entanto, enquanto na teoria dinâmica o calor de um corpo estava associado à *vis viva* das partículas da matéria comum – dada pelo produto da massa pelo quadrado da velocidade – na teoria do calórico o calor de um corpo estava relacionado com a quantidade do fluido calórico presente.

Severino: Puxa, cara, como essa teoria do calórico era interessante e ao mesmo tempo complicada. E apesar de tudo isso você ainda contribuiu para derrubar essa teoria? Quer dizer, você começou o ataque mais forte a esta teoria? Por quê? Ela não era tão boa?

Rumford: Porque, apesar de todas essas suas potencialidades ela apresentava alguns sérios problemas que me incomodavam. E esses problemas foram tomando vulto até que...

Amélia: Eu acho que o Severino está sendo muito apressado. Eu gostaria de conhecer ainda um pouco mais sobre a teoria do calórico. Porque, de início, como eu não achava essa teoria lá grande coisa, eu pensei cá comigo: “grande coisa contribuir para derrubar uma besteira dessas”. Mas, agora, eu estou percebendo que a coisa não é bem assim. E neste caso, tentar derrubar uma teoria coerente e bem estabelecida me parece algo realmente grandioso. Principalmente quando essa derrubada conduziu à construção da termodinâmica.

Rumford: Isso minha cara senhora! Você agora deve estar entendendo porque eu estou gastando tanto papo com a teoria do calórico. De que adianta contribuir decisivamente para derrubar uma teoria se ela não é lá grande coisa? A teoria do calórico

era, realmente, grandiosa. Portanto, deixe-me falar um pouco mais sobre o seu poder explicativo. Isso prepara bem o terreno para o meu posterior ataque à mesma. Eu nasci no seio da teoria do calórico, mas voltei-me decididamente contra ela.

João: Essa sua vocação de ser traidor desde pequeno a gente já entendeu; mas, o que eu quero saber é: quais fenômenos a teoria do calórico explicava e como ela os explicava?

Rumford: Bem, a teoria do calórico veio a dar conta das explicações de grande parte dos fenômenos ligados ao aquecimento dos corpos. Por exemplo: O *aumento de temperatura* estava baseado na hipótese da existência de diferentes espaços entre as partículas de diferentes materiais. De acordo com o maior ou menor espaço existente entre as partículas, o material teria uma maior ou uma menor capacidade específica de reter o calor. Deste modo, uma mesma quantidade de calor fornecida a dois corpos de diferentes materiais e de mesma massa ocasionaria *diferentes tensões estáticas do fluido calórico* que se revelariam macroscopicamente como diferentes temperaturas. A situação assemelhava-se às tensões exercidas por uma mesma quantidade de ar em dois balões de festa de diferentes capacidades volumétricas.

João: Que interessante! E as dilatações térmicas, como elas eram explicadas?

Rumford: A *dilatação dos sólidos* era explicada com a argumentação de que quando um corpo recebia uma certa quantidade de fluido calórico, a atração entre as partículas da matéria ordinária predominava sobre a repulsão das atmosferas das partículas de calórico que cercavam tais partículas de matéria comum, até o limite em que uma quantidade suficiente desse calórico introduzido dava lugar a uma expansão que conduzia a um novo equilíbrio das forças internas.

Jonas: Legal! Muito interessante mesmo. E quanto às mudanças de fase, o que dizia a teoria do calórico?

Rumford: A *mudança de fase*, a fusão, por exemplo, ocorria quando uma quantidade de calórico introduzida no corpo fosse de tal ordem que a repulsão entre as partículas do fluido de calor superava a atração das partículas da matéria ordinária.

Severino: Uma explicação, sem dúvida, muito interessante. E quanto à condução térmica?

Rumford: Bem, a *condução térmica* era explicada pela teoria do calórico pressupondo que o fluido calórico era atraído pelas partículas da matéria ordinária. Assim, uma pequena quantidade de calórico adicionada a um corpo, acarretava no surgimento de uma atração maior deste fluido

pelas partículas da matéria comum. Aquecendo-se, por exemplo, a extremidade de uma barra de metal, a força de atração, naquele ponto, diminuía. O calórico que estava sendo introduzido na barra era atraído mais intensamente pelas partículas vizinhas, havendo desta maneira uma transmissão de calor de um ponto para outro em um corpo.

Amélia: Teoria engenhosa, essa! E pensar que eu sempre achei que essa teoria era uma bobagem. Mas e o calor radiante? O que a teoria do calórico afirmava sobre ele?

Rumford: Olhe, o *calor radiante* foi um conceito introduzido justamente pelos caloristas para que se pudesse dar conta das dificuldades de explicar como o calor poderia propagar-se no vácuo. Na ausência da matéria comum as partículas do calórico se auto-repeliem, e o fluido do calor era então liberado e viajava através do vácuo. Este era um dos pontos mais fortes da teoria do calórico, pois a teoria dinâmica não explicava bem a transmissão do calor por irradiação. As pessoas costumavam dizer, apenas, que a teoria do calórico sofria ataques dos adeptos da teoria dinâmica do calor. A questão é que os caloristas também contra-atacavam seriamente as bases da teoria dinâmica do calor. E a questão da transmissão do calor por irradiação era um dos pontos mais fracos da teoria dinâmica. Percebam, portanto, que derrubar uma dessas teorias não era nada simples. As pessoas costumavam pensar que bastava colocar um defeito em uma teoria para que ela caísse. Mas isso é ingênuo, porque, no nosso caso, mesmo que uma teoria não explicasse um certo fenômeno, ela explicava bem uma série de outros fenômenos. Cada teoria era complexa como uma estrutura. Você mexia aqui, e ela balançava ali, sacou? E ainda tinha a questão dos contra-ataques.

Zé Roberto: Como assim?

Rumford: Porque se um adepto de uma dessas teorias achasse um defeito, uma falha, na teoria concorrente, os adeptos dessa outra teoria também encontravam falhas na dele. E aí, companheiro, o clima era de disputa, mesmo. Na verdade, esse clima de disputas interpretativas é uma parte inerente da história da ciência. A visão açucarada propagada pelos livros-texto é que dificulta a nossa percepção desta característica essencial do desenvolvimento histórico da ciência.

Alexandre: Isso me leva a levantar uma questão de natureza filosófica: o Thomas Kuhn afirma que esse clima de disputas se dá apenas porque não há um paradigma bem estabelecido. Para ele, após haver a aquisição de um paradigma, os cientistas tornam-se mais conservadores, autênticos reacionários, praticantes da ciência

normal. O que é que o nosso caro conde acha disso?

Rumford: Olha, eu apesar de morto, já faz tempo, sou um cara pós-Kuhniano (risos).

Amélia: Como assim? Você morreu em 1814 e *A Estrutura das Revoluções Científicas*, do Thomas Kuhn, é dos anos 1960 [5]. Conta essa história direito.

Rumford: Bem, eu li a obra do Kuhn, depois de morto, claro, e confesso que não gostei dela. Eu tenho boas razões para isso e disse isso a ele mesmo, recentemente, lá no céu.

Amélia: Explique isso direitinho, eu não gostei do que o senhor acabou de dizer. O Thomas Kuhn é o meu ídolo. Ele criticou veementemente o papel da encucação ideológica exercida pelos livros didáticos. Eu adoro aquele livro. Para mim o Thomas Kuhn é o sinônimo da própria filosofia da ciência moderna.

Rumford: Não apenas a senhora pensa assim; o Kuhn virou moda entre os educadores, mas eu não estou de acordo com os pontos de vista do Kuhn. Para mim ele simplifica enormemente a história da ciência. Só dessa forma as suas posições podem ser mantidas. A minha história é um contra-exemplo do que diz o Thomas Kuhn.

Amélia: Como assim?

Rumford: Para início de conversa, não é verdade que o Kuhn tenha sido esse revolucionário que a senhora e muitos dos senhores talvez acreditem. Ele não criticou o papel ideológico dos livros didáticos, ele apenas constatou um tal papel, o que é muito diferente. E no final do livro ele defendeu esse papel ideológico para a continuação do que ele mesmo chamou de “ciência normal”. E ainda permitiu-se fazer considerações sobre a Educação do futuro cientista, desse deslavado cerebral que ele imaginava serem todos os cientistas. Eu até admito que muitos cientistas são exatamente o que o Thomas Kuhn disse: meros solucionadores de quebra-cabeças. O problema é que para ele esse é “o protótipo do cientista” e para mim não. Eu, por exemplo, criei dentro dos cânones da teoria do calórico e diante do que pareciam evidências empíricas muito fortes eu me voltei contra o modelo que sempre havia acreditado, contra o calórico. E veja, que eu não estava voltando-me contra nenhuma galinha morta. E eu estava cortando na minha própria carne.

Zé Roberto: Essa sua vocação de traidor nós já entendemos, mas será que todos os cientistas têm de ser traíras como o senhor foi?

Amélia: Falando sério, senhor conde, o Thomas Kuhn admite que em períodos revolucionários, como aquele no qual o se-

nhor viveu, coisas assim acontecem. Ele admite que alguns praticantes da ciência podem-se voltar contra a ortodoxia.

Rumford: Isso é uma ofensa à história! Na minha época, a teoria do calórico não estava balançando, ela estava muito bem assentada.

Amélia: Mas não era paradigmática, era apenas a concorrente mais forte.

Rumford: Não importa! Eu não participei de nenhuma “revolução científica”, eu não entrei como uma “Maria vai com as outras” em nenhum trio elétrico da história. Eu critiquei aquilo que era o dogma mais bem posto da área – a teoria do calórico – dogma este no qual eu sempre acreditara até então, mas o fiz baseado no que supunha serem ótimas evidências empíricas. Mas, eu fui muito cauteloso na crítica. O meu trabalho é um contra-exemplo daquilo que diz o Kuhn. O problema é que muitos dos senhores educadores fazem filosofia da ciência de gabinete, sem um estudo acurado da história da ciência. E aí ocorre aquilo que dizia o Imre Lakatos parodiando o Kant: a filosofia da ciência sem a história da ciência fica cega. E é nesse terreno escuro do desconhecimento dos fatos históricos que o Kuhn faz a sua festa, a festa que a senhora Amélia tanto aprecia.

Amélia: O senhor dobre essa sua língua, seu defunto narigudo.

Rumford: E a senhora; viúva do Thomas Kuhn!

Alexandre: Meu caro senhor conde, eu acho melhor o senhor parar por aí com esses seus ataques ao Thomas Kuhn, pois o fã clube dele ainda é muito grande entre os colegas da nossa área. Se bem que atualmente a moda é se associar ao fã clube do Bruno Latour, um sujeito que se diz pós-modernista. O senhor não disse que é pós-kuhneano; pois cuidado para não ser confundido com o Bruno Latour.

Rumford: Tudo, menos isso! Esse eu ainda não tive a oportunidade de encontrar lá por cima; mas, sei que o Alan Sokal já deu conta dele.

Amélia: Como, assim?

Rumford: O Alan Sokal é aquele físico americano que levou ao ridículo as teses esdrúxulas dos pós-modernistas e que escreveu um livro interessantíssimo intitulado *Imposturas Intelectuais* com Jean Bricmont. O Mario Bunge, um influente filósofo da ciência, é outro que também tem combatido com bastante vigor as concepções desses tais “pós-modernistas”.

Alexandre: Mas, como o senhor deve imaginar, nós estamos pisando em um terreno lodoso, ardente de paixões ideológicas. Por isso, todo cuidado é pouco.

João: Mas, eu estou interessado. Eu tenho umas amigas que são exímias

sofistas que apreciam muito este tipo de literatura pós-modernista. Elas misturam conceitos de mecânica quântica com tudo, até com literatura de cordel (risos).

Rumford: Bem, eu soube disso apenas recentemente. Na verdade, toda essa onda de críticas severas contra o tal do pós-modernismo parece que começou de uma forma um tanto virulenta quando o Alan Sokal – um homem de esquerda e com militância em países de terceiro mundo – revoltado com a farsa das publicações ditas “pós-modernistas” enviou um artigo com um título bombástico de *Transgressing the Boundaries: Toward a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity* (*Transgredindo as Fronteiras: Em Direção a uma Hermenêutica Transformativa da Gravitação Quântica*) para uma conceituada revista dos pós-modernistas intitulada *Social Text*. O artigo do Sokal era uma autêntica armadilha onde ele misturava propositalmente coisas sem o menor sentido, unindo citações de filósofos ditos pós-modernistas com vários disparates envolvendo matemática e física avançadas, do mesmo modo como costumam fazer os ditos filósofos. O artigo recebeu uma excelente acolhida no seio da comunidade pós-modernista e foi logo publicado. Entretanto, logo em seguida, Sokal denunciou a farsa e o logro em que os tais filósofos haviam caído. A coisa evoluiu para a escrita do livro com Jean Bricmont e que em português foi publicado com o título de *Imposturas Intelectuais*. Nele os autores expõem a fragilidade e a verdadeira farsa dos argumentos dos “pós-modernistas”. Ali estão expostos, por exemplo, o uso estapafúrdio feito por Jacques Lacan de conceitos de Topologia, a utilização inapropriada da teoria dos conjuntos por Julia Kristeva, da mecânica dos fluidos por Luce Irigaray e da geometria não-euclidiana por Jean Baudrillard, para mencionar apenas alguns.

Alexandre: Cuidado, senhor conde, eu estou lhe avisando! Os sócios do fã clube dos pós-modernistas não vão gostar. E eles são confusos por natureza, mas são muito barulhentos. O Sokal que o diga.

Rumford: E o que o senhor acha que eu devo fazer, então?

Alexandre: A questão é que se o senhor continuar a falar essas coisas sobre o Thomas Kuhn e mais ainda sobre o Lacan e outros ainda mais iluminados, os seus fãs não vão gostar dessa sua entrevista. Assim, eu acho mais prudente o senhor voltar ao seu assunto histórico e explicar melhor por que é que a transmissão do calor por irradiação não cabia direito no contexto da teoria dinâmica.

Rumford: Tudo bem! Mas, o leitor inteligente poderá ler o livro do Alan Sokal

e do Jean Bricmont e saberá tirar as suas próprias conclusões. Voltemos, portanto, à nossa questão da radiação térmica.

Alexandre: Isso, senhor conde. Como meu personagem, o senhor não pode colocar-me em mais uma enrascada; já tenho inimigos demais.

Rumford: Pois bem, retomemos então o tema da irradiação do calor. A questão é que para a teoria dinâmica, o calor era apenas o movimento transmitido pela contínua vibração das partículas da matéria comum. O Daniel Bernoulli e o Rugero Bosovich foram dois campeões dessa teoria no século XVIII. A coisa toda já continha o germe daquilo que viria a se desenvolver, no século XIX, como a teoria cinética, como o fundamento mecânico da termodinâmica, o tratamento estatístico dos fenômenos microscópicos. Quem me dera se eu ainda estivesse vivo para trabalhar com a termodinâmica; que ciência linda, meu Deus!

Zé Roberto: Mas, qual era mesmo o problema da explicação da teoria dinâmica para a transmissão do calor por irradiação?

Rumford: O problema é que a teoria dinâmica funcionava muito bem para explicar o calor no interior dos corpos, ou mesmo na transmissão por condução, mesmo no ar. Bastava pensar como em um modelo de uma bolinha batendo na outra, balançando todas para lá e para cá. E lá ia o movimento sendo transmitido. Isso era o calor para os adeptos da teoria dinâmica.

Jonas: Mas, é exatamente dessa maneira que eu ensino na Escola. Nos livros também é assim que o calor é explicado. E até agora eu sempre pensei que o senhor houvesse contribuído exatamente para fazer com que essa visão viesse a ser a vencedora. Não foi, mais ou menos isso que o senhor concluiu ao interpretar o seu experimento do canhão?

Rumford: Isso é complicado, mesmo. Foi sim; mas, eu estava em alerta para as dificuldades da visão dinâmica. Daí eu haver sido muito contido nas minhas afirmações, justamente eu que nunca havia sido um cara contido. Não era uma mera questão de estilo. Aí está o meu problema com a interpretação do Kuhn. Daqui a pouco a gente conversa melhor sobre o meu experimento do canhão. Deixe-me continuar a falar da questão da transmissão do calor por irradiação.

Jonas: Isso! Vá em frente!

Rumford: Pois, bem! Como eu estava dizendo, no interior da matéria, mesmo em um meio tão pouco denso como o ar, era fácil compreender a transmissão do calor com esse modelo de partículas da matéria comum que vibravam e batiam umas nas outras e lá ia essa vibração sendo transmi-

tida espaço afora. Eu adorava esta teoria das vibrações.

Zé Roberto: Ótimo, e não é assim, mesmo?

Rumford: Calma! Há perigo na estrada! Como é que você explicaria, por exemplo, a transmissão do calor através do vácuo? Como é que o calor poderia vir do Sol até a Terra? Se você imaginar que há um vácuo, então não tem mais as tais bolinhas, as tais partículas da matéria ordinária, batendo umas nas outras e servindo de mecanismo de transmissão desse movimento que denominamos de calor. Está vendo como eu precisava ser cauteloso? Eu comecei a sentir, ao fazer o experimento do canhão, como discutiremos mais adiante, que a teoria do calórico apresentava um furo incontornável, mas, por outro lado, a teoria dinâmica também me parecia furada. Daí a minha cautela. Eu nunca fui bobo de botar a minha cara para levar tapa. Por mais evidências contrárias à teoria do calórico que existissem, isso não significava que a teoria dinâmica estivesse ainda suficientemente bem posta. Então, enquanto eu não tinha nenhuma forma de explicar essa coisa toda, tudo que eu poderia fazer era me contentar em achar novas peças de evidência contrárias ao calórico. Mas a angústia e a insegurança eram enormes. Era matar algo sem ter o que colocar no lugar. Entendeu porque eu nunca poderia considerar-me um revolucionário? Revolucionários precisam ter uma utopia na qual acreditarem, uma causa que eles acreditem ser justa e pela qual lutem. Algo positivo, não apenas algo negativo. Faltava-me esta coisa positiva, que eu não imaginava o que poderia vir a ser. Evidentemente eu nada sabia sobre as ondas eletromagnéticas e a sua propagação. Isso apareceu muito depois da minha morte. Tudo o que eu pude perceber na minha época foi que, de algum modo, o calor deveria ser algo como o movimento, mas não no sentido estrito da velha teoria dinâmica. E dessa sinuca eu nunca saí. Morri sem sair dela. Ah!, se eu houvesse vivido no final do século XIX para conhecer o eletromagnetismo.

Severino: Puxa! Eu nunca havia pensado nessas coisas todas. Eu agora estou é atrapalhado para dar as minhas aulinhas de física. Essa coisa de história da física embanana a cabeça da gente. Ela obriga a gente a pensar e a duvidar de muitas coisas que a gente diz como se fossem triviais.

Rumford: Exatamente! E coisas estas que estão longe de serem triviais! E não é por outra razão, senão para fugir deste conflito epistemológico e até psicológico, que as pessoas fogem da história como o diabo foge da cruz. A análise histórica desmonta

nossas mais íntimas convicções, abala as nossas próprias estruturas. É por isso que as caricaturas apresentadas pelos livros-texto nos parecem tão convidativas.

Amélia: Senhor conde, diga-me uma coisa: o senhor pensava mesmo assim, fazia todas essas reflexões filosóficas e educacionais?

Rumford: Minha cara senhora, quem está aqui a lhe conceder uma entrevista não é apenas o conde Rumford, morto e enterrado em 1814, como disse a senhora, momentos atrás. Quem está diante da senhora é um personagem construído pela imaginação do autor desta entrevista. Um personagem que tenta retratar o que o conde pensava à época em que viveu, mas que se permite incursões sobre tempos posteriores à sua morte. Eu, aqui, como este ser construído, como me apresento, sou um misto da minha consciência, da consciência de Benjamin Thompson, com “p”, com a consciência do autor e a consciência dos leitores deste texto. Eu sou um Projeto, também com P, mas um P maiúsculo. A minha preocupação aqui é pedagógica e filosófica. A minha intenção é despertar os senhores a pensarem sobre aquilo que ensinam e que julgam, por vezes, conhecerem tão bem. Eu não estou aqui apenas para falar de detalhes da minha biografia.

Zé Roberto: Então o senhor está aqui como o nosso conhecido “Chacrinha”. Está aqui para confundir! É isso?

Rumford: Deixo esta questão para a sua própria análise e para análise do leitor inteligente. O que é melhor: viver a angústia da dúvida ou a certeza da ilusão? Reflita e não procure logo a folha de respostas, pois a vida não é um mero livro didático.

Jonas: Gostei!

João: Pois, eu, agora, fiquei pirado, mesmo. Como é que se explica, então a transmissão por irradiação?

Rumford: Para responder isso eu vou ter, novamente, que falar de coisas que só vim saber depois de morto. Tudo bem? Não atrapalha quando eu voltar a falar como eu era, mesmo?

Alexandre: Atrapalha, um pouco. Isso está parecendo um filme francês da *Nouvelle Vague* onde as cenas viajavam constantemente entre o passado e o presente sem cortes visíveis e Hollywoodianos.

Rumford: Mas é isso aí mesmo. Vocês precisam transportar-se para o final do século XIX, bem depois da minha morte, para perceber o que eu quero dizer.

Zé Roberto: E o que é que você quer dizer, senhor conde? Explique logo.

Rumford: Que baixinho nervoso! Esse é pior do que eu. A questão é que esse problema só encontrou um princípio de solução a partir do momento em que o calor

passou a ser visto como uma radiação eletromagnética. Só uma visão eletromagnética da questão pode esclarecer esse problema. A termodinâmica, que já não era apenas uma ciência do calor, mas que incorporava também uma visão mecânica de mundo, em termos estatísticos referentes ao movimento das partículas, passou a englobar, também, aspectos eletromagnéticos.

Severino: Ainda estou sobrando.

Rumford: Veja, com Maxwell, as ondas eletromagnéticas ganharam uma realidade matemática, ainda que presas a velhos modelos da mecânica dos fluidos. Com Hertz, elas ganharam uma realidade física, mas com a relatividade, do Einstein, as ondas eletromagnéticas atingiram a sua maioria. Elas se tornaram realidades independentes, propagações de perturbações dos campos eletromagnéticos. E aí, a transmissão do calor por irradiação passou a ter um abrigo mais natural. Compreenderam? Acho que vocês deveriam conversar sobre isso com o Einstein, ele era apaixonado pela termodinâmica, sabiam?

João: Que tal trazer o conde para a época dele de novo e pedir para ele baixar a sua bolinha e falar novamente sobre a teoria do calórico? Se não fizermos isso, logo, o revisor da revista vai mandar cortar um bocado de coisas dessa entrevista.

Zé Roberto: Senhor conde, eu sou engenheiro civil e estou acostumado a ver os pedreiros martelando e dobrando vigas de ferro na construção. Sempre que isso acontece o ferro fica aquecido. A teoria do calórico também explicava esse fato?

Rumford: Sim, claro que sim! O aquecimento por processos de deformações mecânicas também poderia ser explicado pela teoria do calórico. Um metal sendo golpeado fortemente era aquecido porque o calórico ao ser comprimido diminuía as distâncias entre as suas atmosferas aumentando consequentemente a repulsão e liberando desta forma parte do calórico que estivesse ainda aprisionado ocasionando, assim, um aquecimento do metal [4].

Jonas: E o aquecimento por atrito?

Rumford: Isso! Agora você está chegando bem perto dos problemas que eu vim a enfrentar lá na fundição de canhões.

Jonas: Pois fale algo sobre como a teoria do calórico explicava o aquecimento por atrito. E explique, também, como era a explicação dos caloristas para o aquecimento por desbastamento do material. Desse modo, você chegará no âmago do problema a ser explicado.

Rumford: Isso, companheiro, você agora tocou o meu coração! Eu estou afunilando essas explicações em direção ao meu problema da perfuração de canhões. Veja lá: o aquecimento por atrito era expli-

cado de forma análoga ao aquecimento pelo martelamento, supondo-se a necessidade do exercício de uma certa pressão para que os corpos fossem atritados. Desta forma, um simples deslizamento, ou seja, um deslocamento das superfícies - com uma pressão reduzida - não deveria gerar calor.

Amélia: E o aquecimento por desbastamento?

Rumford: Este era exatamente o x da questão. Foi aí que a porca torceu o rabo, como veremos mais adiante (Risos). O aquecimento por desbastamento era explicado pela teoria do calórico, afirmando-se que o calórico era solto das atmosferas às quais estava preso. Ao ser liberado, este calórico ia aquecendo o meio ambiente. Foi justamente aí que eu entrei em cena ao escavar os canhões na Baviera.

Jonas: E então, o que foi que aconteceu?

Rumford: Aconteceu que eu coloquei o cilindro de metal girando no torno para que a broca fosse perfurando o mesmo lentamente. A questão é que à proporção que o orifício ia sendo cavado, a temperatura subia dramaticamente e por isso mesmo a peça de metal era colocada permanentemente dentro de um grande vaso com água. O desbastamento era feito de forma submersa e mesmo assim a água ainda fervia.

Severino: E daí?

Rumford: Daí que nós achávamos até então que aquele calor todo que aparecia estava sendo liberado pelo fato de que o metal estava sendo cortado em pequenas aparas e isso estava contribuindo para liberar o calórico que estava preso no metal.

Amélia: Esta me parece, de fato, uma boa explicação.

Rumford: Todos nós também pensávamos assim, mas então aconteceu um problema.

João: Que problema?

Rumford: Com o passar do tempo a broca foi se desgastando, ficando cega, de modo que raspava o metal sem conseguir mais cortá-lo.

Severino: Mas, qual era o problema, homem de Deus?

Rumford: O problema, senhor Severino, era que nestas condições, sem conseguir mais cortar o metal, o calórico não deveria mais estar sendo liberado, pois as aparas não estavam mais sendo produzidas, e deste modo, a água na qual a peça de metal estava imersa deveria resfriar um pouco.

Amélia: E resfriou?

Rumford: Muito pelo contrário! Não apenas a água continuou a aquecer como até ferveu. Estava claro que a broca cega conseguia misteriosamente liberar ainda mais calor do que quando conseguia cortar o metal e isso era um paradoxo. Se a

broca cega não conseguia cortar aparas do metal, como é que o calor continuava a ser liberado? E pior ainda, liberado em quantidade ainda maior do que antes.

Amélia: É! Isso parece realmente esquisito. E eu que já estava achando a teoria do calórico uma beleza.

Rumford: Mas, aí é que está! Mesmo não dando uma explicação para aquele novo fenômeno observado, ela ainda continuava a explicar satisfatoriamente uma porção de outros fenômenos como discutimos anteriormente. E ninguém iria abandonar uma teoria simplesmente porque ela não funcionava aqui ou ali, sem ter antes algo melhor para substituí-la. Pensar diferente é ingenuidade. E naquela época, não havia nada que pudesse concorrer à altura com a teoria do calórico em seu potencial explicativo.

Severino: Mas e esse problema do superaquecimento provocado pela broca cega, como o senhor resolveu?

Rumford: Eu fiz a conjectura bastante arrojada para a época de que o calor não deveria ser uma substância, mas que ele parecia ser uma forma de movimento.

Jonas: O senhor quer dizer, uma forma de energia, não?

Rumford: Eu não falei assim, mesmo porque a ideia de energia enquanto um conceito geral ainda nem existia. Ela só surgiria com vigor na segunda metade do século XIX, bem depois da minha morte, com os trabalhos do Helmholtz.

Amélia: Mas, então, o que foi mesmo que o senhor disse?

Rumford: Eu já expliquei. Eu considere a possibilidade de que o calor fosse apenas uma forma de movimento. Isso, certamente, contribuiu para abalar as estruturas da teoria do calórico, mas eu não diria jamais que eu refutei a mesma.

Alexandre: Muito bem, do que o senhor falou pode-se perceber a grande variedade de situações com as quais a teoria do calórico conseguia lidar de forma bastante satisfatória para a época. Mesmo diante dos seus ataques, com o seu célebre experimento do torneamento de canhões, a teoria do calórico persistiu ainda dominante por longo tempo.

Rumford: Isso! Ainda que tenham sido levantados vários obstáculos explicativos ao calórico, é preciso observar que a teoria dinâmica ainda não se constituía naquela época em um adversário à mesma altura.

Amélia: Por favor, fale-me um pouco sobre a transmissão de calor por convecção. O professor Alexandre me falou que foi o senhor quem descobriu este fenômeno. É verdade?

Rumford: Isso, mesmo! Foi durante uma daquelas minhas distribuições de so-

pa, em 1797. Eu havia percebido há anos que alguns pratos especiais mantinham a temperatura por muito mais tempo do que outros e que as tortas de maçã permaneciam surpreendentemente quentes por um longo período de tempo. Sempre que queimei a boca com elas ou que vi outras pessoas terem o mesmo infortúnio, tentei em vão descobrir os motivos responsáveis por aquele fenômeno.

Amélia: Onde é que entra a tal sopa, que o senhor falou?

Rumford: Bem, doze anos se passaram desde a minha primeira observação daquele misterioso fenômeno. Foi quando eu tive um encontro semelhante com a tal sopa; uma sopa grossa de arroz que me trouxeram bem quente, mas que eu deixara resfriando por uma hora. A primeira colherada que eu tomei, retirada de cima do prato fundo, estava fria e desagradável. A segunda colherada, mais do meio, entretanto, queimou-me a boca. Eu fiquei perplexo!

Zé Roberto: Por quê?

Rumford: Porque naquela época todos pensavam que a água era um bom condutor de calor. Por que, então, aquele prato cheio de água não resfriara mais depressa?

Amélia: Sim, por quê?

Rumford: Bem, eu estava me perguntando exatamente isso, quando tive a sorte de examinar um enorme termômetro a álcool que eu havia construído para outros experimentos e que havia sido bastante aquecido. Eu o havia colocado no parapeito da janela para resfriar. Quando fui buscá-lo observei que o álcool contido no interior do grande bulbo estava em rápido movimento, correndo celeremente em duas direções opostas, para cima e para baixo, ao mesmo tempo.

Amélia: Como isso é possível? Uma coisa não pode correr simultaneamente para cima e para baixo. O senhor deve ter endoidado e não percebeu.

Rumford: Mas, minha senhora, o álcool é um líquido e não um corpo rígido. Partes dele estavam subindo enquanto outras partes estavam descendo. Qual é o problema?

Zé Roberto: É, Amélia, o conde tem razão. Você devia ter ficado calada.

Amélia: Não enche, Zé!

Rumford: Pois bem, examinando mais atentamente aquele fenômeno, eu percebi que a corrente ascendente ocupava o eixo central do tubo do termômetro e a descendente corria pelos lados do tubo. Eu então chamei aquele processo de *convecção*.

Cleide: Por que o senhor escolheu esta palavra?

Rumford: Muito interessante a sua pergunta, madame. Vejo que a senhora se interessa pela origem das palavras, pela eti-

mologia. Eu também sempre fui muito interessado em questões etimológicas. Pois bem, eu escolhi a palavra "*convecção*" porque ela vem do latim, de *convectionem* que significa o ato de carregar. Eu queria dizer com isso que o movimento de partes da matéria carregava consigo o calor. Entenderam?

Zé Roberto: O senhor pode dar um exemplo desse processo?

Rumford: Vocês podem perceber esse processo nas panelas. Quando a água é aquecida em uma panela, por exemplo, a parte da água que está no fundo sobe para o topo e é substituída por um fluxo de água fria, que é outra vez aquecida, de modo que há uma circulação contínua de água levando calor para todas as partes da panela.

Jonas: Quer dizer que esta sua descoberta da convecção foi bastante empírica, não?

Rumford: Isso! As descobertas empíricas também existem, não são apenas mitos como querem alguns filósofos moderninhos.

Alexandre: Vá devagar com esse seu andor meu caro conde que o santo é de barro. É verdade que essa sua descoberta foi empírica, mas a sua interpretação, a sua intuição em relação à convecção do calor pela água é que foi algo genial. Para mim, aí é que está o ponto mais importante de sua descoberta, a alteração que o senhor fez no conceito de condução do calor em relação à água. E este ponto está mais para o lado da intuição do que para o da indução, não é mesmo?

Rumford: Tem razão! Eu explico a situação à qual o senhor se referiu. A convecção é um processo muito mais eficiente como transporte de calor do que a condução. Naquela época, como já disse antes, achava-se que a água era um ótimo condutor de calor. E por que se pensava assim?

Amélia: Está olhando para mim? O senhor está perguntando a mim? Mas, não foi o senhor quem descobriu?

Rumford: Minha cara senhora, eu estou lhe perguntando apenas como uma forma de fazê-la pensar. Eu estou sendo socrático, entendeu?

Amélia: Desculpe, eu não havia percebido. Vá em frente, eu não sei mesmo a resposta.

Rumford: Pois bem, pensava-se que a água era um bom condutor porque ninguém havia percebido ainda o papel da convecção no transporte eficiente do calor. Na verdade, ninguém reconhecera que aquele tal processo ao menos existia, sacou agora?

Amélia: Saquei! Prossiga.

Rumford: Pois bem!

Zé Roberto: Homem de Deus! Pare de tanto dizer "pois bem" e desembuche logo

isso.

Rumford: Pois bem!

João: Não tem jeito, deixem o conde dizer o tal do “pois bem” senão não acabamos mais essa entrevista.

Rumford: Pois bem, eu saquei que a convecção existia. E adivinhei que a água na verdade é um mal condutor de calor e que...

Amélia: Pára, pára, pára! O senhor fez o quê?

Rumford: Isso mesmo que a senhora ouviu: eu adivinhei! Eu intuía, se preferir assim. Eu vi aquela situação sob um ângulo totalmente novo e iluminado pela criação do novo conceito de convecção que eu havia criado para dar conta daquilo que havia sido observado.

Jonas: Opa! Isso já não está me parecendo mais tão indutivista assim.

Alexandre: Pois é, a criação científica tem mais mistérios e sutilezas do que a indução pode comportar.

Rumford: Isso mesmo! E então a coisa toda clareou na minha mente. Com o conceito de convecção em mente, eu entendi que a água na verdade é má condutora de calor e que o problema com as tortas de maçã e com as sopas de arroz havia ocorrido porque o movimento da água tinha sido de algum modo obstruído.

Amélia: Genial!

Rumford: Obrigado, senhora, mas não precisa exagerar.

João: A ideia é realmente sensacional; mas, como o senhor poderia testar esta sua intuição? Como saber se a luz que o senhor estava vendo no fim do túnel não era o trem que estava chegando e não a saída do túnel? (Risos)

Rumford: Bem, o senhor tem toda razão. A intuição faz o cientista ver mais longe; mas ele, certamente, tanto pode estar vendo a saída do túnel quanto o trem (risos). E é aí que entra o papel do experimento.

Jonas: Como, assim?

Rumford: Eu testei aquela minha hipótese. Eu criei propositadamente uma situação artificial e controlada com a intenção deliberada de testar o que eu havia intuído. Eu impedi deliberadamente a convecção em duas painéis de água quente, dissolvendo amido em uma delas e introduzindo um edredom na outra.

Amélia: O senhor colocou o seu edredom para cozinhar? O senhor ficou louco?

Rumford: Não, minha cara senhora; mas, eu estou começando a ficar louco com essas suas perguntas meio malucas.

Amélia: O quê? Seu narigudo atrevido?

Jonas: Calma, Amélia! Deixe o conde explicar esse negócio da sopa de edredom (risos).

Rumford: Eu não fiz nenhuma sopa de edredom, eu apenas usei o edredom como uma forma alternativa de obstruir a convecção. Era isso que eu queria testar, entenderam?

Severino: Eu já havia entendido antes.

Rumford: Certamente, meu caro senhor Severino, o senhor é muito perspicaz. Como eu estava dizendo, descobri então que a água nessas duas painéis esfriava muito mais devagar do que a água em uma terceira painel na qual eu não havia colocado nada, nem edredom e nem amido. Claramente, o que fazia a diferença era a existência ou não de algo que atrapalhasse a convecção. Foi só então que tive mais convicção do que já estava suspeitando; de que nos alimentos como tortas de maçãs cozidas e nas sopas grossas como a de arroz, as correntes de convecção eram retardadas ou até mesmo bloqueadas pela presença de fibras e de substâncias dissolvidas que eram liberadas durante o cozimento. A camada superficial podia esfriar, mas o material quente no interior do alimento, não conseguia ser transportado para a superfície por convecção.

João: E que mais? Chega de falar de sopa quente.

Amélia: É verdade que o senhor se casou com a ex-mulher do Lavoisier depois que decapitaram o coitado?

Jonas: Eu vi um retrato pintado dela e a dita cuja me pareceu uma loura belíssima e dizem também que ela era muito rica.

Zé Roberto: Lá vem outro golpe do baú.

Rumford: É verdade, ela era rica e bonita, mas o casamento durou muito pouco. Eu não suportava aquela megera.

Jonas: O quê? Rica e bonita e o senhor ainda a chamava de megera? Eu acho bom o senhor tomar um pouco de Coca-Cola para se acalmar.

Lula: Mas, essa Coca-Cola está horrível e quente como uma sopa. E por falar nisso, eu preciso voltar a ler as minhas coisas sobre o Lacan, sobre *O Grande Outro...*

João: Essa eu não entendi senhor conde, o senhor também conhecia o Lacan?

Lula: Que senhor conde, João? Você pirou? Eu estou falando que esta Coca-Cola quente está uma droga e que não vou tomar mais nenhum gole. E preciso ler esse livro do Lacan, vocês ainda não entenderam?

Zé Roberto: Puxa, gente, parece que o efeito da Coca-Cola quente passou e o conde desapareceu. Vamos ter de nos conformar é com a presença do Lula novamente.

Lula: Do que vocês estão falando?

Amélia: Deixa para lá, você não vai acreditar! O conde Rumford esteve aqui e

nos deu uma baita de uma entrevista.

Lula: E como é que eu perdi essa oportunidade? E agora, como é que eu vou saber o que ele pensava?

Alexandre: Fique tranqüilo, meu caro. Eu anotei tudo o que aconteceu e estou submetendo a nossa entrevista à publicação. Basta esperar pelo próximo número da nossa *A Física na Escola* para ver se a entrevista vai ser publicada. Se publicarem, nós poderemos tentar entrevistar o Carnot ou o Mayer para saber o resto da história que o conde não contou; ou quem sabe o Joule ou o Kelvin, ou até mesmo o Clausius, o Helmholtz ou o Boltzmann. O certo é que há muita gente interessante com quem se conversar na história da física.

Referências

- [1] J. Bonjorno, R. Bonjorno, V. Bonjorno e C. Ramos, *Temas de Física* (Editora FTD, São Paulo, 1998).
- [2] A. Arons, *Development of Concepts of Physics* (Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1965).
- [3] D. Roller, *The Early Development of Concepts of Temperature and Heat – Rise and Decline of Caloric Theory* (Harvard University Press, Cambridge, 1950).
- [4] G. Holton e S. Brush, *Introducion a Los Conceptos y Teorias de Las Ciencias Fisicas* (Editora Reverè S.A., Barcelona 1976).
- [5] T. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions* (University of Chicago Press, Chicago, 1970).

Para saber mais

- J. Astolfi e M. Develay, *A Didática das Ciências* (Papyrus Editora, São Paulo, 1990).
- S. Brown, *American Journal of Physics* **15**, 273 (1947).
- S. Brown, *Count Rumford: Physicist Extraordinary* (Anchor Books, New York, 1962).
- S. Brown, *Benjamin Thompson, Count Rumford*. (MIT Press, Cambridge, 1981).
- S. Brown, *The Physics Teacher* **14**, 270 (1976).
- S. Brown, (ed) *Collected Works of Count Rumford, Volumes I-V* (Harvard University Press, Cambridge, 1968).
- S. Brown, *American Journal of Physics* **18**, 367 (1950).
- L. Carmo, *Perspectivas Históricas e Experimentais na Determinação do Equivalente Mecânico do Calor*. Dissertação de Mestrado, UFRPE, 2000.
- Len Fischer, *A Ciência no Cotidiano* (Jorge Zahar Editor, São Paulo, 2004).
- Bruno Latour e Steve Woolgar, *Vida de Laboratório – A Produção dos Fatos Científicos* (Editora Relume-Dumara, Rio de Janeiro, 1997).
- Alan Sokal e Jean Bricmont, *Imposturas Intelectuais* (Record, Rio de Janeiro, 1999).



Júri simulado: um uso da história e filosofia da ciência no ensino da óptica

Introdução

Hoje em dia, há um relativo consenso entre professores e pesquisadores em ensino de física, no que diz respeito à importância do uso da história e da filosofia da ciência (HFC) em sala de aula. A literatura especializada converge acerca dos benefícios que o uso dessa abordagem pode trazer para o ensino, em geral, e o de física, em particular [1-5].

Vale destacar, porém, que, historicamente, algumas críticas também foram endereçadas ao uso da HFC em sala de aula [2, 3, 6]. Apesar das críticas, o uso da HFC pode ser considerado um importante instrumento para a melhoria do ensino de ciências. Percebe-se duas grandes correntes de abordagens históricas no ensino de ciências: a primeira entende a HFC como um elemento auxiliar para a compreensão de teorias físicas, enquanto a segunda a enxerga como um elemento constituinte da própria ciência [7].

O que se percebe, entretanto, nas aulas de ciências, não é uma coisa nem outra, mas um enfoque que representa uma espécie de “reconstrução” racionalista do conhecimento científico. Essa visão mais tradicional ignora aspectos relevantes (a relação ciência e sociedade, a visão da ciência como atividade humana, a falibilidade dos cientistas), que deveriam permear as aulas de ciências. Isto

pode acarretar ao aluno uma visão totalmente distorcida do que é o conhecimento científico, além de não garantir sucesso na aprendizagem de teorias físicas.

No campo da didática das ciências, modelos desenvolvidos por cientistas, assim como obstáculos que eles tiveram que

contornar, ao longo da história, são observados em nossas salas de aula. Existe um reconhecido paralelismo entre alguns dos modelos históricos desenvolvidos pelos cientistas e os elaborados pelos alunos em sala. Nesse sentido, autores como Gagliardi [1] apontam que o uso da HFC pode contribuir na identificação e superação de obstáculos epistemológicos à aprendizagem.

Uma pesquisa com professores, licenciandos e alunos de pós-graduação em ensino de física evidenciou o interesse desses sujeitos no que diz respeito ao uso da HFC, como já apontado em outras pesquisas realizadas. Entretanto, verificou-se também que uma das principais preocupações dos participantes residia em “como fazer” atividades fundamentadas pela HFC no nível médio. Um dos conteúdos considerados mais difíceis, quanto ao tratamento histórico-filosófico, foi a óptica [5].

O ensino da óptica no nível médio

Com respeito ao ensino dessa área da física, percebe-se que a forma pela qual ela é, geralmente, trabalhada em sala de aula, tomando como base algoritmos

ópticos para a explicação de fenômenos como a reflexão e a refração, por exemplo, não garante uma aprendizagem de teorias físicas.

Estudantes do nível médio apresentam uma série de dificuldades para interpretar

fenômenos elementares da óptica. Pesa e Cudnami [8] evidenciam três grandes temas problemáticos. São eles:

- A natureza e propagação da luz
- A formação das imagens
- As cores

Geralmente, inicia-se o estudo da

Percebe-se duas grandes correntes de abordagens históricas no ensino de ciências: uma entende a HFC como elemento auxiliar para a compreensão de teorias físicas; outra a enxerga como um elemento constituinte da própria ciência

.....
Boniek Venceslau da Cruz Silva
E.E. Presidente Roosevelt, Natal, RN, Brasil
E-mail: boniekvenc@yahoo.com.br

.....
André Ferrer Pinto Martins
Departamento de Educação,
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil
E-mail: aferrer34@yahoo.com.br
.....

Este trabalho descreve uma estratégia didática realizada no nível médio de ensino e fundamentada na história e na filosofia da ciência, que teve como objetivo tornar mais atrativo e significativo o ensino da física e, em particular, o ensino da óptica: o júri simulado.

óptica com noções básicas sobre a luz e o processo da visão. Para isso, são usados algoritmos para representar os raios luminosos que partem da fonte, refletem no objeto a ser visto e chegam aos nossos olhos. Na prática mais tradicional são ignoradas noções do pensamento grego, os quais na Antiguidade desenvolveram modelos para explicar como se dava a visão. Não se atenta para o paralelismo existente entre modelos desenvolvidos na Antiguidade e aqueles elaborados por certos alunos [8, 9]. Por exemplo, alguns estudantes dispõem de um modelo de visão que concebe a emissão de “raios visuais” pelo olho, concepção de acordo com Pitágoras.

Modelos inadequados podem-se perpetuar em função das próprias práticas escolares, muitas vezes fundamentadas na necessidade de encontrar soluções a problemas-padrão [10]. Em geral, espera-se que os alunos, após o estudo dos conceitos e das leis, possam resolver situações-problema que requerem estes conhecimentos. Contudo, a literatura especializada evidencia que os alunos, mesmo após um estudo de leis e conceitos da óptica, apresentam dificuldades, em muitos casos, de compreensão de conceitos básicos [9, 11, 12].

Esse tipo de ensino, além de não promover uma sólida aprendizagem conceitual, não estimula discussões relevantes sobre o “fazer ciência”, podendo gerar visões distorcidas acerca do que é o pensamento científico [10].

Para Guerra *et al.* [13], pensando e refletindo sobre a ciência, os alunos podem enfrentar futuros questionamentos em relação a temas científicos, mesmo trabalhando em áreas distantes da científica. Uma das soluções é problematizar a ciência e a tecnologia a partir da discussão histórico-filosófica de sua construção.

Também para Vannucchi [3], a inserção da história da ciência pode dar um maior significado ao estudo desse conteúdo, revelando aspectos histórico-sociais importantes para o desenvolvimento dos conceitos.

Outros trabalhos também apresentam propostas orientadas a melhorar o ensino de temas da óptica, em nível médio, baseadas em uma metodologia problematizadora e questionadora, que aponta a HFC como seu eixo norteador [9, 10].

Mas, enfim: como se estrutura a prática do júri simulado? Esta dinâmica possui uma necessidade intrínseca: a da escolha de temas problematizadores que envolvam polêmicas e divergências de opiniões

A inserção da história da ciência pode dar um maior significado ao estudo desse conteúdo, revelando aspectos histórico-sociais importantes para o desenvolvimento dos conceitos

Em nossa prática docente, também desenvolvemos metodologias para a inserção da história da óptica no ensino médio. O objetivo deste trabalho, justamente, é apresentar uma proposta de estratégia didática, fundamentada pela HFC, para ser trabalhada no nível médio. A ideia cen-

tral é apresentar aos alunos as controvérsias históricas acerca da natureza da luz (um tema não muito abordado em livros didáticos de física), bem como, desenvolver neles a capacidade argumentativa e uma melhor compreensão da linguagem científica, em particular, a linguagem da física.

Elaborando e discutindo o júri simulado

Vamos, aqui, relatar uma prática realizada por nós para trabalhar conteúdos da óptica: o “júri simulado”.¹ Ela consiste, basicamente, em uma dinâmica de grupo a ser utilizada, preferencialmente, quando se pretende abordar temas potencialmente geradores de polêmicas. Neste estudo, a prática do júri simulado foi desenvolvida no ensino médio, em uma escola da Rede Pública Estadual. Entretanto, ela pode ser realizada nos mais diversos graus de ensino.

Em particular, as controvérsias geradas em torno da natureza da luz (onda ou partícula?), na história da óptica, tornam a elaboração do júri simulado uma ótima estratégia didática para investigar a pertinência e as contribuições de uma abordagem que priorize as dimensões históricas e filosóficas da ciência. Esta prática, também, pretende ser de fundamental importância na construção de conceitos científicos da óptica (reflexão, refração, difração e interferência) por parte dos alunos, em sala de aula.

Mas, enfim: como se estrutura a prática do júri simulado? Esta dinâmica possui uma necessidade intrínseca: a da escolha de temas problematizadores que envolvam polêmicas e divergências de opiniões.

Antes da realização da atividade propriamente dita, no nosso caso, foram trabalhados textos históricos que tinham por

finalidade dar uma fundamentação teórica aos alunos. Durante todo um bimestre letivo, foram distribuídos e discutidos com os alunos textos contendo discussões referentes ao episódio histórico debatido [trechos selecionados de 14, 15 e 16].²

Para promover uma maior compreensão da leitura, foi solicitado aos alunos que elaborassem um fichamento dos textos e, também, destacassem as suas dúvidas sobre o material utilizado por eles. Por fim, foi solicitado aos alunos que respondessem algumas questões elaboradas pelo professor, posteriormente discutidas em sala de aula.

O júri simulado

A prática simula um tribunal judiciário, onde os participantes têm funções predeterminadas.

Os participantes da prática são divididos em três grupos: dois grupos de debatedores e uma equipe responsável pelo veredicto (o júri popular).

É aconselhável que cada grupo de debatedores possua a mesma quantidade de pessoas. O grupo do júri popular deve conter um número menor de componentes (entre 3 e 6 alunos, de uma sala com 30, por exemplo). O papel do professor é o de coordenar a prática, delimitando o tempo para cada grupo defender sua tese e

atacar a tese defendida pelo grupo oponente.

O processo inicia-se com o lançamento do tema proposto pelo professor. No nosso caso: a luz é onda ou partícula?³

A preparação prévia dos alunos deve propiciar que eles cheguem à atividade em condições de desenvolver argumentos em favor das teses opostas. É preciso, no entanto, dar um tempo inicial para que os alunos socializem suas informações no grupo, antes do início do debate.

A partir daí, cada grupo lança a sua tese inicial, defendendo seu ponto de vista à medida que surjam “réplicas” e “tréplicas”. O professor, como coordenador da atividade, também pode lançar perguntas que motivem o debate, evitando fornecer respostas ou apoiar alguma das posições.

Por fim, cada grupo tem um tempo para suas considerações finais. O júri popular, então, reúne-se para socializar seus apontamentos, feitos ao longo da atividade, e decretar o veredicto. A Tabela 1 sistematiza as etapas do júri simulado, sugerindo a duração (aproximada) de cada uma delas.

Pensando e refletindo sobre a ciência, os alunos podem enfrentar futuros questionamentos em relação a temas científicos, mesmo trabalhando em áreas distantes da científica

Tabela 1 – Etapas do júri simulado.

Etapas	Tempo (aula de 60 min)
Socializar as ideias nos grupos	10 min
Defesa da tese inicial	10 min (5 min para cada grupo)
Debate entre grupos	20 min
Considerações finais	10 min (5 min para cada grupo)
Veredicto	5 min

Há, ainda, outra possibilidade: o professor pode, antes do veredicto, solicitar que os grupos “troquem de tese”, ou seja, passem a defender o que eles anteriormente atacavam (aqueles que defendiam a tese da luz como onda passam a defendê-la como partícula, e vice-versa).

Avaliando o júri simulado

Um primeiro momento de avaliação, antes da própria prática, consistia na preparação de fichamentos e relatórios sobre as leituras desenvolvidas pelos alunos (textos históricos).

Estes relatórios e fichamentos serviam de base para que aflorassem nos alunos controvérsias e indagações em relação ao assunto estudado. Já no que tange ao professor, esta prática servia para uma avaliação não só das próprias teorias físicas desenvolvidas pelos alunos, mas da compreensão do “fazer ciência” apresentada pelos aprendizes em sala de aula.

Abaixo, reproduzimos um pequeno trecho do debate realizado pelos alunos na prática (os sujeitos indicados pela letra “A” defendiam a luz como onda, enquanto os indicados por “B” argumentavam a favor do modelo corpuscular):

A1: - Por que você acha que a propagação da luz acontece através de partículas?

B1: - Achamos que Newton já mostrou, e Einstein a usou para explicar o efeito fotoelétrico... Então por que no efeito fotoelétrico a luz seria uma onda?

A1: - Você não percebeu que quando eu acendo a lanterna, a luz se espalha como uma onda?

A2: - A teoria da luz como partícula é totalmente ultrapassada...

A1: - Como explicar a difração com uma teoria corpuscular?

B1: - A luz como partícula bate na parede e volta.

B2: - Se Einstein ganhou o prêmio Nobel retomando as ideias de Newton, ele é “o cara”, e disse que era partícula. Todo mundo sabe que Newton só falava o que era certo. E ele disse que a luz era partícula.

A3: - A luz como onda pode ser construída e destruída e as partículas não.

B2: - Newton mostrou que com sua inteligência, a luz branca é a união de todas as cores pelos prismas.

A3: - Newton era um louco!

Neste outro trecho, já no desfecho da prática, os alunos chegam a uma importante conclusão que vale destacar:

A1: - Einstein falou que a luz era tanto onda como partícula...

B3: - Eu também acho...

A2: - Então vamos fazer as pazes...

Vemos que o debate permite que surja uma série de ideias e argumentos, tanto referentes aos fenômenos ópticos em si (“A luz como partícula bate na parede e volta”; “A luz como onda pode ser construída e destruída e as partículas não”), quanto referentes a questões que envolvem visões de ciência e dos cientistas (“Todo mundo sabe que Newton só falava o que era certo”; “Newton era um louco!”). Cabe ao professor problematizar essas questões a partir do debate, esclarecendo-as e evitando as distorções muito comuns acerca na “natureza da ciência”.

Implicações ao ensino de física

Na sua essência, a prática apresentada objetiva a realização de reflexões em torno do fazer científico, ao colocar em confronto distintas maneiras de conceber a natureza da luz. Espera-se, assim, que os alunos possam perceber a pluralidade de ideias existentes na formação dos conceitos, descaracterizando a visão de uma ciência “linear” e ideia do “gênio”, muito difundidas nas práticas mais tradicionais.

Ainda nessa direção, o júri simulado poderá dar um maior significado ao estudo da física e, em particular, da óptica, pois os alunos terão a possibilidade de vivenciar as dificuldades encontradas pelos cientistas na formulação e defesa dos modelos, diante de colegas defensores de outro ponto de vista. Neste cenário, a capacidade de *argumentação* por parte dos alunos torna-se fundamental, devido à própria natureza da atividade, em que o trabalho com *hipóteses* e a *explicação* são

habilidades importantes na defesa de cada uma das teses.

Inserir os alunos na linguagem da física, seja por meio da fala ou da escrita, é um dos objetivos das aulas dessa disciplina. Afinal, a física tem uma linguagem peculiar, que lhe fornece identidade própria. A linguagem e a comunicação fazem parte das atividades científicas. Espera-se que, desenvolvendo a argumentação por meio da prática do júri simulado, os alunos (re)construam seus saberes acerca dos conceitos da óptica, mobilizando uma terminologia adequada.⁴

Portanto, o júri simulado, por suas características, pode contribuir para:

- Humanizar o ambiente escolar
- Favorecer o trabalho em grupo e o diálogo entre os estudantes
- Socializar as concepções apresentadas pelos estudantes, identificando semelhanças com visões históricas
- Problematizar questões relativas à natureza da ciência
- Favorecer a argumentação, o trabalho com hipóteses e a comunicação em física
- Aprender conceitos e temas científicos

Conclusões

A inserção da história e da filosofia da ciência no ensino de física, em geral, e no da óptica, em particular, possibilita uma abordagem diferente para as discussões realizadas em sala de aula. Neste trabalho, entretanto, não defendemos a ideia de transformar as aulas de física em aulas de história e filosofia da ciência. O docente deve ter a liberdade e flexibilidade de desenvolver, nas aulas de física, atividades das mais diversas naturezas, além da abordagem de cunho histórico-filosófico.

Para uma aprendizagem mais significativa é necessário que busquemos estratégias de ensino mais dinâmicas e interativas, com as quais o aluno possa reconhecer-se como elemento ativo de sua formação.

Acreditamos que a proposta sugerida aqui unifica esses dois aspectos, sendo adequada e viável para se trabalhar elementos da história da óptica de uma forma diferente e, de certo modo, divertida para os alunos. A estratégia do júri simulado permite que os alunos compartilhem, com os seus pares, conteúdos de física de uma forma ativa, dinâmica e mais humanizada.

Agradecimentos

Agradecemos à direção da escola pela colaboração e, também, aos alunos, pela dedicação e prazer mostrados no decorrer da prática. Agradecemos, ainda, à Letícia Carvalho pela filmagem.

Referências

- [1] R. Gagliardi, *Enseñanza de las Ciencias* **6**, 291 (1988).
- [2] M.R. Matthews, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **12**, 164 (1995).
- [3] A.I. Vannucchi, *História e Filosofia da Ciência: Da Teoria Para a Sala de Aula*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Física/Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1996.
- [4] J.M. Campanario, *Revista de Enseñanza de la Física* **11**, 5 (1998).
- [5] A.F.P. Martins, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **24**, 112 (2007).
- [6] R.A. Martins, in: *Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino*, organizado por C.C. Silva (Livraria da Física, São Paulo, 2006).
- [7] A.M. Barros e A.M.P. Carvalho, *Revista Ciência e Educação* **5**, 83 (1998).
- [8] M.D. Pesa e L.C. Cudmani, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **10**, 128 (1993).
- [9] L.O. García J.M. Torregrosa, J.C. Alís y R.V. Carbonell, *Enseñanza de las Ciencias* **25**, 277 (2007).
- [10] L.M. Iparraguirre, *Enseñanza de las Ciencias* **25**, 423 (2007).
- [11] F.M. Goldberg and L.C. Mcdermot, *The Physics Teacher* **1**, 472 (1986).
- [12] J.P. Gircoreano e J.L.A. Pacca, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **18**, 26 (2001).
- [13] A. Guerra, J.C. Reis e M. Braga, *Física Na Escola* **3**, 8 (2002).
- [14] A. Einstein e L. Infeld, *A Evolução da Física* (Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro, 2008).
- [15] A. Guerra, J.C. Reis e M. Braga, *Breve História da Ciência Moderna: Das Máquinas do Mundo ao Universo-Máquina* (Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro, 2004).
- [16] J.F.M. Rocha, in: *Origens e Evolução das Ideias da Física*, organizado por J.F.M. Rocha (EDUFBA, Salvador, 2002).

Notas

¹A prática do júri simulado foi adaptada a partir de experiências de outras atividades vivenciadas pelo 1º autor desse trabalho em sua trajetória como estudante.

²Nas próximas oportunidades, serão trabalhados textos produzidos por nós, a partir dessas e de outras leituras no campo da história da óptica.

³Vale salientar que a luz, de acordo com o conhecimento científico atual, apresenta comportamento dual. Não é finalidade dessa prática dar respostas “limpas” e definitivas, mas, sim, desenvolver nos alunos a capacidade de argumentação.

⁴As palavras transmitem idéias. Pensar a luz como partícula (corpúsculo) pode transmitir ao aluno uma ideia de “bolinha muito pequena”, o que difere do modelo aceito. Ou, então, imaginar a luz como onda pode levar o aluno a pensar que as ideias desenvolvidas por Huygens, Hooke e Descartes eram dotadas de características ondulatórias, como período e comprimento de onda, o que não ocorreu. A inserção da HFC pode aproximar o aluno da ideia original e, também, das dificuldades enfrentadas pelos cientistas ao longo da história.

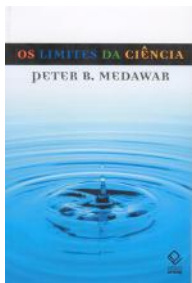


Os Limites da Ciência

Peter B. Medawar

Tradução: Antonio Carlos Bandouk

Editora Unesp, São Paulo, 2008, 111 p.



“Este é um livro sério escrito de forma bem concisa. Decidi fazê-lo assim por duas simples razões: em primeiro lugar, sempre fui da opinião de que quase todos os livros, sobretudo os relacionados à filosofia, são demasiadamente extensos [...] Outro incentivo à brevidade foi a descoberta recente de que algumas obras filosóficas mais excitantes e reveladoras eram, por coincidência, as mais breves.”

Peter Medawar, famoso biólogo inglês, nascido em Petrópolis no início do século, laureado com o Prêmio Nobel de Medicina em 1960, debate em três ensaios algumas questões profundas sobre a filosofia da ciência. No primeiro “Um ensaio sobre *sciens*”, Medawar discute, num estilo aforístico, o significado de ciência e sua relação com cultura, política, instituições

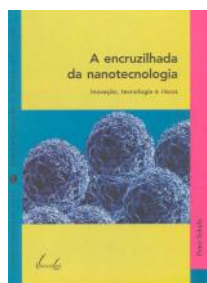
e o papel de cientistas e suas relações com a sociedade. No curto “A descoberta científica pode ser premeditada?”, o prolapado “método científico” é impiedosamente execrado. No principal ensaio que dá título ao livro, Medawar discute a incapacidade da ciência de responder a algumas questões essenciais e desafiadoras para a humanidade. Essa autolimitação da ciência não a impede de que seja “o mais bem sucedido [empreendimento] no qual o ser humano já se engajou.”

Pela concisão e estilo do autor, o leitor desfrutará de uma leitura prazerosa, esclarecedora e indispensável sobre questões da natureza da ciência que permeiam a mente de cientistas, professores e interessados.

A Encruzilhada da Nanotecnologia: Inovação, Tecnologia e Riscos

Peter Schulz

Vieira & Lent, Rio de Janeiro, 2009, 125 p.



Em artigo de *A Física na Escola* [v. 6, n. 1, p. 58 (2005)], Peter Schulz, professor de física da Unicamp, ensinou-nos o que são e para que servem a nanociência e a nanotecnologia. Constituem campos de pesquisa na fronteira do conhecimento

humano com marcantes características interdisciplinares e já com profundo impacto na economia dos países desenvolvidos.

Agora, em livro recente, Schulz retoma o tema de forma mais abrangente, discutindo o caráter de inovação em nanociência, seus aspectos éticos e presumíveis riscos ao ser humano e ao meio ambiente, e contribuindo para o engajamento público em ciência e tecnologia. O livro foi escrito para um público não especialista e parte de exemplos próximos ao cotidiano. Para introduzir a discussão sobre inovação, o autor parte da história do telefone. Riscos em avanços tecnológicos? Uma história do século XIX sobre a segurança em viagens em navios a vapor. Após essa introdução à inovação, tecnologia e riscos, o livro parte para a nanotecnologia em si, atividade notadamente multidisciplinar e com várias vertentes. Peter Schulz escolhe a mais antiga e com larga participação no mercado: as nanopartículas. A discussão em torno das nanopartículas tenta mostrar ciência e tecnologia como partes de um âmbito maior: a sociedade.

O livro tenta mostrar como a percepção pública pode inclusive determinar o sucesso ou o fracasso de uma tecnologia e que, portanto, o engajamento público nessa discussão é mais que desejável, é imprescindível.



Introdução - A importância da história da ciência no aprendizado de física

É notório verificar que a história da ciência vem ganhando espaço nas últimas décadas nos livros-texto de todos os níveis. Porém, qual será o motivo dessa tendência? Em relação aos outros países, existe a preocupação de introduzir a história da ciência nos seus currículos? Quais as relações entre a história da ciência e as diretrizes educacionais em nosso país? O que os pesquisadores em educação falam sobre a história da ciência e o ensino? Enfim, quais são as vantagens e desvantagens de inserção da história da ciência no processo de ensino-aprendizagem de ciência?

Nas últimas décadas, houve iniciativas significativas de aproximação entre a história da ciência e o ensino das ciências. De acordo com Michael Matthews, essa é uma tendência bastante oportuna, devido “à crise do ensino contemporâneo de ciências, evidenciada pela evasão de alunos e de professores das salas de aula bem como pelos índices assustadoramente elevados de analfabetismo em ciências” (Matthews, 1995). Esse distanciamento da ciência é corroborado com dados oficiais norte-americanos, nos seus programas de formação de professores:

A Fundação Nacional Americana de Ciências denunciou que os programas dos cursos de graduação em Ciências, Matemática e Tecnologia existentes no país tiveram seu escopo e qualidade reduzidos a tal ponto que não mais correspondem às necessidades nacionais;

provocando, portanto, a corrosão de uma riqueza americana sem igual. [1, p. 556]

No intuito de resolver tal crise, alguns países como a Inglaterra e os Estados Unidos implementaram novos programas educacionais, tais como, o novo Currículo Nacional Britânico de Ciências e o projeto 2061 (da Associação Americana para o Progresso da Ciência - AAAS), respectivamente.

Nas últimas décadas, houve iniciativas significativas de aproximação entre a história da ciência e o ensino das ciências. Essa tendência é bastante oportuna devido à crise do ensino contemporâneo de ciências, evidenciada pela evasão de alunos e de professores das salas de aula bem como pelos índices assustadoramente elevados de analfabetismo em ciências

Embora de naturezas distintas, os dois projetos, entre outras determinações, englobaram propostas que visam ao engajamento da história, da filosofia e da sociologia (HFS) ao ensino de ciências nos cursos de ensino fundamental e médio. Porém, essas recomendações não se tratam de uma mera inclusão da HFS, como sendo mais um item do programa do estudo das ciências, mas trata-se de uma incorporação mais rica e abrangente das questões históricas, filosóficas e sociológicas que permearam a construção da ciência. Para Matthews, essa iniciativa é bastante frutífera, pois:

A história, a filosofia e a sociologia da ciência não têm todas as respostas para essa crise, porém possuem algumas delas: podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral da matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do “mar de falta de significação” que se diz ter inundado as salas de aula de

.....
João Ricardo Quintal

Colégio Pedro II e CEFET,

Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mail: joaoricardoquintal@yahoo.com.br

.....
Andréia Guerra

CEFET, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mail: amoraes@cefet-rj.br

.....

O artigo descreve uma pesquisa sobre a relevância da implementação da história da ciência, como agente influenciador no processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos do eletromagnetismo no ensino médio. Um curso, de caráter histórico-filosófico-sociológico, utilizou a história da ciência como eixo condutor e apresentou a evolução do pensamento científico no estudo do eletromagnetismo, desde as principais descobertas sobre os fenômenos elétricos e magnéticos da Antiguidade Clássica até o conceito de campo criado por Maxwell em meados do século XIX. A sua elaboração foi norteada pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's) de física para o ensino médio e apresentou a história da ciência de forma contextualizada, através de uma metodologia elaborada, mesclando experimentos com a teoria. Nesse sentido, o eletromagnetismo foi discutido a partir da construção, pelos alunos, de experimentos históricos como o *versorium* de Gilbert, a garrafa de Leyden, a pilha de Volta, os experimentos de Oersted, de Ampère e os de indução de Faraday. O objetivo desse trabalho foi o de levantar questões a respeito do desenvolvimento do eletromagnetismo e motivar os alunos acerca das questões científicas abordadas em sala de aula. Ao longo do projeto, os resultados da pesquisa sobre a inserção da história da ciência são relatados e avaliados através de uma abordagem qualitativa e quantitativa, avaliando o seu impacto sobre os alunos.

ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, dar uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas. [2]

Ao relacionar essa situação de reformulação da educação, em alguns países desenvolvidos e no Brasil, é possível verificar que ela trouxe consequências também ao nosso sistema educacional, pois essa crise que levou os Estados Unidos e vários outros países da Europa a

reformularem suas diretrizes educacionais na década de 80, também obrigou os países subdesenvolvidos a rever seus conceitos educacionais, sendo este um dos fatores condicionantes para o envio de verbas pelo Banco Mundial. Dentro deste contexto, o Brasil formulou os Parâmetros Curriculares Nacionais, onde foram estabelecidas algumas regras a serem seguidas, tais como: ênfase na interdisciplinaridade, ligação com o cotidiano, desenvolvimento de competências (como, por exemplo, a compreensão de textos, gráficos, tabelas) e o aprendizado de conteúdos importantes para o exercício da cidadania e para o trabalho.

Em relação à “reformulação” da educação brasileira, também existiu a preocupação de aproximar a história da ciência e o ensino de ciências. Os Parâmetros Curriculares Nacionais enfatizam em suas diretrizes o uso da história da ciência, para que o ensino de física:

[...] na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. [3, p. 229]

Porém, será que tal intento é alcançado? De acordo com Roberto de Andrade Martins, pode-se destacar os seguintes aspectos do material de história da ciência produzido no Brasil:

A história das ciências nos apresenta uma visão a respeito da natureza da pesquisa e do desenvolvimento científico que não costumamos encontrar

no estudo didático dos resultados científicos (conforme apresentados nos livros-texto de todos os níveis). Os livros didáticos enfatizam os resultados aos quais a ciência chegou – as teorias e conceitos que aceitamos, as técnicas de análise que utilizamos – mas não costumam apresentar alguns outros aspectos da ciência. De que modo as teorias e os conceitos se desenvolvem? Como os cientistas trabalham? Quais

as ideias que não aceitamos hoje em dia e que eram aceitas no passado? Quais as relações entre ciência, filosofia e religião? Qual a relação entre o desenvolvimento do pensamento científico e outros desen-

volvimentos históricos que ocorreram na mesma época? [4]

Embora de maneira lenta e às vezes superficial, é possível detectar uma pequena tendência de inclusão da história da ciência nos diversos materiais didáticos em nosso país, o que na opinião de Martins, é algo positivo, pois: “a história da ciência não pode substituir o ensino comum das ciências, mas pode complementá-lo de várias formas. O estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que a ciência não é uma coisa isolada de todas as outras, mas, sim faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano, sofrendo e influenciando por sua vez muitos aspectos da sociedade”. Essa humanização quebra o paradigma de que “a ciência é algo atemporal, que surge de forma mágica e que está à parte de outras atividades humanas” [4].

A utilização da história da ciência no ensino e a psicologia da aprendizagem também possui uma estreita relação. A primeira pode, não só, auxiliar no aprendizado dos conteúdos científicos, como também no próprio processo de desenvolvimento cognitivo individual do educando. De acordo com Martins [4], nos últimos quarenta anos, os educadores tornaram-se mais conscientes dos estágios de cognição presentes na formação do indivíduo. Para ele, essa

conscientização se deveu principalmente aos trabalhos de Jean Piaget, aos quais Martins resume da seguinte maneira:

Os educandos não são uma “tábua rasa” [5]. Trazem consigo certas estruturas operatórias mais ou menos desenvolvidas, de acordo com seu estágio cognitivo; e também trazem certas concepções que, em geral, conflitam e resistem à sua substituição pelas concepções da ciência atual. Essas concepções prévias (anteriores ao ensino científico sistemático) não podem ser apagadas ou ignoradas. Se elas não forem reconhecidas e gradativamente transformadas nas outras, podem continuar a existir, paralelamente às concepções científicas impostas pelo professor, interferindo constantemente com sua efetiva compreensão, aceitação e aplicação [4].

Tanto para Matthews quanto para Martins, a história da ciência pode auxiliar no processo da mudança conceitual dos alunos. Matthews argumenta sua posição através da epistemologia genética de Piaget [6], destacando o seguinte trecho do citado livro: “A hipótese fundamental da epistemologia genética é de que existe um paralelismo entre o progresso alcançado na organização lógica e racional (história da ciência) e os processos psicológicos formativos correspondentes” (p. 13). Enquanto Martins defende que “o processo pelo qual o aluno precisa passar é semelhante ao processo de desenvolvimento histórico da própria ciência” [7]. E destaca que estudando apropriadamente alguns exemplos históricos, o estudante “pode perceber que, na história, sempre houve discussões e alternativas, que algumas pessoas já tive-

ram ideias semelhantes às que ele próprio tem, mas que essas ideias foram substituídas por outras mais adequadas e mais coerentes com um conjunto de outros conhecimentos” [7].

Embora muitos pesquisadores em educação exponham suas justificativas a

favor da inserção da história da ciência no processo de ensino-aprendizagem, outros não aprovam a sua implementação como estratégia de ensino. De acordo com Matthews [2], em 1970, o MIT realizou um simpósio, sobre a questão da utilidade da história da ciência para o seu ensino, nele a HC foi exposta a um duplo ataque: “de um lado, dizia-se que a única história

“A história da ciência não pode substituir o ensino comum das ciências, mas pode complementá-lo de várias formas. O estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade...”

Os livros científicos didáticos enfatizam os resultados aos quais a ciência chegou, mas não costumam apresentar alguns outros aspectos da ciência, como de que modo as teorias e os conceitos se desenvolvem? Como os cientistas trabalham? Quais as idéias que não aceitamos hoje em dia e que eram aceitas no passado?, e muitas outras questões

possível nos cursos de ciência era a pseudo-história; de outro lado, afirmava-se que a exposição à história da ciência enfraquecia as convicções científicas necessárias à conclusão bem sucedida da aprendizagem da ciência” [2].

No âmbito nacional, mesmo os que defendem a implementação da história da ciência nas salas de aula, como recomenda os PCN's de física, veem dificuldades em sua plena efetivação no ensino brasileiro, pois conforme Martins, existem algumas barreiras a serem enfrentadas: “(1) carência de um número suficiente de professores com a formação adequada para pesquisar e ensinar de forma correta a história da ciência; (2) a falta de material didático adequado (textos sobre história da ciência) que possa ser utilizado no ensino; e (3) equívocos a respeito da própria natureza da história da ciência e seu uso na educação” [8].

Na crença de que a inclusão da história e a filosofia da ciência é um fator de melhora significativa, no processo de ensino-aprendizagem, um dos autores (JRQ) elaborou o projeto “Física na História” que fez parte integrante de uma dissertação de mestrado, na qual foram relatados e avaliados os resultados de uma pesquisa em ensino, sobre a relevância da inserção da história da ciência, como agente influenciador no processo ensino-aprendizagem dos conteúdos do eletromagnetismo no ensino médio.

Como produto, o curso gerou a produção de um material didático, no qual a história e a filosofia da ciência foram apresentadas de maneira não alegórica, onde se fez presente a contextualização do processo de construção da produção científica, e a exposição das inquietações, interesses e métodos utilizados na interpretação da natureza. Além da produção desse material, o projeto também estabeleceu uma proposta curricular em sala de aula que trouxe subsídios para que uma metodologia, com enfoque histórico-filosófico, seja trabalhada na escola.

Metodologia do curso histórico-filosófico

A proposta metodológica desenvolvida para o curso histórico-filosófico, visou a despertar nos alunos um maior interesse pela ciência, assim como, estabelecer uma aprendizagem significativa dos conteúdos do eletromagnetismo. O projeto foi elaborado de acordo com as recomendações dos Parâmetros Curriculares

Nacionais para o Ensino Médio. Foi aplicado em 90 alunos da terceira série do ensino médio, pertencentes à Rede Pública Federal.

O curso foi composto de várias partes: aulas expositivas sobre os conteúdos da eletricidade, do magnetismo e do eletromagnetismo, demonstração de experiências históricas confeccionadas pelo professor, realização de experiências históricas executadas pelos alunos, debate histórico com a turma e exercícios. Os exercícios foram elaborados abordando questões de

vestibular, questões históricas e outras a respeito das conclusões das experiências realizadas em sala de aula.

No que se refere à confecção do material elaborado para os alu-

nos, a estratégia adotada pelo professor foi a construção de um texto histórico que apresentou a evolução do pensamento científico no estudo do eletromagnetismo, desde as principais descobertas sobre os fenômenos elétricos e magnéticos da Antiguidade Clássica até o conceito de campo criado por Maxwell em meados do século XIX. O texto serviu como um suporte eficaz para a preparação das aulas, sendo que ele foi construído de forma diferente da encontrada nos mais diversos livros didáticos, onde usualmente apenas são destacados os resultados científicos, sem uma conexão com o contexto histórico-social da época das descobertas. Os conteúdos do eletromagnetismo foram trabalhados de forma contextualizada, no sentido de levantar questões internas e

“Física na História” é parte integrante de uma dissertação onde foram relatados e avaliados os resultados de uma pesquisa em ensino sobre a relevância da inserção da história da ciência como agente influenciador no processo ensino-aprendizagem dos conteúdos do eletromagnetismo no ensino médio

externas ao processo da produção científica. Estas levaram ao ambiente dos alunos as inquietações filosóficas que permearam as investigações científicas sobre a natureza, num espaço e tempo específicos da história. As discussões acerca do tema foram conduzidas focando o processo evolutivo de descoberta das principais teorias eletromagnéticas [9, p. 147-148].

Para o encaminhamento e avaliação do curso de eletromagnetismo, foi aplicado na primeira aula, um questionário abordando temas que iriam ser trabalhados ao longo do período letivo. A elaboração do questionário pretendeu levantar o conhecimento prévio dos alunos a respeito

do magnetismo, da eletricidade, e do eletromagnetismo. Esse pré-teste verificou se os alunos conheciam algumas propriedades dos ímãs, as aplicações tecnológicas do eletromagnetismo em aparelhos do cotidiano, o nome de alguns dos cientistas envolvidos no desenvolvimento do eletromagnetismo e o processo de geração da energia elétrica.

Após a aplicação dessa primeira avaliação, o curso de eletromagnetismo teve seu início. As primeiras aulas expositivas tiveram como objetivo apresentar as principais descobertas sobre a eletrização e as propriedades dos ímãs, pesquisadas desde a Antiguidade Clássica até o início do século XVII. Nas aulas subsequentes, foram elaboradas atividades histórico-experimentais e textos histórico-filosóficos sobre os caminhos trilhados pelos diversos filósofos naturais e cientistas, onde foi analisado o processo histórico pelo qual culminou o surgimento do eletromagnetismo.

Estrutura do curso

I - Aplicação de um pré-teste.

I.1 - Introdução ao tema. *Comentários:* estudo dos fenômenos elétricos e magnéticos da Antiguidade Clássica até o início do século XVII.

I.2 - Gilbert e o *versorium*. *Comentários:* estudo da importância de Gilbert na sistematização das propriedades dos fenômenos elétricos e magnéticos, descritos no livro *De Magnete*. Análise do *versorium* e a *terella*.

I.3 - Eletroscópio x *versorium*. *Comentários:* construção, pelos alunos, através de um roteiro, de um pêndulo elétrico que serviu como artefato para pesquisar as

propriedades elétricas e magnéticas apresentadas por alguns materiais.

I.4 - Eletrização e carga elétrica. *Comentários:* estudo da conservação da carga elétrica, das pesquisas de Benjamin Franklin e os processos de eletrização por atrito, contato e indução.

I.5 - Otto Von Guericke, máquinas eletrostáticas e a garrafa de Leyden. *Comentários:* estudo da máquina eletrostática de Guericke e da garrafa de Leyden. Tendo sido apresentado pelo professor, os dois artefatos experimentais.

I.6 - Exercícios de vestibular sobre eletrização por atrito, contato e indução.

II - Contexto histórico-cultural da Europa na época de Coulomb (em colabo-

ração com professor de história) e a apresentação da lei de Coulomb. *Comentários*: estudo da balança de torção, e a formulação de lei de Coulomb. Lei de Coulomb x lei da gravitação universal de Newton.

II.1 - Exercícios de vestibular sobre a lei de Coulomb, mesclando com a lei da gravitação universal, e os processos de eletrização por atrito, contato e indução.

III - Discussão histórico-cultural sobre Galvani e seus trabalhos. *Comentários*: estudo das experiências de Galvani sobre eletricidade animal. Análise da obra literária *Frankenstein*.

III.1 - Resposta dos mecanicistas ao trabalho de Galvani: Alessandro Volta.

III.2 - A pilha de Volta. *Comentários*: estudo do desenvolvimento do primeiro artefato capaz de produzir corrente contínua.

III.3 - Pilha elétrica, ddp, corrente elétrica. *Comentários*: estudo da corrente elétrica.

III.4 - Energia e potência da corrente elétrica.

III.5 - Exercícios de vestibular sobre corrente elétrica, gráficos $i \times t$, funcionamento das pilhas elétricas, energia e potência da corrente elétrica.

IV - A experiência de Oersted. *Comentários*: execução, pelos alunos, através de um roteiro, da experiência de Oersted.

IV.1 - Contexto histórico-cultural de Oersted. A experiência da agulha imanada como algo não casual.

IV.2 - O impacto no meio científico do experimento e sua interpretação. A reação dos mecanicistas: formulação da lei de Biot-Savart.

IV.3 - Discussão de questões, interdisciplinares, apresentadas no roteiro experimental sobre a experiência de Oersted. Realização de exercícios de vestibular sobre a determinação do vetor indução magnética em espiras e bobinas.

V - A experiência de Ampère. *Comentários*: a apresentação da experiência de Ampère, relacionando-a como uma iniciativa de continuação do estudo dos resultados de Oersted.

V.1 - Contexto histórico-cultural da França e na Europa na ocasião das descobertas de Ampère. A apresentação da lei de Ampère.

V.2 - Força magnética entre condutores paralelos e a definição, no sistema internacional, da unidade Ampère (A).

V.3 - Exercícios de vestibular sobre a

determinação do vetor indução magnética em um fio condutor reto. E sobre a força magnética entre dois fios retos.

VI - A experiência da lei da indução eletromagnética de Faraday. *Comentários*: a apresentação de um experimento, confeccionado pelo professor, que demonstrou o fenômeno de indução eletromagnética.

VI.1 - O contexto histórico-cultural de Faraday e as leis da indução e o conceito de linhas de força.

VI.2 - Repercussão (principalmente nas indústrias) das leis da indução (dínamo/motor elétrico).

VI.3 - Lei de Lenz.

VI.4 - Exercícios de vestibular sobre a lei da indução eletromagnética de Faraday e da lei de Lenz, para determinação do sentido da corrente induzida.

VII - O contexto histórico-cultural de Maxwell. O conceito de campo. Sistematização das teorias de campo elétrico e magnético.

VII.1 - Exercícios de vestibular sobre campo elétrico e magnético e linhas de força. *Comentários*: a apresentação no formato histórico-filosófico é encerrada nessa seção.

VIII - Lei de Ohm, lei de Joule, e circuitos elétricos. *Comentários*: a partir desse tópico, as aulas foram ministradas de forma tradicional.

IX - Geradores e Receptores elétricos.

X - Projeto de final de Curso. *Comentários*: No intuito de revisar de forma significativa os principais conceitos apresentados durante o curso, o professor elaborou um projeto de final de curso, com vários trabalhos histórico-experimentais para que os alunos, em grupos desenvolvessem em casa e apresentassem o resultado de suas pesquisas à turma.

Os projetos finais constaram da resolução de questões contidas no suplemento de trabalho do livro *Faraday e Maxwell - Eletromagnetismo da Indução aos Dínamos* [10] e da construção de diversos aparatos experimentais. Os alunos tiveram como suporte didático para a construção dos experimentos, os roteiros apresentados no referido paradidático e em pesquisas na Internet. Após as apresentações, o curso histórico-filosófico foi

Na implementação inicial do curso, um pequeno grupo, formado principalmente pelos alunos mais ligados à área de exatas, ficou desmotivado. E um outro maior, formado por alunos ligados às áreas de humanas, biomédicas e alguns de exatas, se apresentaram motivados com as aulas!

No início do curso, os alunos se chocaram com a metodologia adotada, pois nas duas outras séries do ensino médio haviam estudado física, baseando-se exclusivamente em fórmulas e teorias acabadas e inquestionáveis

encerrado e teve o início da semana de provas e o pré-teste foi replicado junto com a 3ª certificação de física.

Avaliação do curso histórico-filosófico

A avaliação do curso histórico-filosófico de eletromagnetismo foi composta de análises qualitativas e quantitativas. A primeira foi baseada na metodologia de observação [11]. Construiu-se, então, um diário com anotações do professor após cada uma das aulas realizadas, contendo comentários sobre o andamento do curso e a atitude dos alunos durante a aplicação do projeto "Física na História". E a pesquisa quantitativa foi realizada através de um tratamento estático dos acertos de questões contidas no pré-teste, ao qual foi aplicado antes e depois do curso.

No início do curso, os alunos se chocaram com a metodologia adotada, pois nas duas outras séries do ensino médio haviam estudado física, baseando-se exclusivamente em fórmulas e teorias acabadas e inquestionáveis. Por isso, inicialmente essa diferença bloqueou parte deles, pois sempre estiveram acostumados a ver a física como "algo" produzido por seres privilegiados, que num momento de inspiração ou por alguma necessidade técnica (desconhecida pelos educandos), criaram as mais diversas equações. Equações estas que devem ser decoradas e aplicadas em exercícios de fixação. Até aquele momento, esse era o principal processo de aprendizagem conhecido pelos alunos.

Na implementação inicial do curso houve, portanto, duas vertentes em sala de aula: um pequeno grupo, formado principalmente pelos alunos mais ligados

à área de exatas, que ficaram desmotivados. E um outro maior, formado por alunos ligados às áreas de humanas, biomédicas e alguns de exatas, que se apresentaram motivados com as aulas. Portan-

to, se uma parte dos alunos se mostrou relutante em aderir à introdução da história da ciência no curso de eletromagnetismo, a outra parte, que em sua maioria era formada por alunos que iriam prestar vestibular para a área de humanas, foi cativada logo de início e se tornou mais participativa durante as aulas, o que proporcionou uma pequena diminuição nas conversas paralelas na turma durante as aulas.

A dualidade gerada entre as opiniões dos alunos, comentada anteriormente,

continuou durante as primeiras aulas, porém quando o curso passou para a etapa da realização da parte histórico-experimental, a situação mudou e uma quase totalidade dos estudantes se mostrou interessada nas atividades. Nesta fase, eles ficaram entusiasmados e motivados em descobrir na prática as aplicações e utilidades para as diversas teorias da eletricidade, do magnetismo e do eletromagnetismo. Cabe destacar que a construção, realizada pelos alunos, das primeiras experiências históricas concernentes ao conteúdo da matéria, causaram-lhe um certo sentimento de descoberta da ciência por eles próprios, o que abalou a crença da maioria sobre a intangibilidade da física.

Embora não se possa afirmar que esse sentimento tenha propiciado uma motivação extra aos estudos, possivelmente ele gerou uma quebra dos paradigmas dos processos de construção da ciência, pois alguns alunos se mostraram admirados com o fato de serem capazes de remontar experimentos similares aos executados pelos grandes "gênios" da eletricidade, o que de alguma forma, modificou a atitude dos educandos, tornando-os mais integrados no processo de aprendizagem da disciplina.

É importante destacar que os alunos que, inicialmente, rejeitaram a metodologia do curso, mudaram de atitude no decorrer das aulas. Isso ocorreu, principalmente, quando verificaram que a parte histórica servia de arcabouço para dar um maior significado a determinadas teorias. E que, dessa forma, eles poderiam assimilar e interpretar de forma mais significativa os conteúdos e aplicá-los em exercícios de vestibular com maior clareza dos significados físicos. Essa mudança de atitude pode ser bem ilustrada com o fato de que dois alunos, pertencentes ao grupo de alunos inicialmente desmotivados, acabaram por optar pelo curso de física no vestibular da UFRJ.

No que se refere à avaliação quantitativa, a aprendizagem dos conteúdos foi aferida, não só pelo pré-teste, como também por quatro provas formais, três certificações, com o conteúdo trimestral e uma prova final, com o conteúdo de todo o período letivo. Todas as avaliações formais

tiveram um modelo de prova única para todas as turmas da 3ª série, pertencentes ao mesmo turno.

Conclusão

O projeto "Física na História" proporcionou uma oportunidade de reflexão a respeito das vantagens e desvantagens da inserção da história da ciência no ensino.

A abordagem histórica pode gerar certa resistência em alguns alunos, como ocorreu inicialmente com o referido projeto. Isto porque um trabalho com esse enfoque, por não apresentar verdades prontas e acabadas, impõe ao aluno um pensar constante sobre o que está sendo discutido, contrastando com o ensino tradicional pautado em memorização e apreensão de algoritmos para resolver problemas pré-determinados. Essa resistência é notada, entretanto, muitas vezes em que uma nova metodologia é implantada em sala de aula.

Apesar da dificuldade apontada, o trabalho histórico pode ser um elemento importante para uma prática pedagógica que pretenda trazer a ciência para o contexto sócio-cultural do aluno. A história da ciência, quando não factual, apresenta os cientistas de forma contextualizada, inserindo-os no tempo e espaço em que viveram. Dessa forma, explicita-se a relação da produção científica com as outras áreas do conhecimento, e também a maneira como a ciência dialoga com a sociedade em que está sendo construída. Os relatos bibliográficos, as discussões em torno do contexto sócio-cultural da produção científica enfocada e as controvérsias científicas proporcionam em sala de aula debates capazes de humanizar a ciência.

A avaliação do projeto "Física na História" mostrou que muito do sucesso do trabalho de sala de aula foi devido à reprodução dos experimentos históricos. As experiências possibilitaram aos alunos concretizarem muitas das questões apresentadas no curso e problematizar suas concepções prévias a respeito do tema, destacadas no questionário inicialmente aplicado. Dessa forma, defende-se que a união da história da ciência com experimentos históricos é um elemento a ser

Os alunos que, inicialmente, rejeitaram a metodologia do curso, mudaram de atitude no decorrer das aulas. Isso ocorreu, principalmente, quando verificaram que a parte histórica servia de arcabouço para dar um maior significado a determinadas teorias

A produção e aplicação do projeto destacou que a inserção da história da ciência em sala de aula não é algo simples. Uma prática pedagógica com essa abordagem exige do professor conhecimento de história geral, de física, de filosofia, de sociologia e também de história da ciência e da tecnologia

explorado pelos professores que desejam um ensino de física que não se restrinja à resolução de problemas matemáticos totalmente desvinculados da realidade dos alunos.

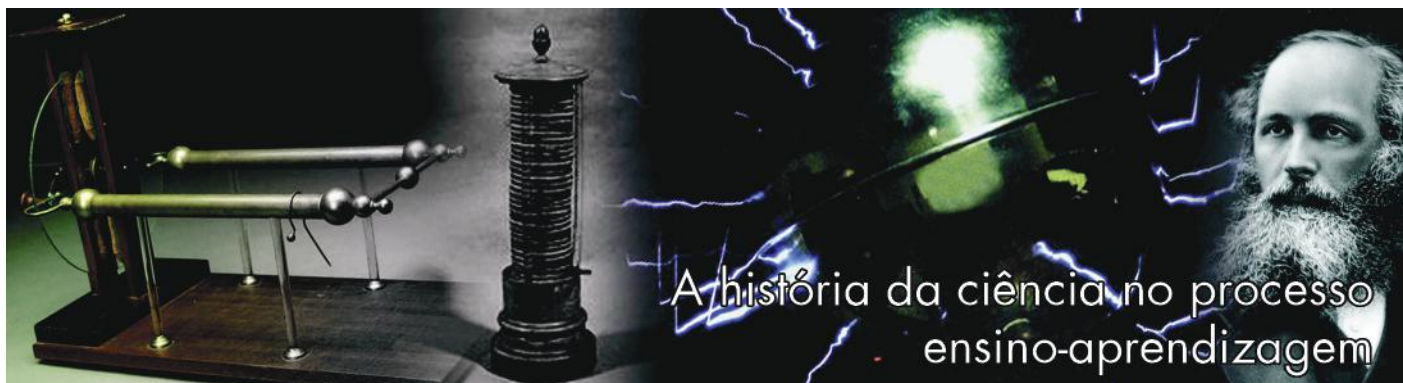
A produção e aplicação do projeto destacou que a inserção da história da ciência em sala de aula não é algo simples. Uma prática pedagógica com essa abordagem exige do professor conhecimento de história geral, de física, de filosofia, de sociologia e também de história da ciência e da tecnologia. Dessa forma, requer-se uma formação mais abrangente daquela normalmente fornecida durante a licenciatura. Nesse sentido, é importante que ao se considerar a abordagem histórica uma possibilidade real de tornar o ensino mais significativo, criem-se condições para que um maior número de professores tenha conhecimento capaz de construir práticas educacionais dentro dessa perspectiva.

Referências

- [1] J.L. Heilbron, *Applied History of Science* **78**, 556 (1987).
- [2] M.R. Matthews, *Caderno Catarinense Ensino de Física* **12**, 164 (1995).
- [3] Ministério da Educação, *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio - Ciência da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. (MEC/SEMTEC, Brasília, 1999).
- [4] R.A. Martins, in: *Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino*, organizado por C.C. Silva (Livraria da Física, São Paulo, 2006).
- [5] J. Piaget and R. Garcia, *Psychogenesis and History* (Columbia University Press, Nova York, 1989).
- [6] J. Piaget, *Genetic Epistemology* (Columbia University Press, London, 1970).
- [7] M.A. Barros e A.M.P. Carvalho, *Ciência & Educação* **5**, 83 (1998).
- [8] H. Siegel, *Science Education* **63**, 111 (1979).
- [9] A.G. Moraes, *Contextualizando o Fazer: Subsídios para uma Educação Científica com Enfoque Histórico-Filosófico*. Tese de Doutorado, COPPE, Rio de Janeiro, 2002.
- [10] A. Guerra, M. Braga e J.C. Reis, *Faraday e Maxwell, Eletromagnetismo: Da Indução aos Dínamos* (São Paulo, Atual, 2004).
- [11] H.M. Vianna, *Pesquisa em Educação - A Observação* (Liber Livro, Brasília, 2007).

Nota

O trabalho é parte integrante de uma dissertação de mestrado profissionalizante em ensino de Ciências e Matemática, no CEFET-RJ, concluída em julho de 2008.



Introdução - A importância da história da ciência no aprendizado de física

É notório verificar que a história da ciência vem ganhando espaço nas últimas décadas nos livros-texto de todos os níveis. Porém, qual será o motivo dessa tendência? Em relação aos outros países, existe a preocupação de introduzir a história da ciência nos seus currículos? Quais as relações entre a história da ciência e as diretrizes educacionais em nosso país? O que os pesquisadores em educação falam sobre a história da ciência e o ensino? Enfim, quais são as vantagens e desvantagens de inserção da história da ciência no processo de ensino-aprendizagem de ciência?

Nas últimas décadas, houve iniciativas significativas de aproximação entre a história da ciência e o ensino das ciências. De acordo com Michael Matthews, essa é uma tendência bastante oportuna, devido “à crise do ensino contemporâneo de ciências, evidenciada pela evasão de alunos e de professores das salas de aula bem como pelos índices assustadoramente elevados de analfabetismo em ciências” (Matthews, 1995). Esse distanciamento da ciência é corroborado com dados oficiais norte-americanos, nos seus programas de formação de professores:

A Fundação Nacional Americana de Ciências denunciou que os programas dos cursos de graduação em Ciências, Matemática e Tecnologia existentes no país tiveram seu escopo e qualidade reduzidos a tal ponto que não mais correspondem às necessidades nacionais;

provocando, portanto, a corrosão de uma riqueza americana sem igual. [1, p. 556]

No intuito de resolver tal crise, alguns países como a Inglaterra e os Estados Unidos implementaram novos programas educacionais, tais como, o novo Currículo Nacional Britânico de Ciências e o projeto 2061 (da Associação Americana para o Progresso da Ciência - AAAS), respectivamente.

Nas últimas décadas, houve iniciativas significativas de aproximação entre a história da ciência e o ensino das ciências. Essa tendência é bastante oportuna devido à crise do ensino contemporâneo de ciências, evidenciada pela evasão de alunos e de professores das salas de aula bem como pelos índices assustadoramente elevados de analfabetismo em ciências

Embora de naturezas distintas, os dois projetos, entre outras determinações, englobaram propostas que visam ao engajamento da história, da filosofia e da sociologia (HFS) ao ensino de ciências nos cursos de ensino fundamental e médio. Porém, essas recomendações não se tratam de uma mera inclusão da HFS, como sendo mais um item do programa do estudo das ciências, mas trata-se de uma incorporação mais rica e abrangente das questões históricas, filosóficas e sociológicas que permearam a construção da ciência. Para Matthews, essa iniciativa é bastante frutífera, pois:

A história, a filosofia e a sociologia da ciência não têm todas as respostas para essa crise, porém possuem algumas delas: podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral da matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do “mar de falta de significação” que se diz ter inundado as salas de aula de

.....
João Ricardo Quintal

Colégio Pedro II e CEFET,
Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mail: joaoricardoquintal@yahoo.com.br

.....
Andréia Guerra

CEFET, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mail: amoraes@cefet-rj.br

.....

O artigo descreve uma pesquisa sobre a relevância da implementação da história da ciência, como agente influenciador no processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos do eletromagnetismo no ensino médio. Um curso, de caráter histórico-filosófico-sociológico, utilizou a história da ciência como eixo condutor e apresentou a evolução do pensamento científico no estudo do eletromagnetismo, desde as principais descobertas sobre os fenômenos elétricos e magnéticos da Antiguidade Clássica até o conceito de campo criado por Maxwell em meados do século XIX. A sua elaboração foi norteada pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's) de física para o ensino médio e apresentou a história da ciência de forma contextualizada, através de uma metodologia elaborada, mesclando experimentos com a teoria. Nesse sentido, o eletromagnetismo foi discutido a partir da construção, pelos alunos, de experimentos históricos como o *versorium* de Gilbert, a garrafa de Leyden, a pilha de Volta, os experimentos de Oersted, de Ampère e os de indução de Faraday. O objetivo desse trabalho foi o de levantar questões a respeito do desenvolvimento do eletromagnetismo e motivar os alunos acerca das questões científicas abordadas em sala de aula. Ao longo do projeto, os resultados da pesquisa sobre a inserção da história da ciência são relatados e avaliados através de uma abordagem qualitativa e quantitativa, avaliando o seu impacto sobre os alunos.

ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, dar uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas. [2]

Ao relacionar essa situação de reformulação da educação, em alguns países desenvolvidos e no Brasil, é possível verificar que ela trouxe consequências também ao nosso sistema educacional, pois essa crise que levou os Estados Unidos e vários outros países da Europa a

reformularem suas diretrizes educacionais na década de 80, também obrigou os países subdesenvolvidos a rever seus conceitos educacionais, sendo este um dos fatores condicionantes para o envio de verbas pelo Banco Mundial. Dentro deste contexto, o Brasil formulou os Parâmetros Curriculares Nacionais, onde foram estabelecidas algumas regras a serem seguidas, tais como: ênfase na interdisciplinaridade, ligação com o cotidiano, desenvolvimento de competências (como, por exemplo, a compreensão de textos, gráficos, tabelas) e o aprendizado de conteúdos importantes para o exercício da cidadania e para o trabalho.

Em relação à “reformulação” da educação brasileira, também existiu a preocupação de aproximar a história da ciência e o ensino de ciências. Os Parâmetros Curriculares Nacionais enfatizam em suas diretrizes o uso da história da ciência, para que o ensino de física:

[...] na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. [3, p. 229]

Porém, será que tal intento é alcançado? De acordo com Roberto de Andrade Martins, pode-se destacar os seguintes aspectos do material de história da ciência produzido no Brasil:

A história das ciências nos apresenta uma visão a respeito da natureza da pesquisa e do desenvolvimento científico que não costumamos encontrar

no estudo didático dos resultados científicos (conforme apresentados nos livros-texto de todos os níveis). Os livros didáticos enfatizam os resultados aos quais a ciência chegou - as teorias e conceitos que aceitamos, as técnicas de análise que utilizamos - mas não costumam apresentar alguns outros aspectos da ciência. De que modo as teorias e os conceitos se desenvolvem?

Como os cientistas trabalham? Quais

as ideias que não aceitamos hoje em dia e que eram aceitas no passado? Quais as relações entre ciência, filosofia e religião? Qual a relação entre o desenvolvimento do pensamento científico e outros desen-

volvimentos históricos que ocorreram na mesma época? [4]

Embora de maneira lenta e às vezes superficial, é possível detectar uma pequena tendência de inclusão da história da ciência nos diversos materiais didáticos em nosso país, o que na opinião de Martins, é algo positivo, pois: “a história da ciência não pode substituir o ensino comum das ciências, mas pode complementá-lo de várias formas. O estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que a ciência não é uma coisa isolada de todas as outras, mas, sim faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano, sofrendo e influenciando por sua vez muitos aspectos da sociedade”. Essa humanização quebra o paradigma de que “a ciência é algo atemporal, que surge de forma mágica e que está à parte de outras atividades humanas” [4].

A utilização da história da ciência no ensino e a psicologia da aprendizagem também possui uma estreita relação. A primeira pode, não só, auxiliar no aprendizado dos conteúdos científicos, como também no próprio processo de desenvolvimento cognitivo individual do educando. De acordo com Martins [4], nos últimos quarenta anos, os educadores tornaram-se mais conscientes dos estágios de cognição presentes na formação do indivíduo. Para ele, essa

conscientização se deveu principalmente aos trabalhos de Jean Piaget, aos quais Martins resume da seguinte maneira:

Os educandos não são uma “tábua rasa” [5]. Trazem consigo certas estruturas operatórias mais ou menos desenvolvidas, de acordo com seu estágio cognitivo; e também trazem certas concepções que, em geral, conflitam e resistem à sua substituição pelas concepções da ciência atual. Essas concepções prévias (anteriores ao ensino científico sistemático) não podem ser apagadas ou ignoradas. Se elas não forem reconhecidas e gradativamente transformadas nas outras, podem continuar a existir, paralelamente às concepções científicas impostas pelo professor, interferindo constantemente com sua efetiva compreensão, aceitação e aplicação [4].

Tanto para Matthews quanto para Martins, a história da ciência pode auxiliar no processo da mudança conceitual dos alunos. Matthews argumenta sua posição através da epistemologia genética de Piaget [6], destacando o seguinte trecho do citado livro: “A hipótese fundamental da epistemologia genética é de que existe um paralelismo entre o progresso alcançado na organização lógica e racional (história da ciência) e os processos psicológicos formativos correspondentes” (p. 13). Enquanto Martins defende que “o processo pelo qual o aluno precisa passar é semelhante ao processo de desenvolvimento histórico da própria ciência” [7]. E destaca que estudando apropriadamente alguns exemplos históricos, o estudante “pode perceber que, na história, sempre houve discussões e alternativas, que algumas pessoas já tive-

ram ideias semelhantes às que ele próprio tem, mas que essas ideias foram substituídas por outras mais adequadas e mais coerentes com um conjunto de outros conhecimentos” [7].

Embora muitos pesquisadores em educação exponham suas justificativas a

favor da inserção da história da ciência no processo de ensino-aprendizagem, outros não aprovam a sua implementação como estratégia de ensino. De acordo com Matthews [2], em 1970, o MIT realizou um simpósio, sobre a questão da utilidade da história da ciência para o seu ensino, nele a HC foi exposta a um duplo ataque: “de um lado, dizia-se que a única história

“A história da ciência não pode substituir o ensino comum das ciências, mas pode complementá-lo de várias formas. O estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade...”

Os livros científicos didáticos enfatizam os resultados aos quais a ciência chegou, mas não costumam apresentar alguns outros aspectos da ciência, como de que modo as teorias e os conceitos se desenvolvem? Como os cientistas trabalham? Quais as idéias que não aceitamos hoje em dia e que eram aceitas no passado?, e muitas outras questões

possível nos cursos de ciência era a pseudo-história; de outro lado, afirmava-se que a exposição à história da ciência enfraquecia as convicções científicas necessárias à conclusão bem sucedida da aprendizagem da ciência” [2].

No âmbito nacional, mesmo os que defendem a implementação da história da ciência nas salas de aula, como recomenda os PCN's de física, veem dificuldades em sua plena efetivação no ensino brasileiro, pois conforme Martins, existem algumas barreiras a serem enfrentadas: “(1) carência de um número suficiente de professores com a formação adequada para pesquisar e ensinar de forma correta a história da ciência; (2) a falta de material didático adequado (textos sobre história da ciência) que possa ser utilizado no ensino; e (3) equívocos a respeito da própria natureza da história da ciência e seu uso na educação” [8].

Na crença de que a inclusão da história e a filosofia da ciência é um fator de melhora significativa, no processo de ensino-aprendizagem, um dos autores (JRQ) elaborou o projeto “Física na História” que fez parte integrante de uma dissertação de mestrado, na qual foram relatados e avaliados os resultados de uma pesquisa em ensino, sobre a relevância da inserção da história da ciência, como agente influenciador no processo ensino-aprendizagem dos conteúdos do eletromagnetismo no ensino médio.

Como produto, o curso gerou a produção de um material didático, no qual a história e a filosofia da ciência foram apresentadas de maneira não alegórica, onde se fez presente a contextualização do processo de construção da produção científica, e a exposição das inquietações, interesses e métodos utilizados na interpretação da natureza. Além da produção desse material, o projeto também estabeleceu uma proposta curricular em sala de aula que trouxe subsídios para que uma metodologia, com enfoque histórico-filosófico, seja trabalhada na escola.

Metodologia do curso histórico-filosófico

A proposta metodológica desenvolvida para o curso histórico-filosófico, visou a despertar nos alunos um maior interesse pela ciência, assim como, estabelecer uma aprendizagem significativa dos conteúdos do eletromagnetismo. O projeto foi elaborado de acordo com as recomendações dos Parâmetros Curriculares

Nacionais para o Ensino Médio. Foi aplicado em 90 alunos da terceira série do ensino médio, pertencentes à Rede Pública Federal.

O curso foi composto de várias partes: aulas expositivas sobre os conteúdos da eletricidade, do magnetismo e do eletromagnetismo, demonstração de experiências históricas confeccionadas pelo professor, realização de experiências históricas executadas pelos alunos, debate histórico com a turma e exercícios. Os exercícios foram elaborados abordando questões de

vestibular, questões históricas e outras a respeito das conclusões das experiências realizadas em sala de aula.

No que se refere à confecção do material elaborado para os alu-

nos, a estratégia adotada pelo professor foi a construção de um texto histórico que apresentou a evolução do pensamento científico no estudo do eletromagnetismo, desde as principais descobertas sobre os fenômenos elétricos e magnéticos da Antiguidade Clássica até o conceito de campo criado por Maxwell em meados do século XIX. O texto serviu como um suporte eficaz para a preparação das aulas, sendo que ele foi construído de forma diferente da encontrada nos mais diversos livros didáticos, onde usualmente apenas são destacados os resultados científicos, sem uma conexão com o contexto histórico-social da época das descobertas. Os conteúdos do eletromagnetismo foram trabalhados de forma contextualizada, no sentido de levantar questões internas e

externas ao processo da produção científica. Estas levaram ao ambiente dos alunos as inquietações filosóficas que permearam as investigações científicas sobre a natureza, num espaço e tempo específicos da história. As discussões acerca do tema foram conduzidas focando o processo evolutivo de descoberta das principais teorias eletromagnéticas [9, p. 147-148].

Para o encaminhamento e avaliação do curso de eletromagnetismo, foi aplicado na primeira aula, um questionário abordando temas que iriam ser trabalhados ao longo do período letivo. A elaboração do questionário pretendeu levantar o conhecimento prévio dos alunos a respeito

do magnetismo, da eletricidade, e do eletromagnetismo. Esse pré-teste verificou se os alunos conheciam algumas propriedades dos ímãs, as aplicações tecnológicas do eletromagnetismo em aparelhos do cotidiano, o nome de alguns dos cientistas envolvidos no desenvolvimento do eletromagnetismo e o processo de geração da energia elétrica.

Após a aplicação dessa primeira avaliação, o curso de eletromagnetismo teve seu início. As primeiras aulas expositivas tiveram como objetivo apresentar as principais descobertas sobre a eletrização e as propriedades dos ímãs, pesquisadas desde a Antiguidade Clássica até o início do século XVII. Nas aulas subsequentes, foram elaboradas atividades histórico-experimentais e textos histórico-filosóficos sobre os caminhos trilhados pelos diversos filósofos naturais e cientistas, onde foi analisado o processo histórico pelo qual culminou o surgimento do eletromagnetismo.

Estrutura do curso

I - Aplicação de um pré-teste.

I.1 - Introdução ao tema. *Comentários:* estudo dos fenômenos elétricos e magnéticos da Antiguidade Clássica até o início do século XVII.

I.2 - Gilbert e o *versorium*. *Comentários:* estudo da importância de Gilbert na sistematização das propriedades dos fenômenos elétricos e magnéticos, descritos no livro *De Magnete*. Análise do *versorium* e a *terella*.

I.3 - Eletroscópio x *versorium*. *Comentários:* construção, pelos alunos, através de um roteiro, de um pêndulo elétrico que serviu como artefato para pesquisar as

propriedades elétricas e magnéticas apresentadas por alguns materiais.

I.4 - Eletrização e carga elétrica. *Comentários:* estudo da conservação da carga elétrica, das pesquisas de Benjamin Franklin e os processos de eletrização por atrito, contato e indução.

I.5 - Otto Von Guericke, máquinas eletrostáticas e a garrafa de Leyden. *Comentários:* estudo da máquina eletrostática de Guericke e da garrafa de Leyden. Tendo sido apresentado pelo professor, os dois artefatos experimentais.

I.6 - Exercícios de vestibular sobre eletrização por atrito, contato e indução.

II - Contexto histórico-cultural da Europa na época de Coulomb (em colabo-

Na crença de que a inclusão da história e a filosofia da ciência é um fator de melhora significativa no processo de ensino-aprendizagem, elaborou-se o projeto “Física na História”

“Física na História” é parte integrante de uma dissertação onde foram relatados e avaliados os resultados de uma pesquisa em ensino sobre a relevância da inserção da história da ciência como agente influenciador no processo ensino-aprendizagem dos conteúdos do eletromagnetismo no ensino médio

ração com professor de história) e a apresentação da lei de Coulomb. *Comentários*: estudo da balança de torção, e a formulação de lei de Coulomb. Lei de Coulomb x lei da gravitação universal de Newton.

II.1 - Exercícios de vestibular sobre a lei de Coulomb, mesclando com a lei da gravitação universal, e os processos de eletrização por atrito, contato e indução.

III - Discussão histórico-cultural sobre Galvani e seus trabalhos. *Comentários*: estudo das experiências de Galvani sobre eletricidade animal. Análise da obra literária *Frankenstein*.

III.1 - Resposta dos mecanicistas ao trabalho de Galvani: Alessandro Volta.

III.2 - A pilha de Volta. *Comentários*: estudo do desenvolvimento do primeiro artefato capaz de produzir corrente contínua.

III.3 - Pilha elétrica, ddp, corrente elétrica. *Comentários*: estudo da corrente elétrica.

III.4 - Energia e potência da corrente elétrica.

III.5 - Exercícios de vestibular sobre corrente elétrica, gráficos $i \times t$, funcionamento das pilhas elétricas, energia e potência da corrente elétrica.

IV - A experiência de Oersted. *Comentários*: execução, pelos alunos, através de um roteiro, da experiência de Oersted.

IV.1 - Contexto histórico-cultural de Oersted. A experiência da agulha imanada como algo não casual.

IV.2 - O impacto no meio científico do experimento e sua interpretação. A reação dos mecanicistas: formulação da lei de Biot-Savart.

IV.3 - Discussão de questões, interdisciplinares, apresentadas no roteiro experimental sobre a experiência de Oersted. Realização de exercícios de vestibular sobre a determinação do vetor indução magnética em espiras e bobinas.

V - A experiência de Ampère. *Comentários*: a apresentação da experiência de Ampère, relacionando-a como uma iniciativa de continuação do estudo dos resultados de Oersted.

V.1 - Contexto histórico-cultural da França e na Europa na ocasião das descobertas de Ampère. A apresentação da lei de Ampère.

V.2 - Força magnética entre condutores paralelos e a definição, no sistema internacional, da unidade Ampère (A).

V.3 - Exercícios de vestibular sobre a

determinação do vetor indução magnética em um fio condutor reto. E sobre a força magnética entre dois fios retos.

VI - A experiência da lei da indução eletromagnética de Faraday. *Comentários*: a apresentação de um experimento, confeccionado pelo professor, que demonstrou o fenômeno de indução eletromagnética.

VI.1 - O contexto histórico-cultural de Faraday e as leis da indução e o conceito de linhas de força.

VI.2 - Repercussão (principalmente nas indústrias) das leis da indução (dínamo/motor elétrico).

VI.3 - Lei de Lenz.

VI.4 - Exercícios de vestibular sobre a lei da indução eletromagnética de Faraday e da lei de Lenz, para determinação do sentido da corrente induzida.

VII - O contexto histórico-cultural de Maxwell. O conceito de campo. Sistematização das teorias de campo elétrico e magnético.

VII.1 - Exercícios de vestibular sobre campo elétrico e magnético e linhas de força. *Comentários*: a apresentação no formato histórico-filosófico é encerrada nessa seção.

VIII - Lei de Ohm, lei de Joule, e circuitos elétricos. *Comentários*: a partir desse tópico, as aulas foram ministradas de forma tradicional.

IX - Geradores e Receptores elétricos.

X - Projeto de final de Curso. *Comentários*: No intuito de revisar de forma significativa os principais conceitos apresentados durante o curso, o professor elaborou um projeto de final de curso, com vários trabalhos histórico-experimentais para que os alunos, em grupos desenvolvessem em casa e apresentassem o resultado de suas pesquisas à turma.

Os projetos finais constaram da resolução de questões contidas no suplemento de trabalho do livro *Faraday e Maxwell - Eletromagnetismo da Indução aos Dínamos* [10] e da construção de diversos aparatos experimentais. Os alunos tiveram como suporte didático para a construção dos experimentos, os roteiros apresentados no referido paradidático e em pesquisas na Internet. Após as apresentações, o curso histórico-filosófico foi

Na implementação inicial do curso, um pequeno grupo, formado principalmente pelos alunos mais ligados à área de exatas, ficou desmotivado. E um outro maior, formado por alunos ligados às áreas de humanas, biomédicas e alguns de exatas, se apresentaram motivados com as aulas!

No início do curso, os alunos se chocaram com a metodologia adotada, pois nas duas outras séries do ensino médio haviam estudado física, baseando-se exclusivamente em fórmulas e teorias acabadas e inquestionáveis

encerrado e teve o início da semana de provas e o pré-teste foi replicado junto com a 3ª certificação de física.

Avaliação do curso histórico-filosófico

A avaliação do curso histórico-filosófico de eletromagnetismo foi composta de análises qualitativas e quantitativas. A primeira foi baseada na metodologia de observação [11]. Construiu-se, então, um diário com anotações do professor após cada uma das aulas realizadas, contendo comentários sobre o andamento do curso e a atitude dos alunos durante a aplicação do projeto "Física na História". E a pesquisa quantitativa foi realizada através de um tratamento estático dos acertos de questões contidas no pré-teste, ao qual foi aplicado antes e depois do curso.

No início do curso, os alunos se chocaram com a metodologia adotada, pois nas duas outras séries do ensino médio haviam estudado física, baseando-se exclusivamente em fórmulas e teorias acabadas e inquestionáveis. Por isso, inicialmente essa diferença bloqueou parte deles, pois sempre estiveram acostumados a ver a física como "algo" produzido por seres privilegiados, que num momento de inspiração ou por alguma necessidade técnica (desconhecida pelos educandos), criaram as mais diversas equações. Equações estas que devem ser decoradas e aplicadas em exercícios de fixação. Até aquele momento, esse era o principal processo de aprendizagem conhecido pelos alunos.

Na implementação inicial do curso houve, portanto, duas vertentes em sala de aula: um pequeno grupo, formado principalmente pelos alunos mais ligados

à área de exatas, que ficaram desmotivados. E um outro maior, formado por alunos ligados às áreas de humanas, biomédicas e alguns de exatas, que se apresentaram motivados com as aulas. Portan-

to, se uma parte dos alunos se mostrou relutante em aderir à introdução da história da ciência no curso de eletromagnetismo, a outra parte, que em sua maioria era formada por alunos que iriam prestar vestibular para a área de humanas, foi cativada logo de início e se tornou mais participativa durante as aulas, o que proporcionou uma pequena diminuição nas conversas paralelas na turma durante as aulas.

A dualidade gerada entre as opiniões dos alunos, comentada anteriormente,

continuou durante as primeiras aulas, porém quando o curso passou para a etapa da realização da parte histórico-experimental, a situação mudou e uma quase totalidade dos estudantes se mostrou interessada nas atividades. Nesta fase, eles ficaram entusiasmados e motivados em descobrir na prática as aplicações e utilidades para as diversas teorias da eletricidade, do magnetismo e do eletromagnetismo. Cabe destacar que a construção, realizada pelos alunos, das primeiras experiências históricas concernentes ao conteúdo da matéria, causaram-lhe um certo sentimento de descoberta da ciência por eles próprios, o que abalou a crença da maioria sobre a intangibilidade da física.

Embora não se possa afirmar que esse sentimento tenha propiciado uma motivação extra aos estudos, possivelmente ele gerou uma quebra dos paradigmas dos processos de construção da ciência, pois alguns alunos se mostraram admirados com o fato de serem capazes de remontar experimentos similares aos executados pelos grandes "gênios" da eletricidade, o que de alguma forma, modificou a atitude dos educandos, tornando-os mais integrados no processo de aprendizagem da disciplina.

É importante destacar que os alunos que, inicialmente, rejeitaram a metodologia do curso, mudaram de atitude no decorrer das aulas. Isso ocorreu, principalmente, quando verificaram que a parte histórica servia de arcabouço para dar um maior significado a determinadas teorias. E que, dessa forma, eles poderiam assimilar e interpretar de forma mais significativa os conteúdos e aplicá-los em exercícios de vestibular com maior clareza dos significados físicos. Essa mudança de atitude pode ser bem ilustrada com o fato de que dois alunos, pertencentes ao grupo de alunos inicialmente desmotivados, acabaram por optar pelo curso de física no vestibular da UFRJ.

No que se refere à avaliação quantitativa, a aprendizagem dos conteúdos foi aferida, não só pelo pré-teste, como também por quatro provas formais, três certificações, com o conteúdo trimestral e uma prova final, com o conteúdo de todo o período letivo. Todas as avaliações formais

tiveram um modelo de prova única para todas as turmas da 3ª série, pertencentes ao mesmo turno.

Conclusão

O projeto "Física na História" proporcionou uma oportunidade de reflexão a respeito das vantagens e desvantagens da inserção da história da ciência no ensino.

A abordagem histórica pode gerar certa resistência em alguns alunos, como ocorreu inicialmente com o referido projeto. Isto porque um trabalho com esse enfoque, por não apresentar verdades prontas e acabadas, impõe ao aluno um pensar constante sobre o que está sendo discutido, contrastando com o

ensino tradicional pautado em memorização e apreensão de algoritmos para resolver problemas pré-determinados. Essa resistência é notada, entretanto, muitas vezes em que uma nova metodologia é implantada em sala de aula.

Apesar da dificuldade apontada, o trabalho histórico pode ser um elemento importante para uma prática pedagógica que pretenda trazer a ciência para o contexto sócio-cultural do aluno. A história da ciência, quando não factual, apresenta os cientistas de forma contextualizada, inserindo-os no tempo e espaço em que viveram. Dessa forma, explicita-se a relação da produção científica com as outras áreas do conhecimento, e também a maneira como a ciência dialoga com a sociedade em que está sendo construída. Os relatos bibliográficos, as discussões em torno do contexto sócio-cultural da produção científica

enfocada e as controvérsias científicas proporcionam em sala de aula debates capazes de humanizar a ciência.

A avaliação do projeto "Física na História" mostrou que muito do sucesso do trabalho de sala de aula foi devido à reprodução dos experimentos históricos.

As experiências possibilitaram aos alunos concretizarem muitas das questões apresentadas no curso e problematizar suas concepções prévias a respeito do tema, destacadas no questionário inicialmente aplicado. Dessa forma, defende-se que a união da história da ciência com experimentos históricos é um elemento a ser

Os alunos que, inicialmente, rejeitaram a metodologia do curso, mudaram de atitude no decorrer das aulas. Isso ocorreu, principalmente, quando verificaram que a parte histórica servia de arcabouço para dar um maior significado a determinadas teorias

A produção e aplicação do projeto destacou que a inserção da história da ciência em sala de aula não é algo simples. Uma prática pedagógica com essa abordagem exige do professor conhecimento de história geral, de física, de filosofia, de sociologia e também de história da ciência e da tecnologia

explorado pelos professores que desejam um ensino de física que não se restrinja à resolução de problemas matemáticos totalmente desvinculados da realidade dos alunos.

A produção e aplicação do projeto destacou que a inserção da história da ciência em sala de aula não é algo simples. Uma prática pedagógica com essa abordagem exige do professor conhecimento de história geral, de física, de filosofia, de sociologia e também de história da ciência e da tecnologia. Dessa forma, requer-se uma formação mais abrangente daquela normalmente fornecida durante a licenciatura. Nesse sentido, é importante que ao se considerar a abordagem histórica uma possibilidade real de tornar o ensino mais significativo, criem-se condições para que um maior número de professores tenha conhecimento capaz de construir práticas educacionais dentro dessa perspectiva.

Referências

- [1] J.L. Heilbron, *Applied History of Science* **78**, 556 (1987).
- [2] M.R. Matthews, *Caderno Catarinense Ensino de Física* **12**, 164 (1995).
- [3] Ministério da Educação, *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio - Ciência da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. (MEC/SEMTEC, Brasília, 1999).
- [4] R.A. Martins, in: *Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino*, organizado por C.C. Silva (Livraria da Física, São Paulo, 2006).
- [5] J. Piaget and R. Garcia, *Psychogenesis and History* (Columbia University Press, Nova York, 1989).
- [6] J. Piaget, *Genetic Epistemology* (Columbia University Press, London, 1970).
- [7] M.A. Barros e A.M.P. Carvalho, *Ciência & Educação* **5**, 83 (1998).
- [8] H. Siegel, *Science Education* **63**, 111 (1979).
- [9] A.G. Moraes, *Contextualizando o Fazer: Subsídios para uma Educação Científica com Enfoque Histórico-Filosófico*. Tese de Doutorado, COPPE, Rio de Janeiro, 2002.
- [10] A. Guerra, M. Braga e J.C. Reis, *Faraday e Maxwell, Eletromagnetismo: Da Indução aos Dínamos* (São Paulo, Atual, 2004).
- [11] H.M. Vianna, *Pesquisa em Educação - A Observação* (Liber Livro, Brasília, 2007).

Nota

O trabalho é parte integrante de uma dissertação de mestrado profissionalizante em ensino de Ciências e Matemática, no CEFET-RJ, concluída em julho de 2008.



.....
Marcos Daniel Longhini

Faculdade de Educação, Universidade
 Federal de Uberlândia, Uberlândia,
 MG, Brasil

E-mail: mdlonghini@faced.ufu.br

Olhar para o céu, nos dias atuais, parece não ser uma prática tão comum como foi em outras épocas de nossa civilização. Foi a partir das observações do céu que o ser humano encontrou as primeiras formas de registrar a passagem do tempo, e soube determinar, por exemplo, quando certa época do ano se aproximava ou estava terminando. Isso lhe facilitava prever períodos de cheia dos rios, do plantio e da colheita.

Na época das grandes navegações, o céu era também uma das ferramentas que auxiliava os navegantes a se guiarem pelos mares. A partir dele se obtinham informações com base em desenhos imaginários que o homem inventara, como é o caso daqueles que representam as constelações. Tal prática ganhou força à medida que a observação atenta levou o ser humano a concluir que as estrelas não mudam suas posições relativas, formando configurações inalteráveis no decorrer do tempo. Desde os Persas e Babilônios (3.000 a.C.) que se tem registro de mapas celestes de constelações ainda visíveis nos dias atuais, o que revela que muito pouco ou quase nada se alterou na configuração das estrelas de lá para cá.

Isso não quer dizer que a posição das estrelas seja infinitamente imutável no tempo e a aparência da constelação nunca muda. Estes astros possuem um ciclo de vida próprio, com um tempo limitado de existência, e durante sua 'vida' possuem um movimento muito lento no céu, muitas vezes imperceptível no curso de uma vida humana. No entanto, quando consideramos um período de centenas ou milhares de anos, a morte ou nascimento de novas estrelas e o movimento delas po-

dem acarretar uma modificação no desenho das constelações. A título de exemplo, a Estrela de Barnard, da constelação de Ofiúco, possui um movimento da ordem de 10,3" por ano, algo relativamente considerável para tais astros, chamados de *estrelas fixas*.

Mas, uma vez olhando para o céu estrelado, que elementos determinam a figura que dará nome a uma constelação? Primeiro, é preciso que entendamos que as constelações são *agrupamentos aparentes* de estre-

las, os quais as diferentes culturas, no decorrer de distintas épocas, imaginaram formar as mais diversas figuras, tais como, pessoas, animais ou objetos.

Assim sendo, não é correto afirmarmos que o nome de uma constelação revela de forma absoluta o objeto, pessoa ou animal que lhe atribuíram. São denomi-

Desde os Persas e Babilônios (3.000 a.C.) que se tem registro de mapas celestes de constelações ainda visíveis nos dias atuais, o que revela que muito pouco ou quase nada se alterou na configuração das estrelas de lá para cá

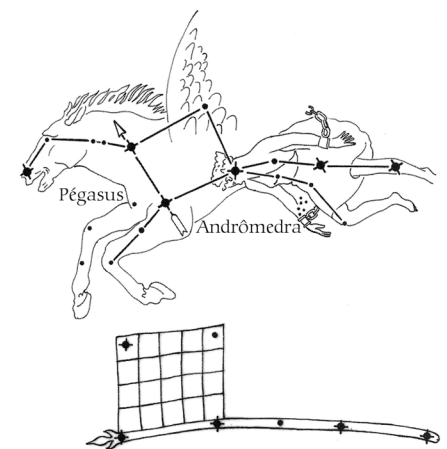


Figura 1 - Representação da constelação da Bandeira de estrelas, dos povos Aimaras, a partir de estrelas de duas constelações por nós conhecidas: Pégasus e Andrômeda [1, p. 55].

Este texto traz algumas discussões sobre o que é uma constelação, procurando romper com a ideia de que se trata de um "conjunto de estrelas". Para isso, apresenta uma proposta de atividade de ensino na qual as cinco principais estrelas da constelação do Cruzeiro do Sul são representadas por LEDs e inseridas em uma caixa. A montagem propicia um "novo olhar" sobre essa constelação, compreendendo o fato de não se tratar de um agrupamento de estrelas localizadas próximas entre si.

nações arbitrárias que expressam elementos da cultura e do momento vivido por aqueles povos que enxergaram nas estrelas determinadas figuras e lhes deram significado. Panzera (2003) nos traz o exemplo dos Aimaras, povos da civilização pré-colombiana, que há 500 anos possuíam sua Astronomia própria. Para eles, havia uma constelação que era chamada de Bandeira de estrelas, um símbolo muito usado em suas festividades, e que na verdade, é uma figura formada a partir de estrelas que para nós fazem parte de outras constelações: Pégasus e Andrômeda.

Tal informação nos revela que o desenho que observamos no céu depende da cultura local ou do período em questão. Na Antiguidade, por exemplo, são muitas as constelações associadas a seres mitológicos, ao passo que no período das navegações, as novas constelações 'inventadas' receberam nomes de instrumentos importantes naquela época, como a bússola, o telescópio ou o sextante.

Uma vez 'criada' a constelação, são expressivas as histórias associadas a elas, principalmente as da Antiguidade: o Cocheiro, por exemplo, representa um pastor de ovelhas, sendo que a estrela Capela é uma de suas cabras; Órion é o caçador que vem acompanhado de seus cães, o Cão Maior e o Cão Menor, ambas constelações; Sagitário é representada pela figura mitológica do centauro alado com um arco esticado e uma flecha dirigida ao Escorpião, uma outra constelação.

Em 1929 a União Astronômica Internacional adotou 88 constelações oficiais, de modo que cada uma das cerca de 1000 a 1500 estrelas que podemos ver no céu em uma noite escura pertence a determinada constelação

Apesar de nos dias atuais dispormos de diversos recursos para registrar a passagem do tempo ou caracterizarmos uma determinada época, as constelações ainda continuam a marcar determinados eventos. Escorpião, por exemplo, que para nós do Hemisfério Sul é visível durante todas as noites de junho, marca a ocorrência do inverno neste hemisfério. Por outro lado, neste mesmo período, outras constelações não são visíveis durante toda a noite no céu. Órion, por exemplo, é a nossa constelação típica de verão, já que é visível, em dezembro, no decorrer de toda a noite.

As constelações na atualidade

As constelações começaram a ser catalogadas em tempos remotos, com Cláudio Ptolomeu, no seu livro *Almagesto* (150 d.C.), mas de grande importância foi o trabalho de Johann Bayer, astrônomo alemão, que escreveu o *Uranometria*, em 1603, praticamente o primeiro atlas celeste

que se tem notícia. Muitas constelações foram sendo anexadas aos poucos e o número delas aumentou, principalmente, no período das navegações, devido ao maior conhecimento do Hemisfério Sul, que, até então, era limitado.

Segundo Oliveira Filho e Saraiva [2], em 1929, a União Astronômica Internacional adotou 88 constelações oficiais, de modo que cada uma das cerca de 1000 a 1500 estrelas que podemos ver no céu em uma noite escura pertence a determinada constelação. Vale ressaltar que metade delas está no Hemisfério Sul e, a outra parte, no Norte. Essa divisão foi feita por meio de demarcações imaginárias na esfera celeste, como os estados que dividem uma nação.

As estrelas se encontram a enormes distâncias de nós, exceto o Sol, que comparado às demais, está relativamente próximo. A título de comparação, o Sol está a aproximadamente 8 minutos-luz de nós, ou seja, a luz leva em torno de oito minutos para partir do nosso astro-rei e chegar até nós, e isso a uma velocidade de 300.000 km/s. Exceto o Sol, nossa estrela vizinha é a Próxima do Centauro, que está a 4,3 anos-luz; mas a estrela Rigel, por exemplo, a mais brilhante da constelação de Órion, está a 900 anos-luz de nós, uma medida inalcançável para o ser humano.

No entanto, quando olhamos para a constelação de Órion, por exemplo, podemos afirmar que as estrelas que a constituem, inclusive, Rigel, encontram-se próximas entre si? Ou ainda, tudo mais que pudermos observar em uma constelação, como aglomerados, nebulosas ou galáxias, encontra-se formando um conjunto, constituindo, portanto, a constelação?

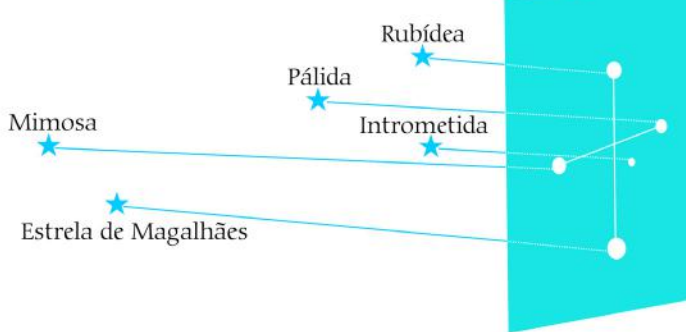
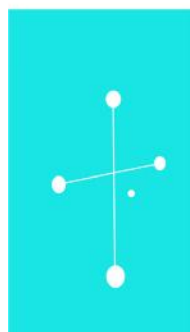


Figura 3 - Representação das diferentes distâncias das principais estrelas que compõem a constelação do Cruzeiro do Sul (adaptada da Ref. [5, p. 17]).



Figura 2 - Representação da constelação do Cruzeiro do Sul, localizada próxima a do Centauro (adaptada da Ref. [5, p. 39]).

É isso que iremos abordar neste texto, utilizando para tal, uma montagem que representa, em escala, as diferentes distâncias que as estrelas de uma constelação se encontram de nós e, por consequência, entre elas próprias. Tomaremos como exemplo para essa atividade uma constelação muito conhecida, presente até mesmo em nossa bandeira nacional: o Cruzeiro do Sul.

O Cruzeiro do Sul

O Cruzeiro do Sul ou Crux é a menor das constelações, e é relativamente fácil de ser encontrada no céu devido ao seu formato se aproximar bastante ao de uma cruz. Segundo Faria [3], as informações disponíveis indicam que ela foi criada em 1673 pelo navegador francês Augustin Royer e ainda em nossos dias ela é muito empregada para localização dos pontos cardeais. No entanto, Mourão [4] afirma que data de 1500 o documento mais antigo no qual se menciona o nome Crux: uma carta que Mestre João, pertencente à Comitiva de D. Pedro Álvares Cabral, escreveu ao rei de Portugal.

O Cruzeiro do Sul é, aparentemente, constituído por cinco estrelas, mas outros astros estão localizados na região

delimitada por esta constelação. Dependendo das condições de luminosidade do local onde se fizer a observação ou até mesmo do instrumento utilizado, muitas outras estrelas podem ser vistas, ou até mesmo demais objetos celestes, como a Caixa de Jóias, um aglomerado de estrelas a 7700 anos-luz de distância, aproximadamente, ou o Saco de Carvão, uma nebulosa escura.

Tomaremos para fins desta atividade suas cinco estrelas mais significativas: a mais reluzente é a que se encontra ao pé da cruz, conhecida como Estrela de Magalhães (Alfa do Cruzeiro), em homenagem ao navegador português Fernão de Magalhães. É, na verdade, uma estrela dupla. No topo da cruz está Rubídea (Gama do Cruzeiro); na extremidade esquerda encontra-se Mimosa (Beta do Cruzeiro); e à direita, Pálida (Delta do Cruzeiro). Existe ainda uma quinta estrela que não pertence aos braços da cruz, conhecida por Intrometida ou Intrusa (Épsilon do Cruzeiro).

Em relação a distância destas cinco estrelas da Terra, temos: Estrela de Magalhães ou Acrux (359 anos-luz); Mimosa (424 anos-luz); Rubídea ou Gacrux (88 anos-luz); Pálida (257 anos-luz), e Intrometida (58 anos-luz) [4].

Isso revela que, apesar de elas pertencerem à mesma constelação, estão a distâncias significativas entre si. No entanto, por que aparentemente a observamos juntas, formando uma cruz? Este texto mostrará, a partir de uma prática experimental, ser este apenas um efeito de perspectiva, e auxiliará a desmistificar a ideia de que as constelações são conjuntos de estrelas.

A montagem experimental

Para observarmos o efeito em perspectiva causado pela nossa posição em relação às estrelas do Cruzeiro do Sul, confeccionamos uma caixa de madeira, com uma tampa deslizante, com as seguintes dimensões: 70 cm de comprimento, 23 cm de largura e 22 cm de altura, a qual passou a funcionar como uma câmara escura. Em uma de suas faces fizemos um orifício de, aproximadamente, 0,5 cm de diâmetro.

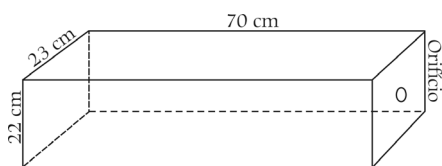


Figura 4 - Dimensões da caixa utilizada na atividade experimental.

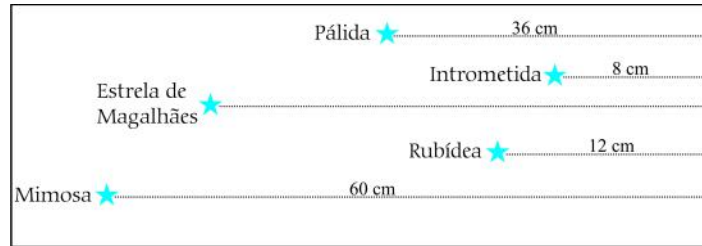


Figura 5 - Representação do fundo da caixa com as respectivas posições aproximadas das principais estrelas da constelação, em relação à face direita com o orifício (distâncias proporcionais e em escala).

Em um primeiro momento, marcamos, no fundo da caixa, as posições aproximadas das cinco estrelas citadas, considerando suas distâncias até nós, que na situação, representamos pela posição da face com o orifício.

Em seguida, em cada uma destas marcas, fixamos, com fita adesiva, hastes de arame de tamanhos distintos. Elas possibilitaram marcar, na vertical, a posição de cada estrela. Assim sendo, temos: na haste com 19 cm de altura, fixamos Rubídea; na de 16 cm, Mimosa; na de 11 cm, Pálida; na de 10 cm, Intrometida; e, por fim, na de 3 cm, a Estrela de Magalhães. Utilizando tais medidas, a cruz terá uma inclinação para a direita, representando a constelação em um determinado momento da noite.

De modo a verificar se cada haste estava colocada na posição correta, ou seja, localizadas em pontos que, virtualmente, a partir do orifício, pudéssemos observar a figura de uma cruz, empregamos a seguinte estratégia: na extremidade superior de cada uma das cinco hastes, prendemos pedaços de barbante, os quais passaram a funcionar como retas

imaginárias no espaço. Estes cinco barbantes foram amarrados em uma cruz feita, também, de arame, pendurada em uma das extremidades da caixa. Cada estrela foi ligada a uma ponta da cruz, obedecendo às suas respectivas posições na constelação.

Na etapa seguinte, na extremidade de cada haste fixamos um pequeno LED amarelo, usando fita adesiva. Conectamos os cinco LEDs a uma bateria de 3 V, num circuito, em paralelo, conforme esquema da Fig. 8. No mesmo circuito inserimos um pequeno interruptor para ligar e desligar as lâmpadas. As hastes, assim como o interior da caixa, foram encapadas com papel camurça preto, de modo a tornar o ambiente interno o mais escuro e o menos reflexivo possível.

Ao término da montagem, fechamos a caixa e observamos pelo orifício frontal. O que se vê é o desenho da constelação do Cruzeiro do Sul num determinado momento da noite. Alguns ajustes podem ser necessários nesta etapa, de modo que a figura se torne visível no campo visual propiciado pelo orifício. Caso não seja possível ver parte da cruz, deve-se ajustar a

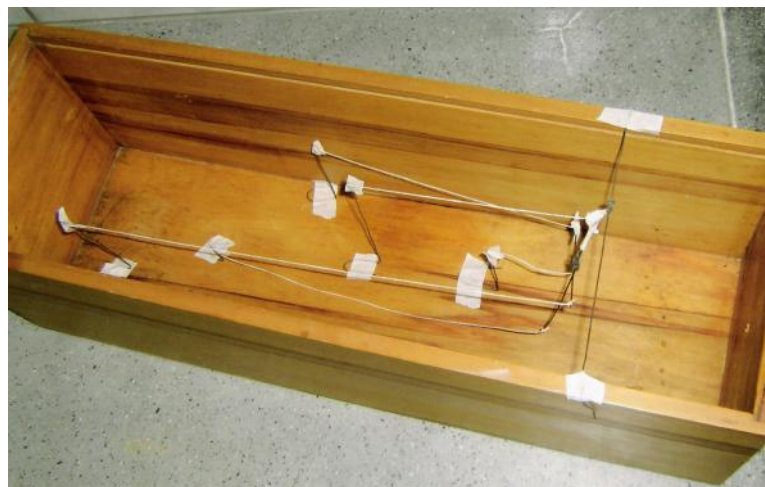


Figura 6 - Hastes de arame fixadas nas posições das estrelas conforme a Fig. 5 e com barbantes representando as linhas imaginárias que “as liga” a uma cruz.

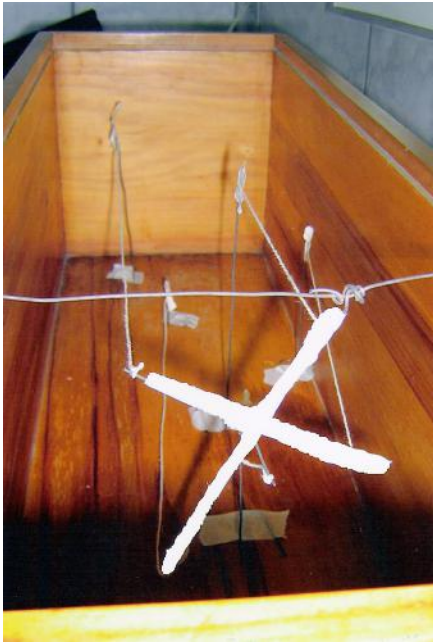


Figura 7 - Vista frontal da caixa, onde se mostra os barbantes partindo de cada extremidade das hastes e chegando até a cruz (destacada em branco, para melhor identificação).

posição das hastes ou aumentar a diâmetro do orifício.

Estando ajustadas as posições, ao olharmos pelo orifício, o que se percebe é que as estrelas, aqui representadas pelos LEDs, estão localizadas uma ao lado da outra. No entanto, ao abrir a caixa, pode-se verificar as diferentes distâncias entre elas e o orifício.

É importante destacar que o propósito da atividade não é discutir a relação entre o brilho aparente das cinco estrelas e a

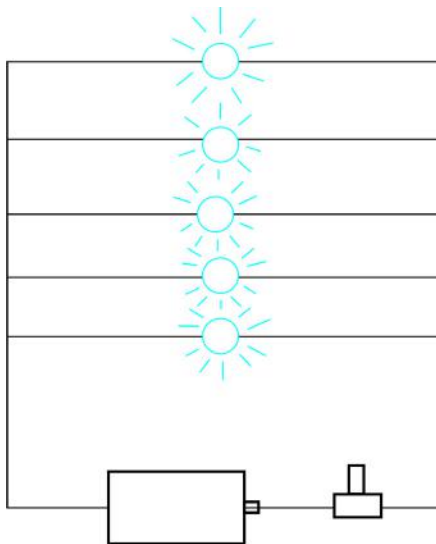


Figura 8 - Esquema representando a ligação dos LEDs (bolinhas) com a bateria e interruptor.



Figura 9 - Imagem da caixa e sua tampa com as faces internas revestidas com papel camurça preto.

distância que elas se encontram de nós, apesar de resultar em uma análise interessante. Para tal, o uso de LEDs de tamanhos distintos pode ser uma possibilidade e fica como sugestão para teste, talvez em uma caixa com dimensões maiores.

Comentários finais

A montagem, relativamente fácil de ser construída, pode ser um recurso útil para que os alunos compreendam que o

conceito de constelação é mais amplo do que o de um simples “agrupamento de estrelas”.

O professor, também, pode aproveitar a ocasião para instigar os alunos a pensarem, por exemplo, que demais objetos celestes poderiam ser colocados na caixa, caso ela fosse mais comprida. Isso leva a compreender que em uma constelação encontramos, até mesmo, galáxias que se localizam a milhões de anos-luz da Terra, logo, muito mais longe do que as estrelas.

Enfim, trata-se de uma prática que favorece a visualização da constelação a partir de outros ângulos, o que nos faz perceber, inclusive, que as figuras que as diversas culturas visualizaram são resultado de um mero efeito de perspectiva. Assim sendo, vale retomarmos o questionamento inicial: será a constelação do Cruzeiro do Sul uma cruz?



Figura 10 - Hastes revestidas com papel preto e com LEDs nas extremidades superiores. Todos foram ligados a uma bateria de 3,0 V.

Bibliografia

- [1] A.C. Panzera, *Planetas e Estrelas: Um Guia Prático de Carta Celeste* (Editora UFMG, Belo Horizonte, 2003).
- [2] K. Oliveira Filho e M.F.O. Saraiva, *Astronomia e Astrofísica* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2004), 2ª ed.
- [3] R.P. Faria, *Fundamentos de Astronomia* (Papyrus, Campinas, 1987), 7ª ed.
- [4] R.R.F. Mourão, *Uranografia: Descrição do Céu* (Francisca Alves, Rio de Janeiro, 1989).
- [4] A. Delerue, *Rumo às Estrelas: Guia Prático para Observação do Céu* (Jorge Zahar Ed., Rio de Janeiro, 2007), 4ª ed.



.....
Felipe Damasio¹ e Sabrina Moro Villela Pacheco²

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Araranguá, SC, Brasil

¹E-mail: felipedamasio@ifsc.edu.br

²E-mail: sabrinap@ifsc.edu.br
.....

Introdução - o céu é o limite

Em 1609, o holandês chamado Hans Lippershey inventou um instrumento com o qual um italiano fez registros sobre suas observações do céu noturno naquele mesmo ano. Este italiano era Galileu Galilei e o instrumento, o telescópio. A revolução na nossa visão do Universo, da qual estas observações fizeram parte, estava em pleno desenvolvimento. Antes de Galileu, participaram dele Nicolau Copérnico, Giordano Bruno e outros corajosos pensadores que desafiaram o conhecimento até então estabelecido, além de contemporâneos de Galileu, como Kepler e outros, culminando em uma nova geração de cientistas que herdaria as contribuições de todos estes gigantes, como Isaac Newton. Como resultado desta revolução, nosso planeta foi deslocado do centro do Universo. Primeiro, foi para uma órbita que girava em torno deste centro onde estaria o Sol; depois, para uma região que orbitava uma estrela na periferia de uma entre mais de cem bilhões de galáxias; a Terra transformava-se assim em *quase nada* em um lugar remoto. Ao longo de uma caminhada de quase quinhentos anos, deixamos de ver o Universo de uma posição egocêntrica para adotarmos uma visão muito modesta de nosso lugar no Universo.

Uma das contribuições das observações de Galileu para esta revolução foi quando ele apontou o seu telescópio para Júpiter (representado na Fig. 1 junto com um de seus satélites). Ele percebeu que, ao redor deste planeta, giravam outros corpos celestes. Eram quatro estes objetos, os quais hoje são conhecidos como luas galileanas: Io, Calisto, Europa e Ganíme-

des, que têm suas imagens recentemente obtidas reproduzidas na Fig. 2.

Em comemoração aos 400 anos do início dessa revolução, 2009 foi declarado pela UNESCO como o Ano Internacional da Astronomia.

Os telescópios, que evoluíram muito desde a época de Lippershey e Galileu, permitiram-nos que descobríssemos fatos inimagináveis quando começaram as observações dos céus com eles, há quatro séculos. Hoje temos grandes telescópios e telescópios espaciais que nos permitem obter novas informações sobre o Universo quase que diariamente, tais como o descobrimento de planetas gigantes e gasosos e até de outros de tamanho comparável com o da Terra, de quasares e é claro dos buracos negros. Parte deste conhecimento que

Com a invenção do telescópio, em 1609, Galileu Galilei iniciou uma revolução na nossa visão do universo. Em comemoração aos 400 anos do início dessa revolução, 2009 foi declarado pela UNESCO como o Ano Internacional da Astronomia

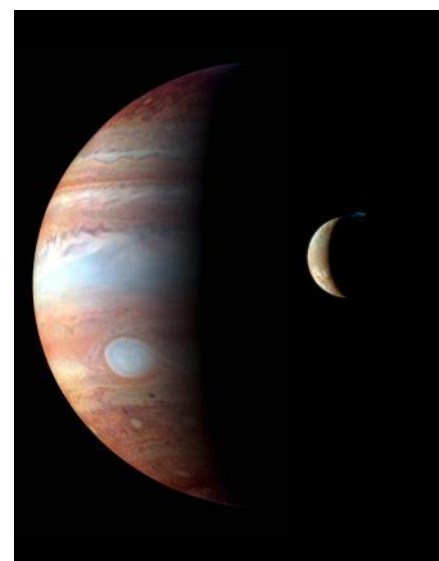


Figura 1 - Representação de Júpiter junto com o seu satélite Io.

O presente trabalho aborda um dos assuntos científicos que mais desperta a curiosidade e interesse do público: os buracos negros. Este artigo pretende oferecer uma alternativa que envolva seus aspectos históricos em uma linguagem sem artifícios matemáticos. A abordagem começa com os primeiros registros de proposta de buracos negros indo até os quasares, a radiação Hawking e a possibilidade de se recuperar informações de dentro de um buraco negro.

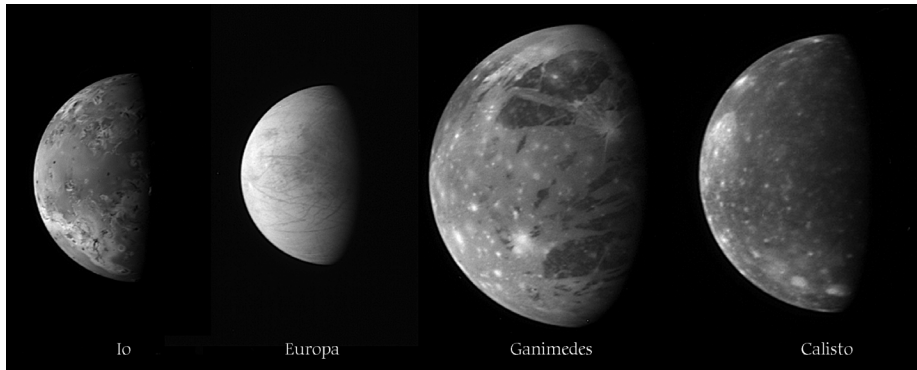


Figura 2 - Luas galileanas: os quatro primeiros satélites de Júpiter observados da Terra.

temos através dos telescópios, do qual vamos tratar a partir de agora, foi possível graças àqueles pioneiros do século XVII; vamos nos ater aos buracos negros. Estes objetos despertam curiosidade até mesmo em pessoas sem nenhum tipo de interesse em temas científicos. A visão popular destes corpos celestes é de que eles seriam um sorvedouro insaciável de matéria que algum dia poderia tragar a todo o Universo. Esta “má fama” dos buracos negros não é de toda merecida, e sua versão popular não inclui as novas descobertas a seu respeito, ocorridas nas últimas décadas, que serão nossos temas principais.

As idéias pioneiras

Podemos dizer que as primeiras especulações sobre buracos negros remontam há mais de dois séculos, como parte de uma das maiores controvérsias da história da ciência, que, por incrível que pareça, não está até hoje bem esclarecida: a luz é onda ou partícula? Com o advento da mecânica quântica, sabemos que a natureza da luz é uma complementaridade entre onda e partícula - tal situação é conhecida como *dualidade onda-partícula*. No entanto, muito antes de qualquer especulação sobre a natureza quântica, em 1704, Newton publicou seu célebre livro intitulado *Optiks*, onde sugere que a luz seja formada de partículas, cujo movimento poderia ser explicado pela mecânica newtoniana. Nem todo mundo concordava com Newton em relação à luz ser formada por partículas, como já havia deixado registrado, ainda no século XVII, o holandês Christian Huygens. Para ele, a luz seria uma onda da mesma forma que o som.

Na proposta de Newton, seria justo

pensar que, uma vez a luz sendo formada de partículas, estas partículas seriam atraídas por um campo gravitacional. Neste caso, a luz teria que ter uma velocidade mínima para “fugir” de um determinado campo gravitacional como todos os outros corpos - tal velocidade é conhecida como *velocidade de escape*. Por exemplo, a velocidade de escape da Terra é de 11 km/s; assim, se alguém sacar uma bola de vôlei na vertical com uma velocidade superior a este valor é melhor comprar outra, pois a que foi sacada não volta mais.

No século XVII, o cientista Roemer demonstrou que a luz viaja a uma velocidade finita. O valor a que ele chegou foi o de 225.000 km/s (longe dos 300.000 km/s aceitos atualmente), e seu mérito foi de nos avisar que a luz viaja a velocidade finita, possibilitando-nos prever alguns fenômenos interessantes. Um destes diz respeito a corpos extremamente maciços e densos. Se existisse no Universo um objeto celeste em que sua densidade provocasse uma velocidade de escape maior que a da luz, seria impossível que ela saísse da atração

Schwarzschild utilizou a recém publicada teoria da relatividade geral para obter algumas soluções matemáticas que apontam para uma peculiar consequência, que pode ser hoje apontada como os buracos negros. Inicialmente este resultado não convencia o próprio Einstein; pare ele, a solução obtida não tinha uma realidade física

gravitacional deste objeto. Se ele fosse uma estrela, a luz gerada voltaria a ela, devido à velocidade da luz ser menor que a velocidade de escape do campo gravitacional desta estrela. Se olhássemos da Terra para esta região, não veríamos ali uma estrela, pois toda a luz gerada por ela não chegaria até nós; veríamos apenas uma região negra no espaço e poderíamos até imaginar que nada existiria por lá.

A primeira descrição explícita de tal proposta pode ser creditada a John Michell, em um artigo publicado em 1783. O marquês de Laplace, de maneira independente, descreveu tal fenômeno nas

duas primeiras edições de seu livro *O Sistema do Mundo*. Nas edições seguintes, no entanto, deixou de fora esta proposta. Isso aconteceu muito provavelmente devido à bem sucedida experiência do inglês Thomas Young, na qual ele demonstrou o caráter ondulatório da luz, e a teoria segundo a qual a luz era formada de partículas, caiu em descrédito.

A ideia de que a luz pode ter sua trajetória alterada por um campo gravitacional teria que esperar até o século XX e por Albert Einstein. Mais precisamente pelo ano de 1915 e a publicação da teoria da relatividade geral, em que uma de suas previsões era a de que a luz deveria sofrer desvios ao se aproximar de campos gravitacionais intensos, como o provocado pelo Sol. A suposta comprovação desta hipótese deu fama mundial a Einstein e contou com a valorosa contribuição de brasileiros quando, em 1919, fotografias tiradas em um eclipse solar visível com nitidez na cidade cearense de Sobral, teriam comprovado as ideias do cientista alemão.

Apenas um ano depois da publicação da teoria da relatividade geral, em pleno *front* da I Guerra Mundial, Karl Schwarzschild, poucos meses antes de morrer, utilizou a recém publicada teoria da relatividade geral para obter algumas soluções matemáticas. Estas soluções apontam para uma peculiar consequência, que pode ser hoje apontada como os buracos negros. Inicialmente este resultado matemático obtido por Schwarzschild não convencia o próprio Einstein; pare ele, a solução obtida não tinha uma realidade física.

Em 1939, o norte-americano Robert Oppenheimer usou a teoria da relatividade geral para descrever o que aconteceria com a luz em um campo gravitacional intenso o suficiente para provocar seu desvio. Se não houvesse corpo celeste algum que gerasse tal campo, a luz seguiria sua trajetória normalmente. Quando passasse perto de uma estrela de densidade comparável com a do Sol, seria pouco desviada. Ao passar por uma estrela bem mais densa que o Sol, a luz seria encurvada em direção à estrela. Quando a densidade da estrela fosse suficiente, a trajetória da luz seria tão perturbada em direção à estrela que ela não conseguiria mais escapar deste campo gravitacional, ficando desta forma “aprisionada” dentro dele ao atravessar uma espécie de fronteira. Este limite de aproximação de um corpo celeste antes de ser “sugado” para dentro é conhecido como *horizonte de eventos*, termo cunhado em 1950 pelo austríaco Wolfgang Rindler.

Como, de acordo com a teoria da relatividade, nada pode viajar mais rápido que a luz, para nenhum corpo existia a possi-

bilidade de fugir deste tipo de campo gravitacional; tudo que passasse pela vizinhança da estrela, seria tragado para dentro por seu incrível poder de curvar o *espaço-tempo*. Este termo inclui o tempo no espaço, pois de acordo com a teoria da relatividade restrita de Einstein, publicada em 1905, existem quatro dimensões, três espaciais e uma temporal. Como nada poderia sair de dentro do campo gravitacional, quando a região em questão fosse observada da Terra, nós veríamos apenas um espaço escuro, sem termos a possibilidade de saber que por lá existe uma estrela supermaciça.

O termo *buraco negro* só seria cunhado em 1969 pelo norte-americano John Wheeler. Muito se aprendeu sobre estes objetos celestes desde o artigo de Michell, inclusive que eles são mais comuns do que os pioneiros em sua proposta de existência poderiam imaginar. Recentemente, um satélite mapeou uma pequena região do céu e identificou nesta pequena região mais de 1.500 candidatos a buracos negros.

A origem dos buracos negros

Obviamente nem todos os buracos negros são iguais, mas podem ser divididos em dois grupos, dependendo de sua origem e massa: os buracos negros estelares - com massas de até sete vezes a massa do nosso Sol - e os supermaciços, que se acredita hoje estarem no centro de galáxias e possuírem massa na ordem de milhões de vezes a massa do Sol.

Para entender a origem dos buracos negros estelares, temos que retornar à década de 1930. No fim desta década, o alemão Hans Bethe propôs um possível mecanismo para a grande quantidade de energia liberada pelo Sol e outras estrelas - tal proposta hoje é conhecida como fusão nuclear. A grosso modo, consistiria na fusão de átomos menores (como os de hidrogênio) em átomos maiores (como os de hélio). Como resultado desta fusão, seria liberada a energia que recebemos do Sol e das outras estrelas todos os dias. Na maior parte da vida da estrela, o seu combustível é o hidrogênio, mas um dia o "reservatório" de hidrogênio diminui de modo que inviabiliza este tipo de mecanismo a continuar funcionando da mesma maneira, e um fim trágico espera pela estrela. As estrelas se mantêm estáveis durante um bom tempo, apesar de toda a sua massa tender a se colapsar devido à atração gravitacional. Este colapso só não ocorre porque a energia liberada pelas reações de fusão equilibra a força gravitacional. Porém, quando o nível de hidrogênio diminui além de um limite mínimo,

começa a haver um desequilíbrio entre as duas forças.

O destino da estrela depende de dois fatores: de sua massa e se ela faz parte ou não de um sistema binário ou múltiplo, do qual em torno de 60% das estrelas fazem parte. Quando isto ocorre, o fim de uma estrela depende, além da sua massa inicial, também da distância de separação entre as estrelas do sistema binário ou múltiplo. Quando a estrela não faz parte de um sistema desta natureza, seu destino só depende de sua massa inicial, conforme mostra a Fig. 3. Se a massa inicial da estrela estiver entre 0,8 e 10 vezes a massa do nosso Sol (massa solar), quando o combustível diminui até um ponto crítico, a estrela se expandirá na forma de uma super gigante ejetando grande parte de sua massa em uma nebulosa planetária, e o que restará é conhecido como anã branca. O final deste tipo de estrela tem massa na ordem de 0,6 massas solares e raio em torno de 10.000 km. Este será o fim de nosso Sol, mas não se preocupe: isto ocorrerá só daqui a uns cinco bilhões de anos. Quando a massa inicial da estrela for de 10 a 25 massas solares, após o seu hidrogênio diminuir até o ponto crítico, a estrela explodirá em uma supernova. O que ficará no seu lugar é chamado de estrela de nêutrons, que tem massa de aproximadamente 1,4 vezes a massa do Sol e raio na ordem de 20 km. Finalmente, quando a massa da estrela inicial for maior que 25 vezes a massa do Sol, após explodir em uma supernova, o que restará no lugar da estrela é um buraco negro. Este tipo de buraco negro é conhecido como estelar, pois tem em sua origem uma estrela muito maciça. Este tipo de buraco negro tem massa de até

sete vezes a massa do Sol e seu horizonte de eventos é da ordem de 1 km.

Mas existe outro tipo de buraco negro muitíssimo mais maciço que os estelares. Este tipo de buraco negro é observado apenas de maneira indireta e acredita-se que esteja no centro de galáxias - são os buracos negros supermaciços. Uma galáxia cujo centro se acredita que exista um buraco negro supermaciço está representada na Fig. 4. Trata-se da galáxia NGC 4261, e o buraco negro central deve ter uma massa equivalente a meio bilhão de massas solares.

O processo de formação do buraco negro supermaciço é alvo de controvérsia, mas existem três versões que são as mais fortes candidatas a fornecer a explicação de sua origem. Em uma delas, eles seriam tão velhos quanto as mais antigas galáxias: teriam sido formados a partir do colapso de uma enorme quantidade de matéria formando o centro das galáxias. Em outra explicação possível, estes buracos negros teriam sido formados com uma massa muito menor que a observada atualmente, mas tiveram sua massa aumentada à medida que foram "capturando" poeira e estrelas através de seu intenso campo gravitacional. Ainda existe a possibilidade de terem sido formados quando duas galáxias se fundiram, e os buracos negros no centro destas galáxias - com massa bem menor que os supermaciços - também se fundiram dando origem a este tipo de buraco negro.

Mesmo que Einstein duvidasse

De maneira fria, podemos chamar os buracos negros de uma previsão da teoria da relatividade geral, onde a massa de um

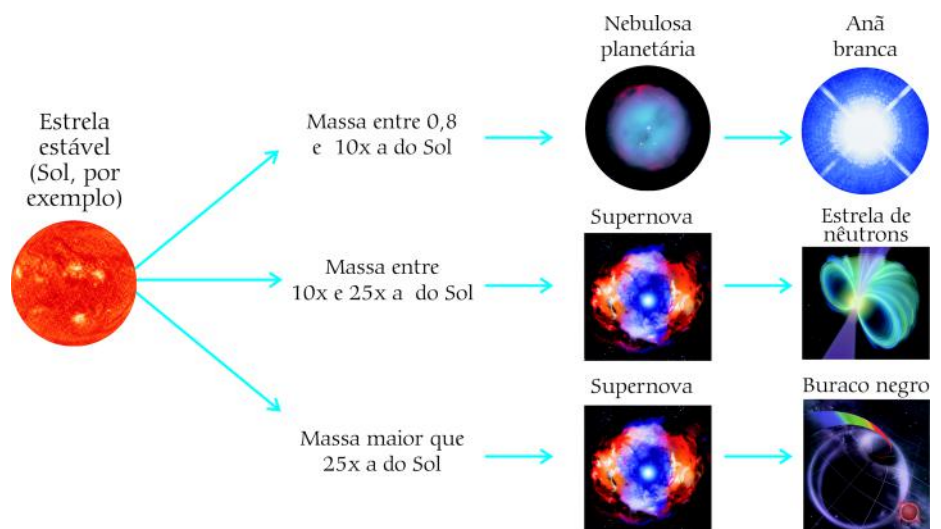


Figura 3 - Evolução final das estrelas de acordo com sua massa inicial.

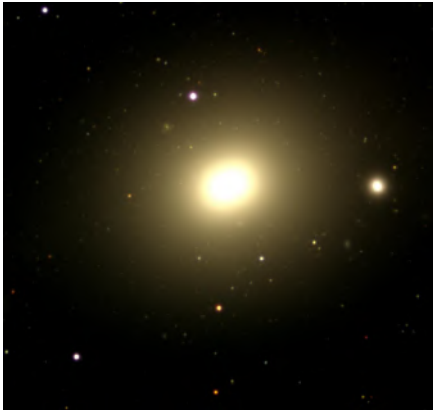


Figura 4 - Galáxia NGC 4261.

corpo (uma estrela, por exemplo) colapsa até se concentrar em um único ponto. Este ponto tem densidade infinita e é chamado de singularidade do espaço-tempo, onde as leis da física que conhecemos não têm validade, incluindo-se nesta lista a própria relatividade geral. Sob certo ponto de vista, podemos dizer que a teoria de Einstein continha as sementes de sua própria destruição ao prever um fenômeno que não podia explicar. Talvez isso possa nos fazer entender o motivo que levou Einstein a desacreditar na existência física da singularidade. No entanto, hoje grande parte da comunidade científica acredita que ela deva existir, conforme a previsão da teoria da relatividade geral.

De acordo com Einstein, a gravidade não é mais uma força misteriosa causada por uma massa, capaz de influenciar objetos distantes através do espaço, como na teoria de Newton. Para Einstein, a gravidade é apenas uma consequência das características do espaço-tempo. Uma massa pode “deformar” o espaço-tempo provocando sua curvatura. Existe uma espécie de “princípio da preguiça cósmica”, no qual os corpos sempre procuram movimentar-se seguindo a menor distância entre dois pontos. Se não existe nenhuma massa para encurvar o espaço-tempo, este caminho seria uma linha reta. Mas, quanto maior for a massa de um corpo, mais ele deformará o espaço-tempo e mais curvo será este menor caminho entre dois pontos. Eis o mistério da gravidade: para Einstein, é tudo uma questão de preguiça dos corpos em seguir o menor caminho no espaço-tempo curvo.

As previsões de Newton e Einstein são

A crença popular de que buracos negros são insaciáveis, sugando tudo que está em seu entorno não passa de crença popular. Imagine por um instante que o Sol fosse comprimido até virar um buraco negro. O que você acha que mudaria na órbita da Terra? A resposta é: absolutamente nada!!

muitíssimo parecidas para campos gravitacionais como o que o Sol provoca na Terra. Se você quiser prever a trajetória da Terra não faz muita diferença usar uma teoria ou outra. Mas, quanto mais perto do Sol, maiores são as diferenças entre as teorias, devido ao campo gravitacional ser mais intenso. Quanto mais intenso for um campo gravitacional, maiores serão as diferenças entre as previsões das duas teorias. É o caso da órbita errante de Mercúrio. A teoria de Newton não a prevê e não fornece uma explicação consistente com a realidade física para esta característica da órbita do planeta mais próximo do Sol. No entanto, tal órbita está em total acordo com a teoria da relatividade geral. Esta diferença entre as teorias fica cada vez maior à medida que se aumenta o campo gravitacional.

Nas proximidades de um buraco negro, o campo gravitacional é tão forte que não é possível dispensar o uso da teoria da relatividade geral. De acordo com ela, quando mais intenso for um campo gravitacional, menor será o intervalo de

tempo medido por quem sente este campo intenso em relação à outra pessoa que sente um campo de menor intensidade. Isto causa algumas consequências muito estranhas.

Imagine que você e seu irmão gêmeo estivessem passeando em uma nave espacial

a uma distância segura do horizonte de eventos de um buraco negro. Continue imaginando que você convidou seu irmão para ir dar uma “olhadinha” no horizonte de eventos sem ultrapassá-lo. Porém, ele preferiu dar uma soneca, e você se aproximou sozinho do horizonte, enquanto seu irmão ficou afastado dele, dentro da nave. De acordo com a relatividade geral, quanto mais próximo do horizonte de eventos (com o consequente aumento do campo gravitacional), mais devagar o tempo passa para você em relação ao seu irmão. Quando você voltar, terão se passado apenas algumas horas no seu relógio mecânico e biológico, mas para seu irmão, o tempo (biológico e de um relógio) terá sido de séculos; ele estará morto há centenas de anos e você apenas algumas horas mais velho.

A crença popular de que buracos negros são insaciáveis, sugando tudo que está em seu entorno não passa de crença popular mesmo. Imagine por um instante que o Sol fosse comprimido até virar um

buraco negro. O que você acha que mudaria na órbita da Terra? A resposta é: absolutamente nada!! Para corpos que não estejam muito próximos do horizonte de eventos de um buraco negro, ele se comporta como qualquer outro corpo de mesma massa. Ele deformará o espaço-tempo, modificando a trajetória dos corpos que se movam neste espaço-tempo por ele modificado, mas pouco importa para os corpos que o orbitam. Se quem provoca a curvatura do espaço-tempo é um buraco negro ou uma estrela de mesma massa, não faz a menor diferença para a trajetória do corpo orbitante. Há mudança, no entanto, se este corpo resolver se aproximar do buraco negro ultrapassando seu horizonte de eventos. No caso da Terra virar um buraco negro, a trajetória da Lua continuaria a mesma no espaço-tempo curvado pela massa da Terra. No entanto, para a Terra virar este buraco negro, ela teria que ser comprimida até um raio da ordem de dois centímetros, algo pouco provável que aconteça com você aqui para se preocupar com isto.

Nem tudo está perdido, só mesmo a aposta de Hawking

Stephen Hawking é o cientista inglês que hoje ocupa a mesma cátedra da Universidade de Cambridge que já teve ocupantes ilustres como Isaac Newton e Paul Dirac. Algumas pessoas só conhecem Stephen devido a sua moléstia, diagnosticada em 1962, a esclerose lateral amiotrófica, que lhe dava inicialmente uma expectativa de vida de dois anos. Sua disfunção confere-lhe uma aparência peculiar que está reproduzida na Fig. 5.

Os trabalhos de Hawking contribuíram enormemente para nossa maior compreensão do Universo. Em 1974 ele



Figura 5 - Stephen Hawking.

surpreendeu a si e ao mundo quando aplicou a mecânica quântica no estudo dos buracos negros. Sua conclusão foi que eles “evaporavam” emitindo partículas elementares, e esta evaporação ocorreria até possivelmente eles desaparecerem. Para chegar a esta conclusão, Hawking usou o conceito de vácuo quântico: para a mecânica quântica, o vácuo (temperatura de zero absoluto que equivale aproximadamente a $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) tem uma energia residual que é conhecida como energia de ponto zero. Este vácuo seria povoado com partículas virtuais, assim chamadas por serem formadas e aniquiladas aos pares tão rapidamente a ponto de não poderem ser detectadas. Este frenesi de criação e aniquilação de partículas no vácuo é conhecido como flutuação quântica. Quando a criação destas partículas ocorre nas proximidades de

Para que o evento da radiação Hawking possa ocorrer é necessária grande quantidade de energia, que seria fornecida pelo próprio buraco negro. Ao ceder esta energia para separar as partículas virtuais, o buraco negro diminui sua energia até possivelmente desaparecer

um buraco negro, o intenso campo gravitacional pode capturar uma das duas partículas, deixando a outra livre e, desta forma, constituindo-se em uma partícula real. Na visão de um observador distante (na Terra, por exemplo), o buraco negro está irradiando esta partícula criada pela flutuação quântica. Esta radiação é conhecida como radiação Hawking. É interessante notar que quanto maior a massa do buraco negro, menos radiação ele emite. No caso de miniburacos negros, a quantidade de radiação Hawking seria enorme, sendo estes muito mais fáceis de serem detectados através de sua irradiação. Voltaremos aos miniburacos negros mais adiante.

Para que o evento da radiação Hawking possa ocorrer é necessária grande quantidade de energia, que seria fornecida pelo próprio buraco negro. Ao ceder esta energia para separar as partículas virtuais, o buraco negro diminui sua energia até possivelmente desaparecer. Com a descoberta de Hawking, a nossa compreensão dos buracos negros mudou drasticamente: deixamos de compreendê-los como fadados eternamente a aumentar de tamanho para admitirmos a possibilidade do seu desaparecimento com o tempo, emitindo radiação e podendo ser detectados através desta. Em valores aproximados, um suposto buraco negro de “apenas” 100 milhões de toneladas levaria 14 bilhões de anos (aproximadamente a idade do Universo) para evaporar completamente.

Em 1997, Stephen e seu colega norte-americano Kip Thorne fizeram uma aposta contra outro norte-americano, chamado

John Preskill. Hawking e Thorne venceriam a aposta se toda a informação que atravessasse o horizonte de eventos de um buraco negro estivesse perdida para todo o sempre, e a vitória seria de Preskill se de alguma forma houvesse a possibilidade de recuperar uma informação de dentro do buraco negro. A aposta teve que esperar sete anos por um vencedor, que foi anunciado por Hawking em uma conferência em 2004. O anúncio de Hawking foi para declarar que havia perdido a aposta, e que era possível recuperar informação de dentro de um buraco negro devido às flutuações quânticas.

Hawking fez uma grande descoberta, mas teve que admitir sua derrota na aposta. Como bom perdedor, ofereceu o prêmio a Preskill, uma enciclopédia de baseball, mas teve que pagar a conta sozinho, pois Thorne se negou a contribuir para o prêmio por não admitir que a conclusão de Hawking, de que é possível resgatar informações de dentro de um buraco negro, pudesse estar certa. No entanto, não só Thorne discorda da conclusão de Hawking: uma boa parte da comunidade científica continua reticente em aceitar tal posição.

Como resgatar alguém de um buraco negro

Uma fábula, proposta por Lucy Hawking e seu famoso pai, ilustra como seria possível resgatar alguém de um buraco negro, já adiantando que se você estivesse nesta situação precisaria de muita, mas muita paciência. Vamos à história: um cosmólogo construiu um supercomputador que, entre muitas outras, teria a função de promover viagens a qualquer parte do Universo conhecido e de adiantar o tempo. O objetivo do cientista era de encontrar planetas habitáveis no Universo, além da nossa Terra. Certo dia, ele recebe uma carta anônima que fornecia coordenadas de onde poderia existir tal planeta. A carta anônima fora enviada por um cientista rival e as coordenadas que nela continha levavam direto a um buraco negro. Quando o cientista pediu para seu supercomputador levá-lo ao ponto em que a carta anônima indicava, ele foi tragado pelo buraco negro. Antes, porém, ele teve tempo para deixar um livro para sua filha e seu colega de colégio, onde explicava como resgatar alguém de dentro de um buraco negro. Os dois garotos encontraram o livro e não restava alternativa a eles senão seguir as suas

orientações. No livro, o cientista explicava o que acontecia com uma pessoa ao cair dentro do buraco negro. Se a pessoa estivesse na horizontal, os pés estariam mais próximos do buraco negro que a cabeça. Como o campo gravitacional nesta região é gigante, esta pequena diferença de distância seria suficiente para atrair os pés com mais força que a cabeça, fazendo a pessoa ser esticada, “despedaçando-a” ao entrar no buraco negro. No livro, o cientista explica aos garotos que, devido à radiação Hawking, o buraco negro “evapora” tanto mais rápido quanto menor for a sua massa. Os objetos que caíssem dentro do buraco negro, explica o cientista à filha e ao seu colega, são rearranjados na forma de partículas e energia. Ao se examinar as partículas que saem do buraco negro durante a sua evaporação, poder-se-ia reconstituir um objeto que estava dentro dele.

De posse destas informações e do supercomputador, a filha do cosmólogo e seu colega de escola resolvem resgatar o desafortunado cientista de dentro do buraco negro. Para tanto, o supercomputador capturou todas as partículas que saíram do buraco negro quando ele evaporava. Para reconstituir o pai da garota, a máquina teve que “filtrar” as partículas que eram oriundas do cientista. Tal reconstituição deveria ser feita partícula por partícula. À medida que o buraco negro evapora, sua massa diminui e a quantidade de radiação aumenta. Assim, o ritmo de reconstituição da pessoa é aumentado à medida que o tempo passa. Porém, a evaporação do buraco negro pode levar bilhões e bilhões de anos, mas como o supercomputador podia adiantar o tempo, assim ele o fez, filtrando entre todas as partículas emitidas aquelas que eram originárias do cosmólogo. Ao final, quando o buraco negro evaporou por completo e o supercomputador capturou todas as partículas que ele emitiu filtrando as do cientista, ele pôde reconstruir o pai da menina, que ao ser resgatado de dentro do buraco negro abraçou os dois e agradeceu-os, feliz por revê-los. Como o processo de resgate de uma pessoa de dentro de um buraco negro é demorado, fica aqui a recomendação para que se evite cair dentro de um.

Nada brilha tanto quanto os buracos negros

Paradoxalmente, nada no Universo emite tanta radiação quanto um buraco negro. Esta afirmação se explica pela existência de objetos celestes muito pequenos, mas que brilham mais que galáxias inteiras: estamos tratando das quase-estrelas, ou como ficaram conhecidos, *quasares*. Na década de 1960, os astrôno-



Figura 6 - Quasar 3C 273.

mos se depararam com objetos celestes que tinham aparência estelar mas com características distintas das estrelas conhecidas, tais como grande emissão de ultravioleta e de ondas de rádio. Um destes objetos, 3C 273, identificado em 1962, está representado na Fig. 6.

A grande surpresa veio quando os astrônomos conseguiram calcular a distância de 3C 273: 2,2 bilhões de anos-luz! Estava instaurado um grande desafio a todos os cientistas: como um objeto tão distante pode brilhar tanto? Para se ter uma ideia, o brilho deste único objeto é o equivalente a 100 vezes o brilho da Via Láctea inteira. Não se tinha notícia de nada que brilhasse tanto no Universo. Descartou-se a hipótese de que a origem fossem as fusões nucleares, como no caso das es-

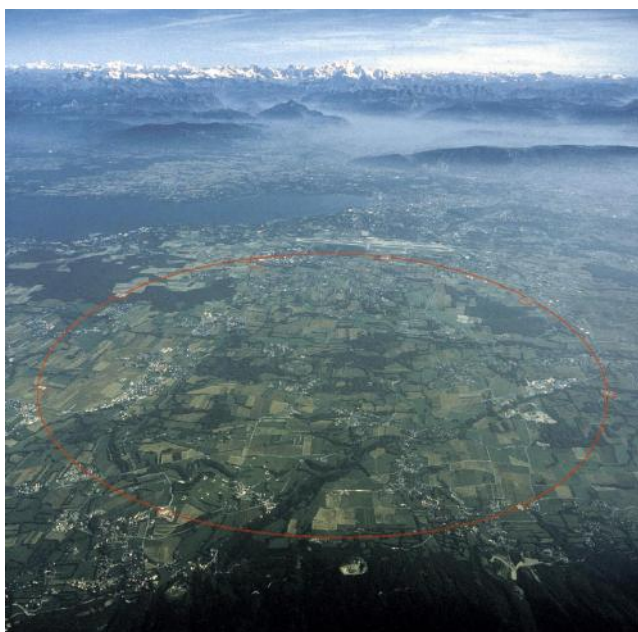


Figura 7 - Vista área do CERN.

trelas, por este tipo de fonte não poder fornecer toda a energia emitida pelos quasares. Deveria haver outro mecanismo. Em 1963, em uma conferência em Dallas, alguns físicos propuseram que a fonte da energia dos quasares poderia estar relacionada com os buracos negros.

Um mecanismo que consolidava a possibilidade de emissão de grandes quantidades de energia foi publicado por Martin Rees, na década de 1980. Tal mecanismo propunha que quando buracos negros supermaciços absorvessem gás e estrelas, eles emitiriam estas grandes quantidades de energia.

Os quasares são, acredita-se hoje, núcleos de galáxias onde existe um buraco negro supermaciço que absorve grande quantidade de gás e estrelas, emitindo energia de acordo com o mecanismo de Rees. Inicialmente acreditou-se que os quasares não faziam parte de galáxia alguma, devido a seu intenso brilho ofuscar o da galáxia. Em um exemplo exagerado, seria o mesmo que querer observar uma lâmpada no lado do Sol.

O céu não é o limite

O CERN é um conhecido produtor de ciência e tecnologia. Entre suas contribuições, pode ser creditada a invenção da rede mundial de computadores, hoje indispensável em nossa sociedade. Uma visão geral do CERN está reproduzida na Fig. 7; é composto por um aglomerado de construções que se estende por 27 km na fronteira entre a Suíça e a França.

Dentro do CERN está o LHC, sigla em inglês para *Grande Colisor de Hádrons*. Sua inauguração se deu em 2008, mas suas operações tiveram de ser interrompidas em razão de um vazamento de hélio ocasionado por um problema de conexão entre seus ímãs. Seu funcionamento em regime máximo deve demorar ainda alguns anos, mas 2008 marca, sem dúvida, um divisor para a física com o início de suas operações.

Dentro do LHC existe a possibilidade de serem detectados miniburacos negros que seriam gerados a partir de choque de partículas altamente energéticas. As condições para a criação destes miniburacos negros são muito específicas; sendo assim, uma

boa parte da comunidade científica não acredita que isto possa vir a acontecer. Mas que existe a possibilidade, existe. Devido a sua pequena massa, os miniburacos negros “evaporariam” rapidamente emitindo grande quantidade de radiação Hawking. A análise do comportamento destes miniburacos negros pode nos auxiliar a entender os buracos negros estelares e supermaciços, além dos quasares.

Alguns cálculos, no início dos anos 2000, chegaram a apontar que quando o LHC operar com sua energia máxima, ele produzirá 100 milhões de buracos negros a cada ano. A massa de cada um destes buracos negros seria na ordem de 22 microgramas e sua vida duraria em torno de 10^{-26} segundos.

É possível que nossos descendentes também declarem 2408 como *ano da astronomia*. O motivo é que 400 anos antes, em 2008, entrara em operação um laboratório que mudou nossa visão do Universo, desta vez até sem necessariamente o auxílio de telescópios, mesmo que estes instrumentos continuem muito úteis para o progresso da ciência. Até então, antes de sua operação iniciar, nosso entendimento do Universo passava necessariamente pela observação celeste através de telescópios. Tudo mudou quando ele começou suas atividades, permitindo-nos entender melhor o funcionamento do Universo dentro de nosso próprio minúsculo planeta. Quem viver verá se tal previsão irá se confirmar!

Agradecimentos

Agradecemos à colega Francieli Socolowski Rodrigues, do IF-SC, pela leitura crítica e ao CNPq.

Leia mais

- J.T. Arantes, (ed) *Stephen Hawking em Busca do Segredo do Cosmos* (Duetto Editorial, São Paulo, 2005).
- L. Hawking e S. Hawking, *George e o Segredo do Universo* (Ediouro, Rio de Janeiro, 2007).
- S. Hawking e L. Mlodinow *Uma Nova História do Tempo* (Ediouro, Rio de Janeiro, 2005).
- G.E.A. Matsas e D.A.T. Vanzella, *Ciência Hoje* **31**(182), 28 (2002).
- K.S. Oliveira Filho e M.F.O. Saraiva, *Astronomia e Astrofísica* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2004).
- D. Sobel, *Os Planetas* (Companhia das Letras, São Paulo, 2006).
- A.A.P. Videira, *A Física na Escola* **6**(1), 83 (2005).
- R. Wolfson, *Simplemente Einstein* (Editora Globo, São Paulo, 2005).



.....

Pedro Magalhães Oliveira

Departamento de Ciências e
Tecnologia, Instituto Superior de
Educação e Ciências, Lisboa, Portugal
E-mail: pedroatmoliveira@gmail.com.

.....

O fenômeno da sustentação aerodinâmica é um caso paradigmático de consolidação e divulgação continuada de erros interpretativos e um dos fenômenos físicos que mais gerações perpassou e durante mais tempo. Tem as suas raízes bem presas na comunidade científica e na sociedade, desde o engenheiro aeronáutico ao comum cidadão, passando pelo professor de física na escola, qual fenômeno secular.

Em 2006, na revista *A Física na Escola*, em um artigo intitulado *A Visão de um Engenheiro Aeronáutico acerca da Sustentação, Bernoulli e Newton* [1], Charles N. Eastlake apresenta a sua visão sobre o mecanismo da sustentação aerodinâmica, nos termos da conservação da massa, da energia e do momento. O artigo foi publicado inicialmente, anos antes, no jornal *The Physics Teacher*. Eastlake é docente na Embry-Riddle Aeronautical University.

O artigo começa com um desafio aos leitores, no sentido de responderem, em estilo de “escolha múltipla”, quais as explicações que consideram válidas para o mecanismo de produção da sustentação aerodinâmica em aerofólios. As explicações passam pela “lei de Bernoulli” e pela(s) lei(s) de Newton. Para o autor do artigo, ambas as explicações apresentadas são verdadeiras.

Volvidos 3 anos após a publicação, foime proposto que apresentasse aqui n’ *A Física na Escola* uma contra-argumentação válida no sentido de denunciar e esclarecer alguns erros de interpretação expostos no primeiro artigo supra referido.

Neste espírito, o presente artigo visa a dirimir o que considero serem erros de interpretação em relação ao mecanismo aerodinâmico. É ainda minha intenção apresentar uma explicação clara sobre o mesmo, ao arripio da deturpação clássica amplamente divulgada, ou melhor das mais variadas deturpações interpretativas, que, por um lado, tanto associam o fenômeno a princípios físicos incompatíveis,

como também, por outro, introduzem concepções que não fazem sentido na realidade física, ou, ainda, que, ao pretendem dar uma visão mais correta acerca do mecanismo, cae(m) em insuficiências e também elas se deixam “contaminar” pela tradição.

Na verdade, a visão de Eastlake, em relação ao mecanismo aerodinâmico – e, atenção, que não me estou a referir à quantificação matemática – não consegue fugir muito à abordagem “clássica”, tal como ainda é divulgado em contexto acadêmico, embora contudo já com alguma “filtragem” em referência a alguns *nonsenses* entre os quais o princípio de “iguais tempos de trânsito” é talvez o seu “mais famoso representante”.

Deste ponto de vista, o autor Eastlake não tem “culpa” nessa consolidação interpretativa de conhecimento científico, porventura menos precisa, para não dizer errada, sobre o fenômeno em análise. Ele até diz que é “a aerodinâmica como ensinada para engenheiros”... e até tem mesmo razão nisso! Vamos por partes...

A utilização abusiva do chamado “princípio de Bernoulli”, na aerodinâmica, e a aplicação inapropriada das leis de Newton do movimento, para explicar o mecanismo da sustentação, têm sido uma constante na literatura contemporânea, um exemplo clássico de esgrima científica e literária sem fim.

Autores como Smith [2] e Fletcher [3] inicialmente publicaram diversos esclarecimentos sobre a boa e a má aplicação do “princípio de Bernoulli”. Mais recentemente, outros autores como Anderson e Eberhardt [4] assomaram-se como os “absolutistas” das leis de Newton, entre outros que surgiram como defensores da abolição do que chamaram ser o “abuso bernoulliano”.

Desde então que a polémica sobre o assunto do mecanismo aerodinâmico se incendiou. Muitas obras e artigos foram

Ao arripio de concepções porventura “clássicas”, o objetivo deste artigo é apresentar uma argumentação válida que explique, clara e convenientemente, o mecanismo da sustentação aerodinâmica. Pretende-se, assim, dirimir interpretações, outrora apresentadas em textos de física, que não fazem sentido quando aplicadas ao fenômeno aerodinâmico, tanto as que por tradição se baseiam em Bernoulli, quanto as que buscam seus fundamentos em Newton.

publicados sobre o assunto. Muitos dos que propuseram substituir o teorema da conservação da energia pelas leis de Newton, acabaram quase sempre por confundir, no fim, o mecanismo da sustentação com os seus efeitos e quantificação matemática. Esta vertente nociva está bem patente, por exemplo, na atribuição da componente *downwash* do escoamento extradorsal à causa da sustentação. Assim, ao tentar-se “exterminar” a “falácia bernoulliana”, por vezes cai-se também em novas “falácias”, o que traz ainda mais confusão para a discussão...

Faça-se, já, uma nota em relação ao cuidado que se deve ter, para não cair em “falácias”, nas diferenças de abordagens. *Mecanismo* da sustentação não é o mesmo que os *efeitos* da sustentação nem ainda a sua *quantificação*. Há que saber distingui-los, e o que está aqui em discussão é o mecanismo e não os seus efeitos ou quantificação.

Conservação do momento

Na visão clássica de Eastlake, a dita lei de Bernoulli é válida como explicação da geração de sustentação aerodinâmica, nos termos da conservação da energia, bem como as leis de Newton nos termos da conservação do momento.

Ora, comecemos pela última vertente explicativa. Em relação à aplicação da conservação do momento pelas leis de Newton, nada há de importante a retificar, pelo que a sustentação produzida é igual à alteração do momento do ar deslocado em sentido descendente por unidade de tempo. Ou seja, a derivada parcial do momento linear em relação ao tempo é igual à massa vezes a derivada parcial da velocidade em relação ao tempo (a aceleração), ou seja

$$F = \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial(m \cdot v)}{\partial t} = m \frac{\partial v}{\partial t} = m \cdot a.$$

A expressão $F = m \cdot a$ é precisamente a 2ª lei de Newton. Quanto maior for a variação do momento do ar no tempo, maior a força de sustentação; quanto maior for a quantidade de massa acelerada, ou, dito de outra forma, quanto maior for a aceleração da massa, maior a força de sustentação. A Fig. 1 mostra a descensão das

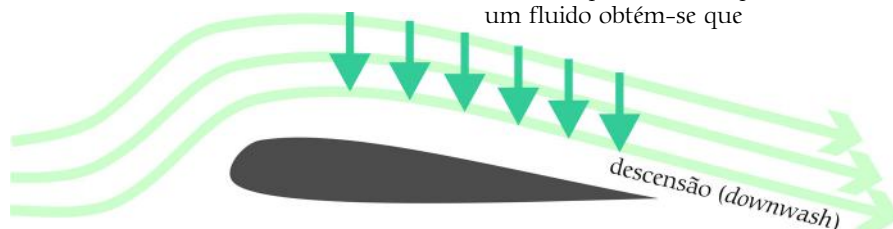


Figura 1 – Efeito da descensão das camadas de fluido adjacentes ao perfil.

camadas de fluido adjacentes com o escoamento em contorno do extradorso da asa.

Mas, se repararmos com atenção, tal como foi chamado à atenção, a igualdade supra apresentada é apenas uma equivalência, ou seja, apresenta uma compatibilidade com a produção de sustentação *mas não é um mecanismo “as is”*. Ou seja, nestes termos, não é correto afirmar que a conservação do momento explica a produção de sustentação.

Conservação da energia

Vamos agora, de seguida, fazer uma breve visita ao físico suíço, Daniel Bernoulli. O comumente chamado “princípio de Bernoulli”, que exprime a conservação da energia mecânica, é ligado, por tradição, ao mecanismo da sustentação aerodinâmica.

Na sua obra *Hydrodynamica*, de 1738, e com base no espírito de algumas figuras apresentadas em Apêndice à obra, Bernoulli aludia à conservação da energia mecânica no sentido em que uma velocidade maior no escoamento de água tinha como efeitos uma diminuição da pressão nas paredes do tubo, uma vez aberta uma secção que permitisse o escoamento do fluido. A forma original da equação, por tradição atribuída a Daniel Bernoulli embora apresentada inicialmente pelo seu colega Leonhard Euler, é escrita como

$$\frac{v^2}{2} + gh + \frac{p}{\rho} = \text{const.}$$

Ela equaciona, em seus termos, a velocidade, a gravidade e a pressão do fluido. Sendo ρ a densidade do fluido (massa volumétrica) constante, ela pode ser reescrita na seguinte forma

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh + p = \text{const.},$$

em que v é a velocidade, g é a aceleração da gravidade, h é a altura dos pontos considerados a um dado nível de referência, e p é a pressão estática.

Esta equação exprime, na forma completa, a conservação da energia mecânica, ou seja: a soma da energia cinética com a energia potencial gravitacional e a energia potencial de pressão é uma constante. Quando aplicada a dois pontos, 1 e 2, de um fluido obtém-se que

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 + p_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2 + p_2.$$

Simplificando a equação, considerando dois pontos situados ao mesmo nível segue que

$$p_2 - p_1 = \frac{\rho}{2} (v_1^2 - v_2^2).$$

Esta última equação mostra que a diferença de pressão estática entre dois pontos de um fluido situados ao mesmo nível é simétrica da diferença de pressão dinâmica (que é uma medida da energia cinética) entre eles. Se $p_2 < p_1$ então $v_2 > v_1$. Esta é a forma da equação tradicionalmente mais chamada de “equação de Bernoulli”.

As “falácias”

A grande “falácia” em relação à geração da sustentação aerodinâmica prende-se com o “princípio de Bernoulli”, ou seja, com a aplicação da conservação da energia mecânica como mecanismo da geração de força de sustentação. Para autores como Weltner [7], a “equação de Bernoulli” deveria ser derivada da aceleração tangencial, pelas equações de Euler que relacionam o movimento do fluido com as leis de Newton. Ou seja, o aumento da velocidade ocorre *em consequência* da diminuição da pressão. Esta demonstração pretende evitar interpretação errada no que toca à relação de causalidade. Sabendo-se a variação da pressão consegue-se calcular a variação da velocidade e vice-versa. Em escoamento livre uma maior velocidade, *de per si*, não causa diminuição da pressão estática. Se a velocidade aumenta, não é pressuposto que a pressão estática diminua, pois esta é igual à pressão atmosférica envolvente, ao contrário do que a “falácia” explicativa do fenômeno elevatório da folha de papel pretende demonstrar (Fig. 2).

Todavia, já se a pressão é menor a jusante no escoamento livre, a velocidade aumenta. Euler demonstrou isto mesmo através de suas equações tridimensionais. A conclusão é a de que o teorema da conservação da energia mecânica - chame-se-lhe ou não “princípio de Bernoulli” ou “equação de Bernoulli” - não consegue explicar a *causa* da diminuição da pressão nem, portanto, o mecanismo da produção da sustentação aerodinâmica.

Já agora, se fosse a maior velocidade do ar sobre o dorso da folha de papel - em analogia ao exemplo exposto acima - a causa da diminuição de pressão, pela conservação da energia, então o fenômeno também deveria poder aplicar-se a condições em que a folha se encontrasse em repouso sobre uma superfície plana sem curvatura, por exemplo, em cima duma mesa. Assim, soprar-se-ia tangencial-

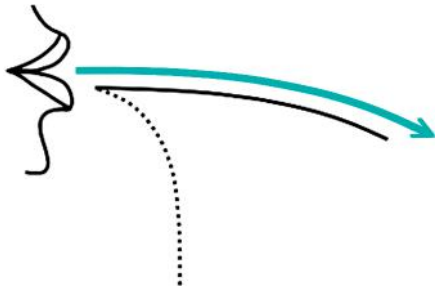


Figura 2 – Fenômeno elevatório da folha de papel.

mente sobre ela e esta elevar-se-ia... Porém, nestas circunstâncias tal coisa já não sucede. Mas, então, o “princípio de Bernoulli” não deveria fazê-la elevar-se, assim como que “por magia”, também?!

Com efeito, não é a maior velocidade do escoamento no extradorso que provoca uma diminuição da pressão estática. Curiosamente, a relação causa-efeito está trocada. Na verdade, o escoamento é acelerado tangencialmente, ou seja, ao longo da linha do extradorso, em consequência de uma diminuição da pressão estática que se dá no extradorso em virtude de uma aceleração radial – a componente da aceleração angular que importa reter na explicação – e não o contrário.

Posto que uma maior velocidade de escoamento, por si só, não causa uma diminuição da pressão estática, vejamos, de seguida, outras duas “falácias clássicas”, usadas para a explicação da maior velocidade do escoamento no extradorso da asa, ainda no espírito da “falácia” maior já aqui apresentada que suporta a aplicação do teorema da conservação da energia mecânica.

A primeira assenta no que ficou chamado de “princípio dos iguais tempos de trânsito”, e que diz que o extradorso tem um bojo ou curvatura maior do que o intradorso, pelo que, uma vez que as partículas de ar do escoamento “são simétricas” entre os dois dorsos e como “têm de chegar ao bordo de fuga ao mesmo tempo”, pela “conservação da massa”, logo as do extradorso “têm de acelerar” para percorrer uma distância maior do que as que escoam pelo intradorso. Ora, tal como Eastlake bem referiu, isto é completamente falso.

A segunda é a “versão venturiana” – chame-se-lhe assim – aqui já defendida pelo próprio Eastlake no artigo, que, à imagem do “tubo de Venturi”, pretende explicar o porquê da aceleração tangencial do escoamento. Ele diz, no artigo, que “as linhas de corrente são espremidas umas contra as outras à medida que o fluxo se divide no bordo de ataque, causando um aumento da velocidade local de acordo

com o princípio de conservação da massa” para depois então, de seguida, aplicar a conservação da energia mecânica, pelo aumento da velocidade, para explicar o mecanismo da sustentação.

Todavia, e apesar das linhas de corrente se aproximarem relativa e imediatamente sobre o extradorso, entre si – como os experimentos com fumo em túnel de vento demonstram – na verdade não faz grande sentido argumentar uma aceleração tangencial do escoamento (pela conservação da massa) para justificar uma “falácia” maior que é, como se disse, a conservação da energia mecânica. Para mais, não obstante a massa do fluido, não existe uma barreira constritiva suficientemente densa ou sólida sobre o extradorso para justificar, por si só, um aumento proporcional da velocidade v do escoamento pela diminuição da área A da “secção” como a equação da continuidade pretende demonstrar para tubagens convencionais.

Até a página educativa do Glenn Research Center prevê esse erro, chamando-lhe *Incorrect Theory #3* [5], apesar da direção final das linhas de corrente, no escoamento pós-bordo de fuga, estarem representadas, na figura que acompanha a referida página, paralelas ao escoamento inicial, quando na verdade deveriam ser sensivelmente tangenciais ao bordo de fuga... outro erro... Na verdade, também esse famoso sítio da Internet não explica propriamente o mecanismo. Outros, muito interessantes, pedagógicos, tais como o do Denker [6] acabam igualmente por não conseguir, no fim, explicar claramente o mecanismo que subjaz à sustentação aerodinâmica, redundando em “Bernoulli” e em “Newton”.

Resumindo, ambas as “falácias” expostas – se assim lhes quisermos chamar – se enquadram, pois, na tentativa de explicar o mecanismo através da conservação da energia mecânica que, como vimos, não faz sentido aqui aplicar. Mais uma vez, uma maior velocidade relativa de escoamento *não causa*, por si só, uma diminuição da pressão, ou, dito de outra forma, não fará sentido tentar aplicar o teorema da conservação da energia para explicar o mecanismo aerodinâmico.

Então qual é o mecanismo?

Independentemente da matemática usada para calcular as forças, e aparte as equivalências à sustentação aerodinâmica, o mecanismo físico explica-se de uma forma muito simples. A força de sustentação é uma pura força de reação. O mecanismo reside na aceleração radial de fluido.

Devido a interações moleculares de adesão, escoamentos de fluido viscoso ten-

dem a aderir a superfícies, o que pode ser chamado de “efeito Coanda” no sentido amplo do termo. Uma coisa que não se compreende é o porquê de não serem feitas referências, na literatura científica sobre a matéria, ao fenômeno de adesão de fluido observado por Henri Coanda logo pelos inícios do século XX. A adesão dos fluidos a superfícies é, a meu ver, o ponto de partida para a explicação do mecanismo físico da sustentação aerodinâmica, uma vez que se não houver adesão, pelo menos no extradorso, não é possível estabelecer-se uma curvatura favorável no escoamento e produzir-se a força aerodinâmica positiva ou *lift*. É certo que no intradorso, em ângulo de ataque positivo, a adesão do fluido ao perfil se torna uma questão secundária e até pouco relevante para a discussão, uma vez que, pelo ângulo do perfil, o fluido é obrigado sempre a escoar mudando de direção, defletindo, e, assim, a produzir força positiva na mesma.

Para além da viscosidade, tal como qualquer fluido, o ar tem densidade ρ ; massa em aceleração radial v^2/r provoca forças: uma força centrípeta no fluido e uma força de reação centrífuga no perfil. É a força centrífuga obtida pela aceleração radial dos elementos de volume de fluido que é a força de sustentação aerodinâmica

$$\rho \frac{v^2}{r}$$

Ou seja, em escoamento livre, *para haver produção de força de sustentação aerodinâmica, tem de haver alteração na direção do escoamento*. Tendo em consideração a equação do mecanismo supra apresentada, o aumento da velocidade é a forma especialmente eficiente de aumentar a sustentação, pelo fato de ser um fator quadrático. O aumento da curvatura do escoamento – que é o mesmo que reduzir o seu raio – conseguido dinamicamente através do aumento do ângulo de ataque, é outra forma possível de aumentá-la, contudo menos eficiente. Finalmente, aumentando a densidade do fluido é outra possibilidade de produzir um acréscimo de força de sustentação. E isto é perfeitamente compatível com o voo invertido, desde que haja, portanto, um ângulo de ataque favorável. Pode haver produção de sustentação em perfis finos, simétricos e até sem curvatura, desde que seja mantido um certo ângulo de ataque com o fluido, de forma a defletir-lo, provocando nele uma aceleração radial.

Não espanta, pois, que, para a maioria dos aerofólios, a maior parte da sustentação produzida no extradorso se dê logo no primeiro quarto da corda da asa, ou seja, na zona em que a curvatura é mais

acentuada, como ilustrado na Fig. 3 onde se pode identificar as zonas em que a magnitude das forças é maior.

Para complementar, a diminuição da pressão estática verificada é uma consequência da aceleração radial de fluido, que diminui no sentido contrário à centrífuga, por reação de equilíbrio, em direção ao centro da curvatura, numa relação já demonstrada na Ref. [7] e igualmente apresentada em outros textos (ver, por exemplo, a Ref. [8]) sobre a matéria, através da seguinte expressão

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \rho \frac{v^2}{r}.$$

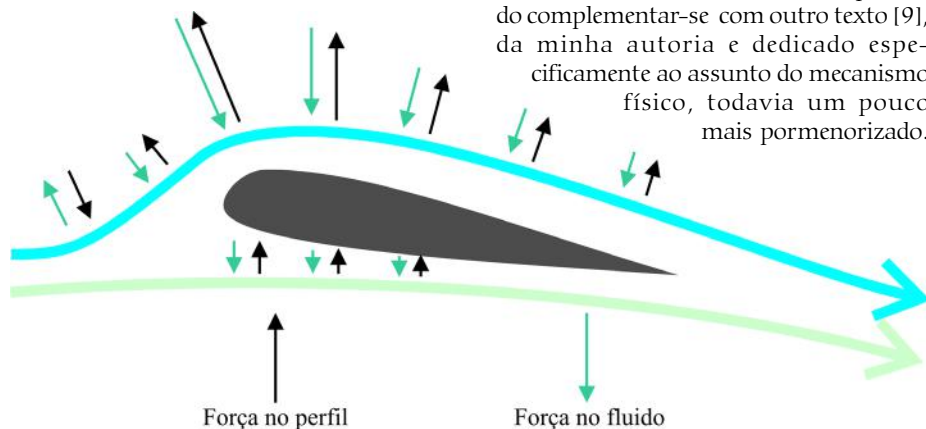


Figura 3 – Força centrípeta e reação centrífuga.

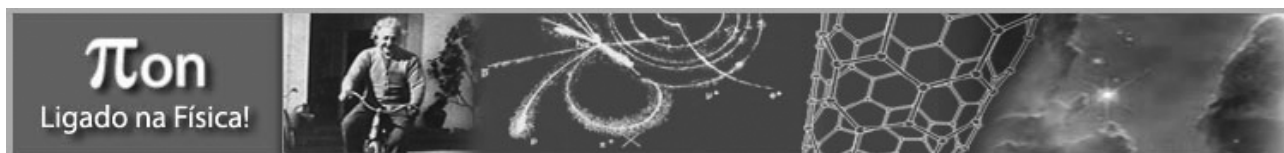
Terminaria dizendo que, apesar de a sustentação ser comumente explicada pela diminuição da pressão estática no extradorso, ou sucção, em oposição a uma sobrepressão no intradorso, não é necessário, sequer, chegar às pressões para se compreender o mecanismo que está à montante e que foi minha pretensão clarificar aqui neste artigo. Assim, numa frase simples e perceptível:

A força de sustentação dinâmica é igual à reação centrífuga gerada na aceleração radial do volume de fluido escoado em torno de um perfil.

Para saber mais sobre este assunto, recomenda-se a leitura da Ref. [7], podendo complementar-se com outro texto [9], da minha autoria e dedicado especificamente ao assunto do mecanismo físico, todavia um pouco mais pormenorizado.

Referências

- [1] C.N. Eastlake, Física na Escola **7**(2), 52 (2006).
- [2] N. Smith, The Physics Teacher **10**, 451 (1972).
- [3] N. Fletcher, Physics Education **10**, 385 (1975).
- [4] David Anderson and S. Eberhardt, *A Physical Description of Flight*, disponível em <http://home.comcast.net/~clipper-108/lift.pdf>.
- [5] Glenn Research Center, <http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/wrong3.html>.
- [6] J.S. Denker, *See How It Flies*, disponível em <http://www.av8n.com/how/>.
- [7] K. Weltner, M. Ingelman-Sundberg, A.S. Esperidião e P. Miranda, Revista Brasileira de Ensino de Física **23**, 429 (2001).
- [8] E. Houghton and P. Carpenter, *Aerodynamics for Engineering Students* (Butterworth-Heinemann, Oxford, 2003), 5ª ed., p. 508.
- [9] P.M. Oliveira, *Sustentação Aerodinâmica - O Mecanismo Físico*, disponível em <http://dited.bn.pt/31619/2606/3184.pdf>.



Professor, você já se cadastrou no PION? O sítio de divulgação e ensino de física da SBF aguarda sua participação. Nele você pode postar suas aulas, atividades de laboratórios, relatos de sala de aula, participar de enquetes e discussões sobre ensino e muito mais:

- Na seção **multimídia**, divirta-se com imagens, charges, vídeo, simulações e áudios sons da natureza, depoimentos e outros ruídos.
- Na página de **eventos**, saiba o que acontece no mundo da ciência.

Acesse

<http://www.pion.sbfisica.org.br>

- Na seção **blog**, em breve diversos especialistas discutirão diversos temas ligados à física. Leia! Comente!
- Na página de **artigos**, encontre textos abordando a conexão da física com temas do cotidiano como música, poesia e tempestades, dentre outros.
- Em **material didático**, encontre dezenas de apresentações englobando as mais diversas áreas da física voltadas para o ensino médio e fundamental.
- Veja na seção de **destaques** o que está acontecendo de mais 'quente' em ensino de física por todo o país.



As regras são baseadas na lei de Newton para acelerar, frear e realizar curvas. A direção da força que a “pista” exerce sobre o “carro” é escolhida pelo piloto, mas o valor dessa força é limitado de forma que o piloto deva prever com antecedência seus movimentos futuros para evitar ser jogado fora da pista. A Fig. 1 mostra uma possível pista desenhada no papel quadriculado. Seu formato pode ser escolhido livremente. Nesse caso, há quatro carros posicionados na linha de partida, indicando quatro pilotos participantes.

Um deles, digamos o de cor azul escuro, começa o movimento até a posição imediatamente à direita, ou seja anda uma unidade horizontal da grade, e marca essa nova posição com sua caneta azul escura. Sua velocidade durante esse movimento é o vetor que liga sua antiga posição à nova, ou seja, o vetor que liga dois pontos azuis sucessivos. Esse vetor será decisivo na determinação do próximo movimento desse mesmo piloto, como veremos adiante. Antes, porém, os demais pilotos fazem

seus movimentos em sequência, da mesma maneira. Nesse estágio, todos têm velocidades iguais.

Depois de todos os pilotos terem feito o primeiro movimento, é novamente a vez do primeiro piloto, o azul escuro, movimentar-se. Sua aceleração é limitada, de forma que a nova velocidade que ligará sua atual posição à futura não pode ser muito diferente do vetor atual. A regra é: a nova velocidade é igual à anterior acrescida ou diminuída de uma

Corrida de vetores é uma antiga brincadeira com papel quadriculado e canetas coloridas que simula uma corrida de automóveis. Dois ou mais participantes correm em uma pista desenhada no papel, cada um identificado pela cor de sua caneta. CUIDADO: pode tornar-se um vício!

unidade horizontal e/ou vertical da grade. A Fig. 2 mostra as posições anterior e atual (círculos menores cheios) e as 9 opções que o piloto azul escuro pode escolher para colocar sua terceira

marca de caneta (círculos maiores abertos). A opção central, por exemplo, corresponde a manter a mesma velocidade anterior e aceleração nula (que também vale). Na verdade, dessas 9 opções, a posição mais abaixo à esquerda já estará ocupada pelo piloto verde no movimento anterior, portanto, o piloto azul escuro não tem essa opção. De qualquer maneira, o piloto azul escuro não iria mesmo escolhê-la porque

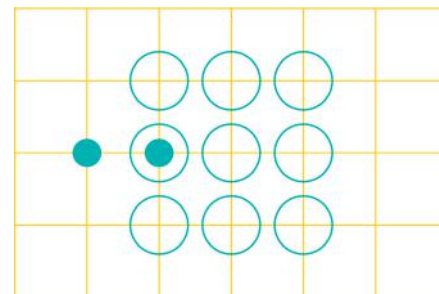


Figura 2 – Posições anterior e atual do piloto azul escuro, e as opções para o terceiro movimento.

estaria andando para o lado em vez de acelerar para a frente. Com certeza ele escolherá uma das 3 opções mais à direita, que correspondem a acelerar o carro nesse início da corrida.

Depois que o piloto azul escuro escolheu sua nova posição, os demais pilotos realizam seus respectivos movimentos na mesma sequência. Também adotam a mesma regra: repetir a velocidade anterior e escolher um dos nove pontos da vizinhança, desde que não esteja ocupada por outro piloto. A corrida continua na mesma sequência. O piloto afoito que acelerar demais poderá ser jogado fora da pista ao contornar uma curva, caso todas as opções disponíveis naquela jogada estejam fora da pista. Nesse caso, o piloto afoito paga o preço de ficar uma rodada sem se mover. Na rodada seguinte, ele parte do repouso na posição da borda da pista onde foi obrigado a sair. O vencedor será aquele que ultrapassar primeiro a linha de chegada, que pode ser a mesma da partida. Divirtam-se.

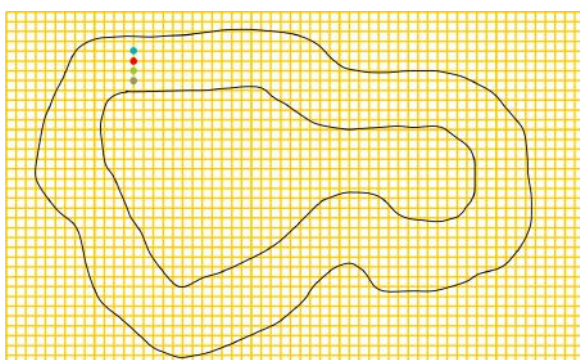
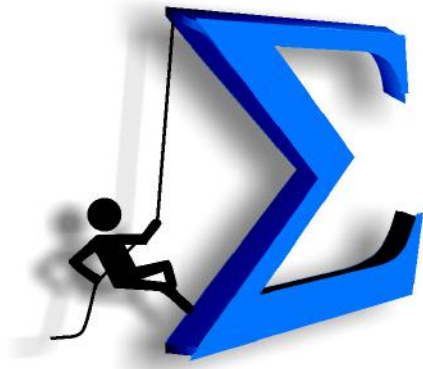


Figura 1 – Exemplo de pista que pode ser construída pelo aluno.

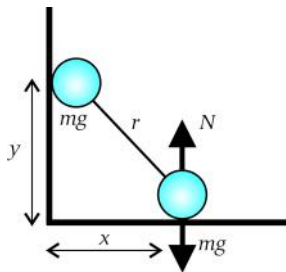
Paulo Murilo Castro de Oliveira
Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Sistemas Complexos,
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mail: pmco@if.uff.br



Problemas Olímpicos

Soluções dos problemas do número anterior

1 Cálculo da velocidade da massa inferior de um haltere apoiado em um plano. Como a força normal na massa do topo é nula e a aceleração da massa do topo é nula no instante em que ela perde o contato com a parede, a tensão na barra neste instante é nula. O diagrama de forças para as duas massas está esquematizado abaixo.



A massa de cima tem uma velocidade para baixo dada por $v = -dy/dt$ e aceleração $g = -d^2y/dt^2$, enquanto a massa de baixo tem uma velocidade para a direita $u = dx/dt$ e aceleração nula. Como o comprimento da barra é fixo, $y = \sqrt{r^2 - x^2}$. Assim

$$v = -\frac{dy}{dt} = \frac{x}{\sqrt{r^2 - x^2}} \frac{dx}{dt} = \frac{xu}{y}$$

e

$$g = -\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{u}{y} \frac{dx}{dt} - \frac{xu}{y^2} \frac{dy}{dt} = \frac{u^2}{y} + \frac{xuv}{y^2} = \frac{r^2 u^2}{y^3}$$

Da conservação da energia mecânica temos

$$mg(r - y) = \frac{1}{2}m(u^2 + v^2)$$

e então

$$y = \frac{2}{3}r \Rightarrow u = \sqrt{\frac{8gr}{27}}$$

2 Cálculo da capacidade térmica de um contêiner contendo metade do volume com um mol de gás ideal monoatômico e outra metade com vácuo. Da primeira lei temos que $dU = dQ - dW$, sendo dU a energia interna do gás, dQ o calor adicionado e $dW = PdV$ o trabalho feito pelo gás. Para gases monoatômicos sabemos que $U = (3/2)nRT$, sendo n a quantidade de moles do gás, que é fixa, R a constante dos gases e T a temperatura absoluta. Assim

$$dU = \frac{3}{2}nRdT.$$

Sendo A a secção transversal do pistão, k a constante de mola e x a distancia do pistão ao lado esquerdo do container, o volume do gás será $V = Ax$ e $dV = Adx$. Como a força exercida pela mola é kx , a pressão do gás é $P = (k/a)x$ e $dP = (k/a)dx$. Portanto, para gás ideal o trabalho será $dW = PdV = (1/2)nRdT$, pois $PdV = VdP$. Substituindo na equação da primeira lei da termodinâmica, resulta $(3/2)nRdT = dQ - (1/2)nRdT$. Como a capacidade térmica é dada por

$C = dQ/dT$, resulta que para um mol de gás $C = 2R \cong 16,6$ J/K.

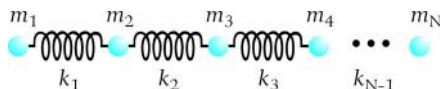
3 Emissão contínua de radiação eletromagnética por três itens (uma lâmpada incandescente apagada, um radiador de calor ligado e uma forma de gelo). Todos os corpos, qualquer que seja sua temperatura, continuam emitindo radiação eletromagnética. A frequência da radiação emitida varia com a temperatura. A regra é que $f \propto T$, sendo f o pico da frequência emitida e T a temperatura absoluta do corpo. Os corpos listados têm temperatura relativamente baixa e como consequência a frequência da radiação emitida é baixa – na região do infravermelho. Aumentando-se a temperatura, a radiação emitida pode ser luz visível.

4 Uma casa pintada de branco e a reflexão da luz solar. Em ambos os casos é uma boa idéia ter a casa pintada de branco. Isso acontece porque a cor branca tem duas propriedades: é um bom refletor e um pobre radiador. Sua boa refletividade é benéfica no verão e sua pobre radiação é benéfica no inverno. Quando a casa é aquecida, por exemplo, ao se ligar uma lareira, sua brancura reduz a radiação emitida para o meio ambiente. Isto mantém o interior mais morno.

Novos problemas

XXIII Olimpíada Internacional de Física – Espoo, Finlândia (1992)

1 Considere uma molécula contendo N átomos com massas $m_1, m_2, m_3, \dots, m_N$, respectivamente. Cada átomo está conectado com seu átomo vizinho por meio de ligações químicas. Cada uma dessas ligações pode ser tratada como sendo molas sem massa que obedecem à lei de Hooke, com valores da constante de mola $k_1, k_2, k_3, \dots, k_{N-1}$, respectivamente, como mostrado na figura abaixo.



- a) Determine a força F_i que atua no i -ésimo átomo como função de $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$.
- b) Determine a relação entre $F_1, F_2, F_3, \dots, F_N$.
- c) Aplique a relação acima para determinar a relação entre a magnitude dos deslocamentos $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ e explique seu significado baseado em conceitos apropriados.

2 Considere um satélite esférico de 1 m de raio que tem sua superfície coberta por uma mesma substância

cia. A temperatura do satélite quando exposto à radiação solar tem o mesmo valor em toda a sua superfície. O satélite está em órbita em torno da Terra, mas não na sombra da Terra. Dados: a temperatura da superfície do Sol, T_{sol} , é aquela de um corpo negro, $T_{sol} = 6000$ K. A distância entre o Sol e a Terra é $R = 1.5 \times 10^{11}$ m. A radiação solar transfere energia térmica para o satélite até que a taxa de energia recebida pelo Sol seja a mesma taxa de energia térmica perdida pelo satélite. Supondo que a radiação de energia de um corpo negro segue a lei de Stefan-Boltzmann, isto é, $P = \sigma T^4$, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$, e que em primeira aproximação ambos, Sol e satélite, absorvem energia em todas as frequências,

a) Determine a expressão para a temperatura T do satélite e calcule o valor de T a partir da expressão obtida.

b) A função de distribuição espectral de um corpo negro segue a lei de Planck, isto é,

$$u(T, f)df = \frac{8\pi k^4 T^4}{c^3 h^3} \frac{x^3}{e^x - 1} dx,$$

sendo $u(T, f)df$ a densidade de radiação

eletromagnética com frequência entre f e $f + \Delta f$, $x = hf/kT$. A integração do espectro sobre todo intervalo de frequência fornece a potência por unidade de área, dado pela lei de Stefan-Boltzmann. Aplicando este princípio para o satélite, necessitamos diminuir a temperatura do satélite o máximo possível. Para atingir este objetivo, engenheiros espaciais inventaram uma substância que reflete a radiação a partir de certa frequência conhecida como frequência limite. O satélite coberto com esta substância absorve totalmente a radiação de frequências menores do que a frequência limite. Se a frequência limite corresponde à temperatura $T = hf/k = 1200$ K, aplique o princípio descrito acima para determinar a temperatura do satélite quando coberto com esta substância. Devido à complexidade da integração, basta fornecer resultados aproximados. Dados: constante de Planck, $h = 6.6 \times 10^{-34}$ J.s; velocidade da luz, $c = 3.0 \times 10^{10}$ m.s⁻¹; constante de Boltzmann, $k = 1.4 \times 10^{-23}$ J/K. O valor máximo de $x/(e^x - 1)$ ocorre quando $x = 2,82$.



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