

A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E A FILOSOFIA DA CIÊNCIA AJUDAM, ATRAPALHAM, OU SÃO IRRELEVANTES PARA O ENSINO DE FÍSICA?

Jenner Barretto Bastos Filho *

Instituto de Física da UFAL e Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
PPGECIM/UFAL

Endereços Eletrônicos: jenner@fis.ufal.br ; jennerbbf@hotmail.com ;
jennerbastos@gmail.com

1. Introdução

Após o término do X EPEF (Encontro de Pesquisa em Ensino de Física) realizado em Londrina, Paraná, no período de 15 a 18 de agosto de 2006, coube-me, a convite de sua Coordenadora, a Profa. Dra. Irinea de Lourdes Batista, a grata tarefa de traçar algumas linhas para introduzir os trabalhos que resultaram dos Resumos e das Falas dos oradores que compuseram a Mesa Redonda que tive a honra de coordenar, intitulada *História e Filosofia da Ciência e o Ensino de Física*. A aludida Mesa realizada na tarde de 17 de agosto de 2006 foi composta pela Profa. Dra. Anna Maria Pessoa de Carvalho da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, pelo Prof. Dr. Olival Freire Júnior do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia e pelo Prof. Dr. João Zanetic do Instituto de Física da Universidade de São Paulo.

Muito frequentemente, os organizadores de um evento, quando têm em mente a composição de uma Mesa Redonda, procuram convidar oradores que tenham pontos de vistas divergentes sobre o tema focado. Isso se dá com o fito de se procurar prover elementos que permitam suscitar sadias polêmicas em que todos, tanto o público participante quanto os próprios componentes da Mesa, se beneficiem sobremaneira com as discussões.

No entanto, não houve divergência alguma sobre a questão da recomendação de que os professores deveriam envidar esforços no sentido de ensinar, cada vez mais, o entrelaçamento da *História e Filosofia da Ciência* (doravante, HFC) com o Ensino de Física (doravante EF). Todos os três oradores se manifestaram como entusiastas deste entrelaçamento. Confesso que também compartilho deste entusiasmo.

Mas há quem pudesse ter se incomodado com tanto consenso. Muitos dos ouvintes-participantes talvez preferissem posições divergentes como, por exemplo, que algum dos três oradores defendesse com ênfase a tese segundo a qual “a HFC atrapalha o aprofundamento dos conteúdos do EF” enquanto um segundo defendesse com ênfase equivalente que “a HFC potencializa e ajuda sobremaneira o aprofundamento dos conteúdos do EF” e um terceiro orador defendesse a tese de que “a HFC nem ajuda nem atrapalha o EF, ou seja, a HFC seria totalmente irrelevante para o EF”. De fato, não assistimos a uma polêmica do gênero simplesmente porque os três oradores foram uníssonos quanto ao aspecto consensual da segunda tese.

* Membro Correspondente da Academia Paraense de Ciências.

Em que pese esse núcleo de consenso, a Mesa Redonda suscitou bastante discussão em virtude dos aspectos diversificados e complementares abordados sobre o tema central.

A Profa. Anna Maria Pessoa de Carvalho expôs os resultados de seu experimento pedagógico que englobou três pesquisas realizadas em escolas estaduais da cidade de São Paulo. Ela insistiu sobre certas características de textos originais que considera importantes para o desenvolvimento do conteúdo escolar, conteúdo esse concebido segundo três vertentes, a saber, a conceitual, a procedimental e a atitudinal. Ela elege para as suas considerações, aquilo que considera como o fator principal no que diz respeito ao ensino destas atividades: *o que aprendem os estudantes*. Como um dos resultados de sua pesquisa, a Profa. Anna Maria defende que a *História da Ciência* e a *Filosofia da Ciência* potencializam melhorias significativas no EF, além de contribuir para despertar vivo interesse nos estudantes.

O Prof. Olival Freire Júnior traz à baila a questão de qual deve ser a *História da Ciência* que interessa à *Educação em Ciências*. Ele argumenta em prol de um retorno a Gerald Holton e sua abordagem conectiva ao Ensino de Ciências. Argumenta ainda que “o êxito dessa abordagem [...] parece residir em não aceitar distinções ‘a priori’ de qual história contribui para o ensino da ciência, mas decidir o que incluir no ensino após o exame da pertinência de cada contribuição para a abordagem didática que se quer desenvolver”. Como uma de suas principais recomendações, ele insiste em que a adoção da perspectiva de Holton pode propiciar mediante pesquisa à literatura da *História da Física*, a incorporação de contribuições recentes e/ou antigas em relação às quais o EF deveria dar conta.

O Prof. João Zanetic, outro entusiasta do entrelaçamento acima aludido, defende a tese segundo a qual: “a formação cultural de qualquer pessoa ficará enriquecida se o EF levar em consideração elementos da história da física, da filosofia da ciência, dos estudos sociais da ciência e o relacionamento da física com outras áreas do conhecimento”. Defende também, a aproximação da Física com a Literatura, destacando a presença da Física em romances, contos, poesias, e peças de teatro. Argumenta Zanetic que o tratamento conjunto de tudo isso provê um melhor EF. Em tom memorial, fez alusão ao dia imediatamente anterior ao da abertura do X EPEF, ou seja, o dia 14 de agosto de 2006, que marcou o cinquentenário da morte de Berthold Brecht. Lembrou ainda a peça *Galileu Galilei* como exemplo privilegiado de algo cuja riqueza, potencializa o desenvolvimento de um EF numa orientação humanista.

Para finalizar esta Introdução mostro como o presente trabalho se encontra organizado. Na seção 2 centrarei minha atenção nos desdobramentos suscitados pelas falas dos oradores bem como pela maneira em que fui tocado pelas mesmas. Na seção 3 centrarei minha atenção na defesa da tese segundo a qual a HFC ajuda e potencializa sobremaneira a compreensão dos estudantes em uma situação que caracterize um EF conseqüente. Argumento que essa compreensão melhorada engloba tanto o conteúdo do EF *stricto sensu* quanto a contextualização cultural, histórica e filosófica da Física. O exemplo escolhido inspirado em célebre citação de Alexandre Koyré se refere à Revolução Científica do século XVII; por se constituir em tema amplo ele será focado aqui apenas sob alguns aspectos. Na seção 4 aprofundo e consubstancio os argumentos da seção precedente e reforço que a compreensão da natureza do que Koyré chama de *prólogo* e de *epílogo* da Física Clássica do século XVII enriquece sobremaneira a própria base conceitual da Física e

que, portanto, é enormemente benéfica para o EF. Na seção 5 darei o fechamento deste trabalho ocasião em que ressaltarei aquilo que considero mais relevante.

2. Desdobramentos suscitados pelas falas dos oradores

No curso do debate foram levantadas muitas questões relevantes entre as quais a seguinte:

-Por que o Projeto Harvard para o Ensino de Física não teve a disseminação que, talvez, deveria ter tido em nosso país?

Deverei dizer, à guisa de esclarecimentos, que o Projeto Harvard perseguia como escopo para o Ensino Médio nos Estados Unidos uma aproximação, e talvez mesmo um entrelaçamento da Física com a História, a Filosofia, a Sociologia e outros campos do conhecimento. Vejo a questão levantada como muito relevante.

Responder a essa questão requer uma investigação genealógica de fôlego que busque encontrar causas. Para a consecução de um programa do gênero, é necessário se ater à história dos debates ocorridos no seio da comunidade dos pesquisadores em Ensino de Física. Uma investigação desse tipo é necessariamente longa, exige um número razoável de pessoas e é complexa em virtude da necessária confrontação entre as diversas concepções adotadas pelos atores sociais envolvidos tais como os professores, pesquisadores, estudantes, as instituições, os governos e as agências que são fontes de financiamento.

O Prof. Dr. Roberto Nardi da UNESP de Bauru vem, há alguns anos, se dedicando ao importante mister de reconstruir a *Memória do EF no Brasil* desde 1970 até então. Soube por Nardi, por ocasião do IX EPEF que teve lugar em Jaboticatubas, MG, em outubro de 2004, que as Atas do primeiro *Simpósio Nacional de EF* realizado em São Paulo de 26 a 29 de janeiro de 1970, constituem documento raro. Como tenho um exemplar dessas Atas (SBF, 1970) e fui testemunha presencial do evento - enquanto jovem estudante de graduação do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia IF/UFBA- lembrei-me que o Projeto Harvard havia sido discutido na ocasião.

A partir da leitura das Atas é possível interpretar algo do espírito de então. É necessário ter em mente que àquela época o Brasil estava mergulhado na fase dura da ditadura militar. É possível que a cautela, com relação tanto às falas que foram transcritas mediante gravação quanto com relação aos próprios textos escritos e transcritos, talvez levemente adaptados, constituam uma tônica ao longo das Atas. Podemos, por exemplo, ler nas Atas aludidas, a seguinte fala do Prof. Giorgio Moscati:

O Projeto Harvard já foi discutido aqui na semana passada e nem todos estavam presentes, mas haverá, hoje, às 17 horas, conferência pronunciada pelo Prof. Watson sobre este projeto. [...] O Projeto Harvard é um projeto de ensino de Física, em que há ênfase, muito maior, ao contrário do que acontece no projeto do PSSC, dos aspectos históricos e da interação "homem-ciência". A origem deste projeto nos EUA está ligada ao fato de que o ensino de Física, lá, não é obrigatório no curso secundário, de modo que grande número de estudantes não opta por este curso no secundário. Uma das soluções encontradas para atrair maior número de estudantes para cursos de Física no secundário foi o de fazer curso de Física que tivesse aspectos mais humanos. (ATAS do Primeiro SNEF, 1970, p. 84)

Assisti à palestra do Prof. Watson. Foi uma apresentação jocosa a fim de cativar corações e mentes. Lembro-me perfeitamente de uma passagem episódica na qual ele argumentava que os fascículos de conteúdo instrucional do Projeto Harvard eram leves, fáceis de carregar e assim não aborreciam os estudantes que não precisavam transportar pesos incômodos. Brincamos com colegas ao lado, ao compararmos tais fascículos com os pesados volumes do *Lectures on Physics* de Feynman, que são livros de capa dura e bem mais incômodos para carregar. Infelizmente a palestra do Prof. Watson não consta das Atas.

Tudo isso me interessou muito vivamente, pois nos meus dois anos iniciais de graduação (1967 e 1968) havia cursado no IF/UFBA as disciplinas *Física Geral e Experimental I e II*, ambas de periodicidade anual¹, com o saudoso Prof. Felipe Serpa. Na ocasião, Felipe, que dirigia o CECIBA (Centro de Ciências da Bahia) usou o PSSC nas nossas turmas, experiência que nos marcou indelevelmente: tanto a mim quanto aos meus colegas de turma. Em 1970 já estava na fase final de minha graduação, cursando as disciplinas finais do bacharelado e interessei-me em fazer o curso do Projeto Harvard, plano, infelizmente não realizado. Desconheço até hoje - e lá se vão 40 anos, completados em janeiro de 2010- as razões pelas quais esse tão esperado e prometido curso não foi oferecido em que pese a minha ansiedade de conhecê-lo e o desejo de confrontá-lo com o do PSSC o qual havíamos acompanhado como uma espécie de turma piloto e do qual havíamos sobremodo apreciado.

Ouvi, tempos depois, colegas falarem em outros congressos dos quais participei, que o espírito do PSSC era empirista, o que, em larga medida, pode ser pertinente. Não que o empirismo seja um defeito em si próprio. Pelo contrário, trata-se de uma ilustre Escola de Pensamento. O que os colegas queriam ressaltar era que uma concepção da complexa atividade científica reduzida simplesmente a uma mera recomendação de que *'fiquemos com os olhos abertos para observar o que a natureza vai nos mostrar como age'*, não consegue dar conta, nem minimamente, de sua inerente complexidade. Evidentemente, uma concepção do gênero não faz jus sequer a um Empirismo mais sofisticado. O que se criticava de fato era a possibilidade de se conceber um empirismo exacerbado e empobrecido que apenas ressalta no contexto do EF um conjunto de experimentos que corroboram teorias numa escolha de seqüência linear na qual as idéias, sejam lá quais forem, somente têm valor, se passadas pelo crivo final do *experimentum crucis*. Polêmicas que são parte importantíssima do confronto de idéias e de teorias perderiam espaço e até mesmo desapareceriam de um EF com uma ênfase exageradamente empirista e conseqüentemente tal EF se empobreceria sobremaneira. No entanto, Felipe Serpa sempre se mostrava atento para nos fazer ver que aqueles resultados que obtínhamos daqueles experimentos excitantes e de baixo custo eram apenas na aparência 'diretos' e 'simples'. De fato, isso se dava em virtude das nossas mentes já estarem armadas e impregnadas de teorias. De outro modo, não veríamos coisa alguma.

Retorno às minhas considerações sobre o Projeto Harvard. Fora a minha decepção pessoal em ver frustradas as minhas esperanças de comparar o que tinha conhecido da Metodologia e dos experimentos dos quatro volumes do PSSC, o que muito me ajudou a compreender vários aspectos da Física, com o conteúdo e a metodologia do Projeto Harvard, dos quais infelizmente não me beneficiei diretamente, perguntaria o seguinte:

¹ Logo depois, com a Reforma Universitária começada em 1968 e inspirada pelo acordo MEC/USAID as disciplinas passaram a ter periodicidade semestral, ao invés de anual.

-Mas enfim por que o Projeto Harvard não vingou no Brasil?

Creio que um subsídio importante para ajudar a responder à pergunta acima seja a lembrança do espírito da época. Um texto lido pelo Prof. Ernest W. Hamburger referente a uma proposta feita a várias instituições de financiamento é instrutivo a respeito. Vejamos, pois:

Atualmente não existe nenhum texto moderno de Física para o curso secundário elaborado no Brasil. Existem textos nacionais do tipo tradicional como os de Antonio de Souza Teixeira Jr., de L. P. Maia, e outros e o texto do PSSC traduzido do inglês, com material fabricado pelo IBEC-FUNBEC. Está sendo traduzido o curso do Harvard Project. Melhor do que traduzir textos estrangeiros será elaborar textos e materiais nacionais. As condições culturais, econômicas e sociais do Brasil são **totalmente** diferentes das dos Estados Unidos ou de outros países desenvolvidos. Não é de se esperar, portanto, que curso projetado para estudantes norte-americanos seja o melhor para estudantes brasileiros. (ATAS do Primeiro SNEF, 1970, p. 85; a ênfase em negrito consta das Atas).

Um pouco mais adiante, lemos:

Nos países desenvolvidos, formam-se [...] grupos de professores, e outros especialistas, subvencionados por fundações, que elaboram cursos novos. É o caso do PSSC e do Harvard Project nos EUA e do curso Nuffield na Inglaterra, para mencionar só casos de Física. Em São Paulo já houve tentativa neste sentido, há alguns anos, como Projeto Piloto da UNESCO. Foi parcialmente bem sucedido, mas os resultados não foram suficientemente aproveitados posteriormente; além disso, trata somente de um assunto restrito, os modelos ondulatórios e corpusculares da luz. (ATAS do Primeiro SNEF, 1970, p. 85).

Como se pode notar, constatava-se que, diante da enorme carência de textos didáticos de Física voltados para o ensino secundário (hoje, ensino médio), a recomendação era a de que não se deveria apenas pautar-se pela experiência de países mais desenvolvidos. Dever-se-ia, principalmente, construir modelos próprios de ensino através de textos e materiais didáticos trabalhados pelos próprios professores e pesquisadores brasileiros.

O Projeto Piloto da UNESCO consistia uma experiência anterior a 1970. Depois vieram outras como o PEF (Projeto de Ensino de Física) e o GREF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física). Sou da opinião de que todos eles tiveram méritos e obtiveram um sucesso relativo, mas é necessário enfatizar que não há panacéias para o Ensino, não apenas de Física, como também de qualquer outra disciplina. E isso é válido para qualquer lugar do mundo. Por melhores que sejam os sistemas educacionais, eles ainda apresentam falhas e lacunas. Temos de abandonar a idéia do perfeccionismo, ou seja, da coisa absolutamente perfeita, pois isso pode dar vazão a fundamentalismos. Sou da opinião de que tudo o que fazemos é recorrentemente incompleto e imperfeito e sempre requer melhorias. Portanto, quanto mais experimentarmos a diversidade séria, no que diz respeito a abordagens e enfoques complementares, tanto melhor caminharemos.

E este argumento tem respaldo nos mundos respectivamente, social e natural.

A democracia genuína pressupõe: o princípio da alteridade (além de mim existe o outro tão legítimo quanto eu); o princípio da tolerância (tudo será tolerado, menos a intolerância como as ditaduras e os fascismos); o princípio da pluralidade (uma pluralidade de idéias e de concepções de mundo é algo mais enriquecedor que a

unanimidade monótona). Logo, a diversidade de opiniões que constroem é desejável. Além dos princípios da alteridade, da tolerância e do pluralismo podemos acrescentar mais um, a saber, o princípio da alternância segundo o qual grupos dirigentes se sucedem, mas respeitando e dando continuidade a Políticas Públicas de Estado como a de combate permanente contra o Analfabetismo e a de sempre se colocar em prol de uma permanente e crescente Inclusão Social que abranja Cultura e Bem Estar para todos.

Também as culturas se beneficiam sobremodo quando estão em evolução permanente e abertas a influências que não comprometam os núcleos duros que constituem suas identidades. A extinção de quaisquer línguas ou dialetos, por menos falados que sejam, é um prejuízo irreparável para a cultura da humanidade, pois desaparecem com isso, e simultaneamente, concepções de mundo. Logo, a diversidade cultural é desejável.

A diminuição das espécies por ações predatórias antrópicas irresponsáveis empobrecem os ecossistemas e o mundo natural como um todo. Logo, a riqueza em diversidade biológica é desejável.

Se fizermos uma analogia entre os mundos social e natural, por um lado, e o mundo do pensamento, por outro, então veremos que enquanto a diversidade de concepções políticas que se toleram mutuamente e se potencializam no diálogo é condição necessária para o enriquecimento da democracia, e a diversidade biológica é condição necessária para a evolução da vida em toda a sua complexidade, também é igualmente necessária para o mundo da Cultura a crescente complexidade dos sistemas de pensamento. Esta reflexão nos conduz à tese, de que a HFC, por um lado, e o EF, por outro, devem se entrelaçar e formar sistemas de pensamento ainda mais complexos. Sem dúvida, propiciarão uma maior qualidade intelectual no sentido lato da intelectualidade. Diria ainda mais. Não apenas esses campos devem se entrelaçar, como também devemos ensejar uma maior aproximação e entrelaçamento dos princípios explicativos causais da Física com as Tecnologias a eles conectadas. Isso ajudaria a entender melhor o mundo em que vivemos. Evidentemente, temos que nos preparar bem mais do que até então nos preparamos e superar as imensas carências de diversas ordens.

Neste contexto, diria que não seria um anacronismo nem uma ex-temporalidade se viermos a introduzir o Projeto Harvard, (ou algo similar, talvez mais atualizado), no contexto do Ensino de Ciências e de Matemática dos tempos de agora. A interdisciplinaridade hoje é bem mais complexa do que de fato o foi há 40 anos. Além de tudo isso, sou do parecer de que não apenas uma aproximação e um entrelaçamento entre HFC e EF sejam altamente enriquecedores como também que haja uma aproximação cada vez maior entre o EF e as Tecnologias Modernas.

Creio que nenhum dos três colegas oradores da Mesa Redonda discordaria desta tese, exceto no que diz respeito a pontos menores. Em suma, pelas Falas expressas e pelos Resumos publicados, a minha interpretação é a seguinte: todos eles consideram que um EF que se utiliza de recursos diversos é potencialmente mais rico e promissor que um EF que se baseia, simplesmente, em um único expediente cognitivo.

Na próxima seção pretendo argumentar, e se possível até mesmo mostrar, que quando estudamos um dado tema sob diversos pontos de vistas e à luz de múltiplas tradições teóricas temos melhores condições de enxergar inúmeros aspectos

importantes. Tais aspectos sequer seriam questionados se nos ativéssemos apenas a um EF tradicional e orientado instrumentalmente para atender a certas demandas práticas que em nome de uma pressuposta eficiência técnica, condena como supérflua tal multiplicidade. Com este propósito em mente, tenho a intenção de explorar, a partir de um belo excerto de Koyrè, o que seriam o *prólogo* e o *epílogo* aos quais ele se refere e os desdobramentos que essa idéia pode suscitar para o enriquecimento do EF quando este se vê contextualizado com aspectos culturais, históricos e filosóficos.

3. Prólogo e Epílogo Celestes: Por que estudar astronomia em conexão com o EF? Por que a HFC potencializa e enriquece sobremaneira o EF conseqüente?

La physique nouvelle ne naît pas seulement sur la terre: elle naît tout autant dans les cieux. Et c'est dans les cieux aussi qu'elle trouve son achèvement. Ce fait – le fait que la physique classique possède un “prologue” et un “épilogue” célestes – ou pour parler un langage plus sobre, le fait que la physique classique naît en fonction de l'astronomie, et en reste solidaire pendant toute son histoire, est plein de sens et gros de conséquences. (KOYRÉ, *Études Galiléennes*, 1966, p. 165).

Aqui, tenho a intenção de defender a tese enunciada abaixo.

TESE: Tenho como objetivo aqui mostrar que a HFC inserida em um EF conseqüente provê tanto uma melhor compreensão dos conteúdos *stricto sensu* da Física quanto das ricas conseqüências de seus desenvolvimentos para a Cultura entendida em um sentido mais amplo, o que permite uma compreensão melhor e bem mais enriquecida do mundo em que vivemos. Para tal vou me valer de um expressivo texto de Koyré, disposto acima em forma de epígrafe a esta seção, o qual também constitui uma reivindicação de que o EF e o Ensino de Astronomia devam estar em íntima conexão.

Em outras palavras, argumento que os estudos astronômicos, em quaisquer que sejam os níveis de escolaridade - e muito particularmente no Ensino Médio - são fundamentais para o entendimento do mundo em que vivemos.

O mote do qual partirei para enfatizar os meus argumentos é aquele do famoso excerto de Alexandre Koyré segundo o qual o nascimento da física clássica tem *prólogo e epílogo celestes* (ver epígrafe a esta seção).

Quanto ao *prólogo* posso perfeitamente considerá-lo como sendo a própria idéia heliocêntrica e assim, adotar para ele a data de 1543 com a publicação do *De Revolutionibus* de Copérnico (COPÉRNICO, 1984). Quanto ao *epílogo*, trata-se da teoria gravitacional de Newton que unifica céu e terra; posso adotar para este extraordinário *epílogo* a data de 1686, quando Newton conclui os seus *Principia*, ou, alternativamente 1687, quando esses foram publicados pela primeira vez. Entre o *prólogo* e o *epílogo*, contudo, há pelo menos dois outros gigantes – Galileu e Kepler – cujas obras seminais conectam maravilhosamente 1543 a 1687.

- O que existe de tão especial neste período histórico de quase um século e meio?

Poder-se-ia argumentar que a idéia heliocêntrica data de uma época muito mais antiga que 1543 e que Aristarco de Samos já houvera argumentado em prol desta idéia. O próprio Galileu ao escrever a sua carta a Cristina de Lorena em 1615 se referiu a Aristarco e a vários outros que precederam Copérnico na idéia heliocêntrica. Galileu se refere aos precursores da idéia heliocêntrica assim:

Nem se deveria julgar temeridade o não acomodar-se com as opiniões já tidas como comuns, nem deveria haver quem tomasse como desdém se alguém não adere nas discussões a respeito da Natureza àquelas opiniões que lhe aprazem, acerca de problemas já há milhares de anos controvertidos entre filósofos da maior grandeza, como é a estabilidade do Sol e a mobilidade da Terra. Opinião esta sustentada por Pitágoras e por toda a sua seita, por Heráclides do Ponto, que foi da mesma opinião, por Filolau, mestre de Platão, e pelo próprio Platão, como relata Aristóteles e do qual escreve Plutarco, na vida de Numa, que Platão, já velho, dizia que sustentar outra opinião era a coisa mais absurda. O mesmo foi crido por Aristarco de Samos, como relata Arquimedes, por Seleuco, o matemático, por Hicetas, o filósofo, como refere Cícero, e por muitos outros. Esta opinião foi finalmente desenvolvida e confirmada com muitas observações e demonstrações por Nicolau Copérnico. (GALILEU GALILEI, [1615], 1988, p.54)

Perguntaríamos, a propósito:

-Se anteriormente a Copérnico tantos já pensaram e emitiram pareceres sobre o assunto, então o que haveria de tão especial em 1543?

-Em outras palavras, o que distinguiria assim tão vivamente Copérnico de todos os seus precursores da idéia heliocêntrica?

Há uma resposta para isso que, a despeito de sua aparente simplicidade, me parece plenamente satisfatória. A resposta é a seguinte: Pitágoras, Heráclides do Ponto, Filolau, Platão, Aristarco de Samos, Seleuco, Hicetas e tantos outros, não tiveram um Galileu como imediato sucessor para defender a idéia heliocêntrica com a elaboração de uma teoria convincente que representasse uma nova física. Copérnico, pelo contrário, teve Galileu. A nova física iniciada por Galileu é, portanto, um dos elos essenciais entre o *prólogo* de 1543 e o *epílogo* de 1687. E isso distingue muito claramente Copérnico de todos os demais precursores da idéia heliocêntrica.

A defesa copernicana do sistema heliocêntrico é, a despeito de seu brilhantismo, profundamente inconsistente e ainda profundamente arraigada a Aristóteles. Para termos uma idéia simplificada deste fato, podemos assim raciocinar, tal como fez Copérnico.

O sistema geocêntrico exige que o céu faça uma volta completa em torno da Terra ao cabo de 24 horas. O sistema heliocêntrico exige que a Terra realize uma rotação completa em torno de seu eixo no decorrer do período de 24 horas. Ora, como Copérnico argumentou -refutando o raciocínio de Ptolomeu de Alexandria- que a Terra é uma pequena poeirinha em comparação com a imensidão do universo, então é muito mais razoável se exigir que a poeirinha rode completamente em torno de seu

próprio eixo no decurso de 24 horas do que exigir que o céu, que é imenso, realize um giro completo em torno da poeirinha no período de 24 horas. Tendo em vista o argumento de Copérnico segundo o qual o céu é imenso em comparação com a Terra, então se fossemos levar a sério a opção geocêntrica de Ptolomeu o Céu realizaria um movimento infinito, mas Copérnico afirma que o infinito, como sustenta Aristóteles², não pode existir. Para detalhes didáticos da crítica de Copérnico a Ptolomeu, ver Bastos Filho, 1995a.

Deste modo, a defesa heliocêntrica de Copérnico³ se baseia⁴ –por mais estranho que isso possa parecer- em Aristóteles o que, evidentemente, não pode servir de ponto de partida para a elaboração de uma nova física que a sustente. Outro aspecto relevante é que Copérnico ainda se encontra ligado à distinção aristotélica entre “movimentos naturais” e “movimentos violentos”, distinção esta que a física de Galileu abolirá. Copérnico ainda se refere ao movimento diurno de rotação da Terra como sendo um “movimento natural” no sentido aristotélico.

A invenção de uma nova física e as descobertas astronômicas de Galileu como a da existência da fase cheia de Vênus, esta última incompatível com o sistema geocêntrico, é que vão dar caráter sólido à defesa do sistema heliocêntrico. Ver, por exemplo, (Cohen, 1987).

A astronomia de Kepler constitui o outro elo essencial na direção do *epílogo*. A astronomia já é heliocêntrica, mas a física ainda é a dos movimentos locais de Galileu. A Física torna-se heliocêntrica com Newton. Deste modo se me for permitido apenas citar os quatro personagens mais relevantes deste processo de um século e meio diria que são Copérnico, Galileu, Kepler e Newton.

Retorno à epígrafe de Koyré. Desde então a física e a astronomia jamais se separaram e hoje, se pensarmos na Cosmologia Moderna, o entrelaçamento de ambas ainda é mais intenso.

As razões para um ensino de astronomia entrelaçado com o da física não apenas são centradas na história como também na epistemologia.

Fazer com que os adolescentes se entusiasmem com os maravilhosos experimentos que podem ser feitos com planetários, sem dúvida, constitui um dos

² No cap. 7 do livro VI de seu livro *Física* intitulado *A Finitude ou Limitação do Movimento*, por exemplo, Aristóteles argumenta: “A partir dessas demonstrações se deduz com evidência que o infinito não pode ser percorrido por uma magnitude finita em um tempo finito...” (Ver Aristóteles, 1964, p. 660). [A tradução do espanhol para o português é de nossa responsabilidade].

³ “Mas porque não se levanta a mesma questão ainda com mais intensidade acerca do Universo cujo movimento tem de ser tanto mais rápido quanto Céu é maior do que a Terra? Ou tornou-se o Céu imenso porque foi desviado do centro por um movimento de força indescritível e acabará por se precipitar também, se parar? Certamente se este raciocínio fosse razoável também a grandeza do Céu subiria até o infinito. Com efeito, quanto mais alto ele for levado pela força de seu movimento, tanto mais rápido esse movimento será devido ao aumento contínuo da circunferência que ele tem de percorrer no período de 24 horas. *Por outro lado, crescendo o movimento cresceria também a imensidade do Céu. Assim a velocidade aumentaria o movimento e o movimento aumentaria a velocidade até o infinito. Mas segundo aquele axioma da Física –o infinito não pode ser percorrido nem movido de forma alguma- o Céu terá necessariamente que permanecer imóvel.*” (COPÉRNICO, 1984, Livro I, Capítulo VIII, pp. 39-40 [originalmente publicado em 1543]; as ênfases em itálico e em itálico e negrito são acréscimos nossos).

⁴ Obviamente a Física a qual Copérnico se refere é a Física de Aristóteles e o argumento é o da impossibilidade do movimento infinito.

mais promissores caminhos para despertar vocações e, por que não dizer, despertar as melhores paixões.

Na próxima seção continuo a consubstanciar os argumentos em prol da Tese que comecei a defender nesta seção.

4. A História e a Filosofia da Ciência atrapalham, ajudam ou são irrelevantes?

Evidentemente todas as três respostas são possíveis. Uma introdução de HFC pode ter lugar em um viés de difícil compreensão e não contribuir tanto para o EF. De fato, não se deseja razoavelmente que um estudante de Física tenha necessariamente que se transformar em um Historiador da Física e nem em um Filósofo da Física e sim, em primeira instância, que ele compreenda a Física de uma maneira que supere o mero aprendizado instrumental e possa dominar e confrontar conceitos. A História e a Epistemologia são de enorme ajuda para alcançar esses objetivos. Se o estudante vier a despertar uma vocação toda especial para se tornar, em futuro próximo, um Historiador ou um Filósofo da Ciência, então a inserção da HFC no EF alcançou esta finalidade que longe de ser um desvio é algo perfeitamente legítimo se bem que essa – é bom enfatizar- não é a finalidade precípua da inserção da HFC para o EF.

Falo a partir da perspectiva de um Professor de Física que concebe a inserção da HFC como excelente expediente cognitivo para melhorar e potencializar o EF e vejo desta maneira a finalidade precípua desta inserção, se bem que tal finalidade não tem necessariamente que ser única nem tampouco exclusiva.

[1] Um primeiro argumento para consubstanciar que a HFC ajuda o EF é relativo à melhoria da compreensão da importância do significado deste *prólogo* de 1543 devido a Copérnico. A HFC presta valiosa ajuda ao estudante de Física de que se trata neste caso de algo qualitativamente diferente de todos os demais “prólogos progressos” de Pitágoras, de Heráclides do Ponto, de Filolau, de Platão, de Aristarco de Samos, de Seleuco, de Hicetas que são apontados na lista de Galileu por ocasião da famosa carta escrita a Cristina de Lorena.

[2] Todos os demais precursores de Copérnico não tiveram quaisquer sucessores imediatos que pudessem justificar, com argumentos suficientemente sólidos, aquilo que afirmavam. Na verdade, não eram sequer “prólogos” de uma nova era e sim realizações importantes de precursores, o que já é algo de grande valor. O *prólogo* de Copérnico difere de todos os demais, pois seu sucessor é Galileu e este inventa a astronomia telescópica em 1609, faz descobertas seminais no campo da astronomia, cria argumentos sólidos em defesa do sistema heliocêntrico e cria uma nova física dos movimentos locais. Trata-se de uma Física inercial que cria conceitos inteiramente novos e opera no contexto daquilo que Koyré chama de *Abolição do Cosmo Grego* e de *Geometrização Euclidiana do Espaço*.

[3] Não se poderá adotar a física de Aristóteles da maneira como fez Copérnico para recusar o movimento infinito. Há que negá-la como fez Galileu. E há que se criar uma nova ciência tanto em nível astronômico ao inventar a astronomia telescópica em 1609 quanto em nível de construção de uma nova física.

[4] As contribuições de Kepler, notadamente as suas três leis são peças fundamentais na ligação do *prólogo* de 1543 com o *epílogo* de 1687.

[5] E as invenções newtonianas dos conceitos de espaço e tempo absolutos, massa, força e da idéia central de unificação entre céu e terra são peças essenciais para o *epílogo* de 1687.

[6] Neste contexto, podemos constatar que a **igualdade**⁵ entre *massa inercial* e *massa gravitacional* aliada à idéia chave de uma constante de gravitação que seja **universal** são, ambas, condições imprescindíveis⁶ tanto para conectar a Teoria da Gravitação de Newton com a Física de Galileu dos Movimentos Locais, quanto para conectar a Teoria da Gravitação de Newton com a Teoria de Kepler constituída pelas suas três leis (respectivamente, das órbitas, das áreas, e dos períodos). Para detalhes, ver Bastos Filho, 1995b.

[7] A partir dos desenvolvimentos já referidos, a conexão entre a Teoria da Gravitação de Newton e a Astronomia de Kepler requer o vínculo

$$\mathbf{G} = 4\pi^2 (\mathbf{K}_{\text{plan}}/\mathbf{M}_{\text{Sol}})$$

Ora, o caráter universal da constante $(\mathbf{G}/4\pi^2)$, que no fundo é a afirmação do caráter universal da constante \mathbf{G} , dado que $(4\pi^2)$ é uma quantidade obviamente universal, necessariamente requer, com base no princípio da identidade da lógica clássica, que a quantidade $(\mathbf{K}_{\text{plan}}/\mathbf{M}_{\text{Sol}})$ seja universal. Como nem \mathbf{K}_{plan} nem tampouco \mathbf{M}_{Sol} são grandezas *per se* universais dado que a constante de Kepler para os planetas vale apenas para os planetas e a Massa do Sol é uma propriedade singular apenas do Sol e não de qualquer outro corpo, então necessariamente se conclui que para \mathbf{G} ser universal, então a relação matemática $(\mathbf{K}_{\text{plan}}/\mathbf{M}_{\text{Sol}})$ tem também necessariamente de ser universal. Em conseqüência deste fato, valem necessariamente as relações,

$$(\mathbf{K}_{\text{plan}}/\mathbf{M}_{\text{Sol}}) = (\mathbf{K}_{\text{Lua}}/\mathbf{M}_{\text{Terra}}) = (\mathbf{K}_{\text{Io}}/\mathbf{M}_{\text{Júpiter}}) = (\mathbf{K}_{\text{Reia}}/\mathbf{M}_{\text{Saturno}}) = \dots$$

[8] Podemos tirar conclusão de teor análogo quando conectamos a Teoria da Gravitação de Newton com a Física de Galileu dos Movimentos Locais. Esta conexão leva à condição vínculo

$$\mathbf{G} = (\mathbf{g}_{\text{Terra}} / \mathbf{M}_{\text{Terra}}) \mathbf{R}_{\text{geom. Terra}}^2$$

Do mesmo modo, \mathbf{G} somente será universal se as quantidades singulares e, portanto, não-universais, respectivamente $\mathbf{g}_{\text{Terra}}$, $\mathbf{M}_{\text{Terra}}$ e $\mathbf{R}_{\text{geom. Terra}}^2$ forem capazes de ensejar uma relação matemática universal.

Em conseqüência, também valem necessariamente para as acelerações das gravidades locais no sentido de Galileu as relações,

$$[(\mathbf{g}_{\text{Terra}} / \mathbf{M}_{\text{Terra}}) \mathbf{R}_{\text{geom. Terra}}^2] = [(\mathbf{g}_{\text{Lua}} / \mathbf{M}_{\text{Lua}}) \mathbf{R}_{\text{geom. Lua}}^2] =$$

⁵ Embora esta extraordinária idéia já apareça implicitamente no processo de unificação newtoniana, a compreensão mais sofisticada da mesma somente foi possível com a introdução do princípio de equivalência devido da Einstein. Tal princípio assevera a igualdade ontológica entre sistemas de referência acelerado e campos gravitacionais.

⁶ Trata de um aspecto essencial que não é enfatizado nos livros-texto. Às vezes sequer é percebido.

$$= [(g_{\text{Júpiter}} / M_{\text{Júpiter}}) R_{\text{geom. Júpiter}}^2] =$$

$$= [(g_{\text{Vênus}} / M_{\text{Vênus}}) R_{\text{geom. Vênus}}^2] = [(g_{\text{Reia}} / M_{\text{Reia}}) R_{\text{geom. Reia}}^2] = \dots$$

[9] Todos os elementos trazidos à baila acima podem ser combinados de modo a nos permitir calcular a aceleração da gravidade local de um dado corpo celeste a partir de dados astronômicos e de dados locais. Deste modo a aceleração da gravidade na Terra, por exemplo, pode ser calculada a partir do raio orbital da Lua em torno da Terra $R_{\text{orb. Lua}}$, do período orbital da Lua em torno da Terra $T_{\text{orb. Lua}}$ e do raio geométrico da Terra $R_{\text{geom. Terra}}$ nos fornecendo o resultado,

$$g_{\text{Terra}} = (4\pi^2 / T_{\text{orb. Lua}}^2) (R_{\text{orb. Lua}} / R_{\text{geom. Terra}})^3 R_{\text{geom. Terra}}$$

Todos os dados do segundo membro da expressão acima são conhecidos, sendo que $(R_{\text{orb. Lua}} / R_{\text{geom. Terra}})^3$ é há muito conhecido dos astrônomos e vale $\approx 60^3$. A aceleração da gravidade local da Terra pode ser calculada desta maneira e seu valor é muito próximo de $9,8 \text{ m/s}^2$. A Unificação newtoniana de céu e terra pode ser assim compreendida. No entanto, tudo isso é permeado de um leque enorme de problemas como adiante argumentaremos.

[10] Tudo isso pressupõe a ação instantânea a distância. Seria viável algo do gênero, ou se trata de um procedimento do tipo *tudo se passa como se fosse*? Seria crível que tudo isso pudesse ser alcançado a partir dos experimentos através de um procedimento indutivo tal com asseverou Newton nos Escólios Finais dos *Principia*? Popper considera isso impossível, o que implica que Newton blefou provavelmente para agradar o *establishment* empirista inglês, agindo em conformidade a uma espécie de corporativismo nacionalista. Nada improvável dado o caráter moral de Newton.

Difícilmente encontraremos combinação mais feliz e recomendável que consiste em lançar mão dos desenvolvimentos históricos no período de 1543 a 1687 juntamente com os problemas epistemológicos a partir deles suscitados com um EF que esteja aberto para tais conexões. E tudo isso pode ser feito com excertos de textos dos próprios autores.

5. Considerações finais a título de conclusão

Há mais de uma década tem-se reivindicado em prol da necessidade de inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Compartilho deste ponto de vista e sou inteiramente solidário com todos os que lutam neste sentido e em prol da minimização dos obstáculos que existem e que sobremaneira dificultam tal inserção. No entanto, esses obstáculos existem igualmente naquilo que concerne à inserção da HFC no EF e também no caso de uma maior aproximação do ensino dos princípios científicos com o conhecimento das tecnologias correspondentes, assunto que não foi abordado neste trabalho. Em suma, pode-se perfeitamente asseverar que o EF é complexo em várias dimensões e não apenas em uma delas.

É bem verdade que o domínio de conteúdos específicos da Física por parte dos professores desta disciplina seja condição imprescindível para um bom EF. No entanto, deve-se igualmente enfatizar que embora isto seja condição necessária, por si só não se constitui em condição suficiente para garantir um bom EF.

Um EF ainda que conduzido corretamente pode se revelar muito lacunar a ponto dos estudantes não se encontrarem em condições de discernir, por exemplo, na bela frase de Koyré qual seja o *prólogo* e qual seja o *epílogo* do processo da Revolução Científica do século XVII europeu. Logo, se a inserção da HFC o ajudar a entender melhor e de maneira mais contextualizada esse processo, então teremos um EF de melhor qualidade em comparação com o que seria um EF sem essa inserção. E assim tal inserção se justifica plenamente a ponto de ser altamente recomendável.

Isso se aplica não somente ao processo histórico aqui referido, como também a vários outros em diversas épocas. Um ensino de eletromagnetismo sem as discussões sobre a história do éter se vê enormemente empobrecido, pois parte importante da cultura foi abolida do curso correspondente. E argumento análogo vige para o Ensino da Física Moderna e Contemporânea. E é desta maneira que entendo que a inserção da HFC no EF deva se constituir.

Desta maneira considero que a defesa de minha tese segundo a qual a HFC ajuda e potencializa um EF conseqüente preparando melhores professores de Física se justifica plenamente. Assevero que muitos outros exemplos podem ser aduzidos além do presente que escolhi inspirado no belo excerto de Alexandre Koyré.

Encerro aqui os meus comentários agradecendo às minhas colegas, as Professoras Doutoras Irinéa de Lourdes Batista, Dominique Colinvaux e Fernanda Ostermann com as quais tive a honra de compor a Comissão Organizadora deste X EPEF. A Mesa a partir da qual atuei foi, sem dúvida, uma excelente contribuição e sinto-me bastante feliz em ter dela participado como coordenador.

REFERÊNCIAS

ARISTÓTELES, 1964, **Obras**, contendo estudo preliminar, preâmbulos, notas e tradução direta do grego por Francisco de P. Samaranch, Madrid: Aguillar

BASTOS FILHO, J. B., 1995a, O Referencial Teórico de Copérnico é a Física de Aristóteles, In: Atas do XI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Sociedade Brasileira de Física (SBF), 23 a 27 de janeiro de 1995, Niterói, Rio de Janeiro, pp. 420-425

_____, 1995b, A Unificação de Newton da Física de Galileu com a Astronomia de Kepler à luz da Crítica Popperiana à Indução, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 17 n. 3, 1995, pp. 233-242

COHEN, I. B., 1987, **The Birth of a New Physics**, Harmondsworth, Middlesex, England: Penguin Books

COPÉRNICO, N., 1984, **As Revoluções dos Orbes Celestes**, tradução portuguesa do texto em latim de **De Revolutionibus Orbium Coelestium** por A. Dias Gomes e Gabriel Domingues e notas de Luis Albuquerque, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian [obra originalmente publicada em 1543]

FREIRE JR., O, 2006, *Da Vantagem do Olhar da Abordagem Conectiva ao Ensino de Física*, Livro de Programas e Resumos do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (X EPEF), Londrina, 15 a 18 de agosto de 2006, p. 27.

GRAF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física sob a Coordenação de Luiz Carlos Menezes, João Zanetic e Yassuko Hosoume), Física-1, Mecânica, São Paulo, Edusp, 5ª. Ed., 1999

GRAF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física sob a Coordenação de Luiz Carlos Menezes, João Zanetic e Yassuko Hosoume), Física-2, Física Térmica e Óptica, São Paulo, Edusp, 4ª. Ed., 1998

GRAF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física sob a Coordenação de Luiz Carlos Menezes, João Zanetic e Yassuko Hosoume), Física-3, Eletromagnetismo, São Paulo, Edusp, 3ª. Ed., 1998

GALILEI, G. 'Carta à Senhora Cristina de Lorena, Grã-Duquesa Mãe de Toscana (1615)', In: *Ciência e Fé (Cartas de Galileu sobre a Questão Religiosa)*, São Paulo, Nova Stella, Instituto Italiano di Cultura, Museu de Astronomia, tradução de Carlos Arthur R. do Nascimento, 1988, pp. 41-81

KOYRÉ, A., *Études Galiléennes*, Paris, Hermann, 1966

NEWTON, I., **Principia (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural)**, tradução brasileira em língua portuguesa do Vol. 1 dos **Philosophiae Naturalis Principia Mathematica**, traduzidos por Triste Ricci, Leonardo Gregory Brunet, Sônia Terezinha Gehring e Maria Helena Curcio Célia, São Paulo: Nova Stella Editorial, 1990 [Originalmente publicado em latim em 1687].

NARDI, R., 2004, *Memória da Pesquisa em Ensino de Física*, Livro de Programas e Resumos do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (IX EPEF), Jaboticatubas, 26 a 30 de outubro de 2004, p. 7.

NARDI, R., 2006, *A Pesquisa em Ensino de Física no Brasil: Interpretações sobre suas Origens e Características*, Mesa de Abertura do X EPEF, Livro de Programas e Resumos do X EPEF, p. 18.

PESSOA DE CARVALHO, A. M., 2006, *História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física*, Livro de Programas e Resumos do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (X EPEF), Londrina, 15 a 18 de agosto de 2006, p. 26.

PROJECTO FÍSICA (Harvard Project Physics), 1980, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

PSSC (Physical Science Study Committee), Editora da Universidade de Brasília, Vols. I, II, III e IV (1964)

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA, 1970, Boletim nº 4, *Simpósio Nacional sobre o Ensino de Física* (ATAS), Salvador, Bahia, dezembro de 1970. (*)

VILLANI, A., 2006, *A Pesquisa em Ensino de Física: Novas Tendências e Perspectivas*, Mesa de Abertura do X EPEF, Livro de Resumos do X EPEF, p. 19.

ZANETIC, J., 2006, *O Ensino de Física e a Formação Cultural*, Livro de Programas e Resumos do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (X EPEF), Londrina, 15 a 18 de agosto de 2006, p. 28.

* O primeiro SNEF foi realizado em São Paulo de 26 a 29 de janeiro de 1970, mas as Atas correspondentes foram publicadas em forma de Boletim da Sociedade Brasileira de Física (SBF) em dezembro de 1970, em Salvador, Bahia sendo compostas e impressas pela Tipografia Beneditina Ltda.