
A CIÊNCIA GALILEANA: UMA ILUSTRE DESCONHECIDA¹

Elder Sales Teixeira
Departamento de Ciências Exatas - UEFS
Feira de Santana-BA
Olival Freire Jr.
Instituto de Física - UFBA
Salvador – BA

Resumo

Este artigo investiga, em um estudo de caso, a compreensão de professores de Física, da escola secundária, acerca da natureza da Ciência Galileana. O resultado obtido, com um percentual de respostas equivocadas ou inconsistentes superando largamente o das respostas coerentes, revela fragilidade no entendimento da mudança conceitual e metodológica representada pela Ciência Galileana face ao Aristotelismo, e evidencia deficiências do sistema universitário sob o qual se formam esses professores. Argumenta-se na conclusão que a formação dos professores de Física conflita com tendências contemporâneas nas quais os aspectos históricos e epistemológicos são considerados parte integrante do ensino de ciências.

1. Introdução

Buscou-se aferir, em um estudo de caso, a compreensão de professores de Física, da escola secundária, acerca da natureza da Ciência Galileana. A escolha deste tópico justifica-se, naturalmente, pela sua relevância para a constituição da Ciência Moderna. O resultado obtido, com um percentual de respostas equivocadas ou inconsistentes superando largamente o das respostas coerentes, revela fragilidade no entendimento da mudança conceitual e metodológica representada pela Ciência Galileana face ao Aristotelismo, bem como da importância dessa Nova Ciência na

¹ . Uma primeira versão deste trabalho foi apresentada no XIV EFNNE (Encontro de Físicos do Norte e Nordeste) promovido pela SBF em novembro de 1996, Aracaju. Os autores agradecem ao PIBIC-UFBA-CNPq o apoio que permitiu a realização desta pesquisa.

formatação do mundo moderno; além de evidenciar deficiências do sistema universitário sob o qual se formam esses professores, onde os aspectos históricos e epistemológicos do conhecimento são subestimados. Tal característica da formação dos nossos professores de Física conflita com tendências contemporâneas nas quais os aspectos históricos são considerados parte integrante do ensino de ciências.

II. A Revolução Galileana

Avaliar a exata natureza da Ciência Galileana tem sido objeto de prolongadas disputas entre cientistas, historiadores e filósofos da ciência, a exemplo de Ernst Mach [1], Alexandre Koyré [2], Ludovico Geymonat [3], Stillman Drake [13], entre outros². A obra de Galileo tem estado na base da controvérsia histórica e filosófica entre empirismo e racionalismo. Esta rica controvérsia não impede que todos atribuam um papel essencial à Ciência Galileana na constituição da Ciência Moderna, que foi um produto do século XVII que mudou irreversivelmente o mundo em que vivemos. Apresentamos, deste modo, de forma sumária, o que pensamos ser elementos imprescindíveis a uma adequada compreensão da Ciência Galileana. Estes elementos orientaram os procedimentos desta pesquisa, inclusive a avaliação de seus resultados.

a) A Revolução Científica do século XVII, só pode ser compreendida se for contrastada com o processo evolutivo de idéias e conceitos que ocorreu ao longo da história, na tentativa de explicar o movimento dos corpos tanto terrestres como celestes, que tem no filósofo grego Aristóteles (século III a. C.) sua principal fonte. Não pretendemos aqui apresentar o conjunto de idéias que constitui a Física Aristotélica; nós dispomos, aliás, em língua portuguesa, de uma boa apresentação didática, feita pelo Professor Pierre Lucie [4]. O ponto que queremos aqui enfatizar é que a Física Aristotélica não pode ser vista como um conjunto de erros e de incoerências. Ao contrário, trata-se de uma elaborada teoria agrupando idéias de forma lógica e coerentemente ordenadas e em concordância com o senso comum. Se assim não fosse, não perduraria como corpo de conhecimentos por tanto tempo - quase 2000 anos. É certo também, que a doutrina aristotélica foi assimilada pela teologia cristã durante a Idade Média, mas esta constatação histórica não deve nos levar a uma diluição do caráter sistemático e coerente daquela doutrina. Apenas como exemplo, lembramos que a recusa à matematização no estudo dos fenômenos sublunares justifica-se plenamente naquele corpo de idéias, pois o mundo é dividido, de um lado, em mundo supra-lunar, o lugar dos movimentos perfeitos, circulares, onde se pode e se deve aplicar a Matemática (a Geometria), pois são movimentos perfeitos, adequados à própria natureza do

² . Zylbersztajn [14], por exemplo, ao nos apresentar ‘um cientista [Galileu] e várias versões’, identifica quatro versões: o Empirista, o Herdeiro da Física Medieval, o Platonista, e o Manipulador de Idéias.

conhecimento matemático e, de outro lado, o mundo sublunar, onde ocorrem as transformações, logo um campo de fenômenos inadequados à aplicação da Matemática. Note-se que as mesmas idéias que recusavam a aplicação da Matemática ao movimento dos corpos na superfície da Terra, sustentavam a sua aplicação no terreno da Astronomia.

b) A Ciência Galileana precisou, para emergir, destruir a concepção de mundo, o cosmos, herdado do Aristotelismo. Giordano Bruno e Nicolau Copérnico minaram as bases deste cosmos, que Galileo e Newton substituíram por um espaço infinito, isotrópico e homogêneo. Além disso, mudou também a forma de produzir os conhecimentos. Galileo busca entender o mundo real através da Experimentação e da Matemática. Com ele, toma corpo uma maneira de se fazer Ciência em que a linguagem matemática se adequa ao estudo dos fenômenos físicos e a experiência matematicamente controlada é usada como critério de veracidade. A matematização da experiência vai apontar a diferença entre o experimento e a simples observação característica da Física Aristotélica. Tudo isso deixa claro, então, a ruptura conceitual e metodológica da Ciência Galileana frente a Física Aristotélica. Ruptura conceitual, uma vez que houve, após dois milênios, uma mudança indiscutível nos conceitos acerca do movimento, com os conceitos aristotélicos sendo substituídos pelos conceitos galileanos do movimento, cujo principal é o de inércia. Ruptura metodológica, sem dúvida, pela transformação que o advento da Ciência Galileana causou na forma de se pensar o mundo e na maneira de se fazer Ciência, que até hoje permanece vigente, introduzindo a matematização e a experimentação, o que tornou a natureza manipulável e desvendável permitindo, como consequência, o advento da Tecnologia.

III. O Ensino e a Revolução Galileana

Procuramos aferir, num caso concreto, a compreensão de professores de Física acerca da natureza da Ciência Galileana. Para isto, foi realizada uma enquete com um grupo de professores de Física de escolas secundárias baianas. Foi realizada uma entrevista com a primeira turma da disciplina “Tópicos de Evolução da Física”, que faz parte do “Curso de Especialização em Física” ministrado pelo Instituto de Física da UFBA. Esta turma era constituída de doze professores (onze da rede secundária de ensino e um professor universitário). São todos licenciados em Física, exceto dois, um químico e um matemático. O fato de se tratar, em sua grande maioria, de professores licenciados na disciplina e que estavam fazendo um curso de Especialização (pós-graduação *lato sensu*), torna este grupo, então, privilegiado em relação ao conjunto de professores que atua no segundo grau. A enquete, realizada no primeiro dia do curso, foi inspirada em enquete realizada por Gil, Senet e Solbes [5] com alunos das escolas secundárias espanholas, e constou das seguintes questões: I - Quais os traços distintivos da Mecânica (Galileo, Newton) face à Física Aristotélica? II - Assinalar o que você considera os principais êxitos da Física Clássica (Galileo a Maxwell).

Para fins de análise, classificou-se as respostas à primeira questão em três tipos: A) Equívocos Importantes - As respostas que não demonstraram nenhuma percepção ou, de outro modo, demonstraram um grande equívoco quanto ao entendimento da ruptura conceitual e metodológica que existiu entre a Mecânica Clássica e a Física Aristotélica. Transcrevemos, como exemplo, duas respostas classificadas deste modo: “A Física Aristotélica auxiliou em muito Galileo e por extensão a Newton na formulação dos fundamentos da Física Clássica” e “Tanto Aristóteles quanto Galileo contribuíram para que Newton elaborasse as leis da Mecânica Clássica”. Ambas revelam o entendimento equivocado de uma “continuidade” entre Aristóteles e Galileo em vez de uma ruptura; B) Incoerentes/Inconsistentes - São as respostas que, embora trouxessem alguma noção da distinção entre a Mecânica Clássica e a Física Aristotélica, trouxeram também contradições e incoerências, revelando certa confusão e pouca clareza nos conhecimentos. Como exemplo, selecionamos a seguinte resposta: “Galileo saiu da contemplação e entrou na fase elementar da experimentação: com uma pequena experiência de polimento de uma superfície, conclui que para um corpo se mover uniformemente, não era necessário a aplicação de uma força constante. Pela falta do experimento, Aristóteles morreu em berço esplêndido sem conhecer a força de atrito”. De fato, esta mudança metodológica é conferida à Galileo, contudo a conclusão a que se refere o professor - que diz respeito ao conceito de inércia - não foi obtida através de experiência, mas sim, via argumentação. Parece ingênuo acreditar que “com uma pequena experiência de polimento”, fosse gerado o conceito de inércia. Ademais, esta resposta revela um desconhecimento da coerência conceitual da doutrina de Aristóteles, pois este tanto tinha a noção de atrito que a utilizou para justificar a transmissão de movimento das esferas celestes; C) Coerentes - São as respostas feitas com discernimento e elaboração, demonstrando clareza acerca da questão tratada; como exemplo transcrevemos, parcialmente, a seguinte resposta: “A Mecânica Galileana-Newtoniana obedece um rigor racional que dominou o renascimento, [suas] leis físicas são regidas por equações matemáticas (...) [ela] se caracteriza pelo determinismo que influenciou toda a história posterior ao século XVI (...), destacou-se na fusão entre as leis celestes e leis terrestres. Já na Física Aristotélica, existe uma separação entre as leis dos Céus e as leis da Terra (...) no mundo dos Céus existe uma perfeição”.

O resultado (plotado no gráfico -I em anexo) foi que as respostas consideradas como equívocos importantes e incoerentes/inconsistentes, somaram 66,7% contra 33,3% de respostas coerentes, o que evidencia uma fragilidade no entendimento geral acerca deste momento de crise na Física que culminou com o nascimento da Mecânica Clássica.

Quanto à segunda questão - assinalar o que você considera os principais êxitos da Física Clássica (Galileo a Maxwell) - as respostas foram semelhantemente classificadas em três tipos: A) Equívocos Importantes - São as respostas que trouxeram equívocos conceituais importantes quanto à noção do caráter de preditividade introduzido pela Física Clássica, bem como do advento da Tecnologia e da concepção

moderna de Ciência e de Universo por ela trazida. Como exemplo deste tipo de resposta, transcrevemos: “As correções relativísticas”. Certamente, estas não foram êxitos da Física Clássica, definida como a Física elaborada entre Galileo e Maxwell, mesmo porque já trazem traços da Física Moderna; B) Inconsistentes - São as respostas que, embora demonstrassem alguma noção acerca da questão, foram pouco elaboradas, superficiais, excessivamente genéricas ou de validade apenas parcial, não trazendo à tona, de maneira consistente, os aspectos essenciais da Ciência Moderna. Exemplo: “O método galileano - método científico - (...), as leis de Galileo-Newton e suas influências em todas as áreas (...), a natureza da luz”. Embora possa se considerar os dois primeiros trechos corretos, certamente a natureza da luz, não foi êxito da Física Clássica posto que não foi um problema completamente resolvido naquele período; C) Coerentes - São as respostas que tocaram nas questões centrais com coerência e elaboração, como por exemplo: “A criação do método científico por Galileo, associado ao desenvolvimento brilhante da Mecânica por Newton a partir do estabelecimento das suas três leis (...), o avanço tecnológico proporcionado pelas descobertas especialmente no campo do Eletromagnetismo”.

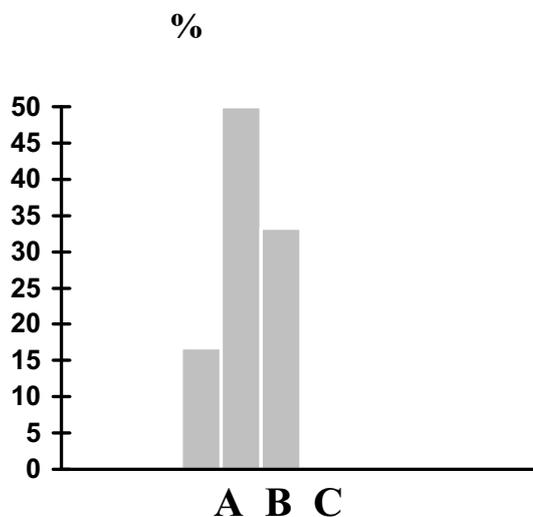
O resultado (plotado no gráfico -II em anexo) foi que as respostas classificadas como equívocos importantes e inconsistentes, somaram 75% contra 25% de respostas coerentes, o que revela um entendimento ainda mais frágil quanto ao que a Física Clássica representou para o mundo moderno e para o próprio desenvolvimento científico.

IV. O Ensino na Contramão da História

Estes resultados evidenciam o quanto é insatisfatório e frágil o nosso sistema universitário de formação de professores de Física, onde os aspectos históricos e epistemológicos do conhecimento estão, em geral, ausentes. Constatar que a Ciência Galileana é uma ilustre desconhecida dos professores de Física corrobora a seguinte observação assinalada por Zanetic [15]: “*Quando a mecânica newtoniana é abordada nos diferentes cursos, tanto no segundo grau quanto nos cursos introdutórios da universidade, os predecessores, os contemporâneos, o ‘Principia’, os sucessores, e mesmo o próprio Newton desaparecem do cenário*”. O que agrava os resultados que evidenciamos é que se tratava de uma turma privilegiada devido à sua qualificação, e à sua reinserção na Universidade, em Curso de Especialização. Concluimos destacando que a formação dos nossos professores de ciências parece estar na contramão das tendências contemporâneas do ensino de ciências. Diversos projetos em curso em países em desenvolvimento convergem em relação à necessidade de que os cursos de ciências sejam mais contextualizados, mais históricos e mais reflexivos. Um balanço do ‘estado da arte’ destes projetos e tendências no início dos anos 90 nos é fornecido em estudo de Michael R. Matthews [6], cuja tradução foi oportunamente publicada no *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. Mais recentemente os países europeus realizaram uma

conferência³, dedicada a “preparar recomendações aos governos, universidades, escolas, e agências de fomento à pesquisa, no sentido de promover o papel da História da Ciência e da Tecnologia nos sistemas europeus de pesquisa e educação”. Há muitos caminhos, e descaminhos, para o chamado ‘primeiro mundo’. O desenvolvimento de uma educação científica generalizada e de qualidade é uma das rotas mais seguras. Tais conclusões se tornam ainda mais relevantes, nos parece, num momento em que se discute a elaboração de novas Diretrizes Curriculares para os Cursos de Física.

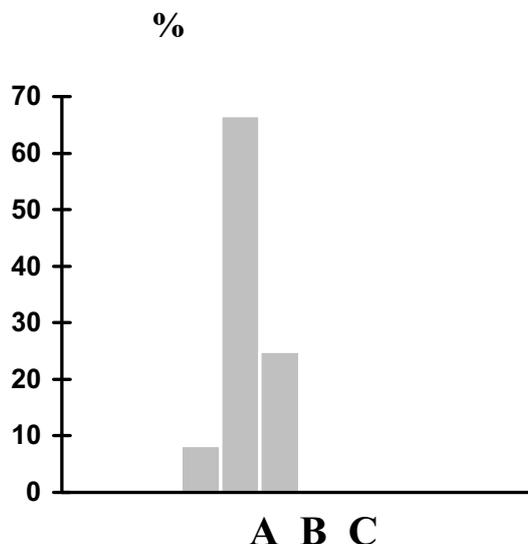
Gráfico I - Distribuição Percentual Das Respostas Da 1ª Questão Segundo Sua Classificação



A - Equívocos Importantes	16,7 %
B - Incoerentes/Inconsistentes	50,0 %
C - Coerentes	33,3 %

³ . Conference – History of Science and Technology in Education and Training in Europe, ALLEA (All European Academies), University Louis Pasteur, Strasbourg, June, 1998.

Gráfico II - Distribuição Percentual Das Respostas Da 2ª Questão Segundo Sua Classificação



A - Equívocos Importantes	8,3 %
B - Inconsistentes	66,7 %
C - Coerentes	25,0 %

V. Referências Bibliográficas

- [1] MACH, E., *Desarrollo Histórico-Crítico de la Mecánica*, tr. J. Babini, Espasa-Calpi, Buenos Aires, 1949.
- [2] KOYRÉ, A., *Estudos de História do Pensamento Científico*, ed. Universidade de Brasília, Brasília, 1982.
- [3] GEYMONAT, L., Experimento e Matemática, in Carneiro, F. L. (org.) - *350 anos dos "Discorsi Intorno a Due Nuoue Scienze" de Galileo Galilei*, Marco Zero, São Paulo, 1989.
- [4] LUCIE, P., *Física Básica*, vol. I, Fundação Cesgranrio, Rio de Janeiro, 1975.
- [5] GIL, D., SENET, F. & SOLBES, J., Física Moderna en la Enseñanza Secundaria: Una propuesta fundamentada y unos resultados, *Revista Española de Física*, 3, 1, (1989).

- [6] MATTHEWS, M. R., History, Philosophy and Science Teaching: The present rapprochement, *Science & Education*, 1, 1992. Publicado pelo *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, vol. 12, nº 3, dez. 1995.
- [7] GALILEI, G., *Duas Novas Ciências*, tr. L. Mariconda e P. R. Mariconda, Nova Stella Editorial, São Paulo, 1988.
- [8] GALILEI, G., *A Mensagem das Estrelas*, tr. C. Z. Camenietzki, MAST, Rio de Janeiro, 1987.
- [9] BASSALO, J. M. F., *Crônicas da Física*, tomo 3, ed. Universitária UFPA, Belém, 1992.
- [10] VASCONCELOS, J. C. R., Um Teorema de Inércia e o Conceito de Velocidade dos *Discorsi* de Galileo, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, Campinas, Série3, 3(1/2), 1993.
- [11] CARNEIRO, F. L., A Experimentação e a Técnica na Obra de Galileo, SBHC, *V Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia*, Ouro Preto, 1955.
- [12] GALILEI, G., *O Ensaíador*, tr. H. Barraco, Os Pensadores, Nova Cultural, São Paulo, 1987.
- [13] DRAKE, S., *Galileo*, Publicações Dom Quixote, Lisboa, 1981.
- [14] ZYLBERSZTAJN, A., Galileu – Um Cientista e Várias Versões, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, nº 5, Vol. Especial, 36-48, jun. 1988.
- [15] ZANETIC, J., Dos “Principia” da Mecânica aos “Principia” de Newton, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, nº 5, Vol. Especial, 23-35, jun. 1988.