



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA  
A CIÊNCIA E A MATEMÁTICA**

CARLOS NOEL MAZIA

**O USO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA:  
O QUE PENSAM OS PROFESSORES**

Maringá – PR  
2014

CARLOS NOEL MAZIA

**O USO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DA FÍSICA: O  
QUE PENSAM OS PROFESSORES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Maringá como requisito para obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência e a Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves

Maringá – PR  
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

M476u Mazia, Carlos Noel  
O uso da história da Ciência no ensino da Física:  
o que pensam os professores / Carlos Noel Mazia. -  
- Maringá, 2014.  
37 f.

Orientador: Profº Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de  
Física, Programa de Pós-Graduação em Educação para a  
Ciência e a Matemática, 2014.

1. Ciência - História. 2. Física - Ensino. 3.  
Alfabetização científica. I. Neves, Marcos Cesar  
Danhoni, orient. II. Universidade Estadual de  
Maringá. Centro de Ciências Exatas. Departamento de  
Física. Programa de Pós-Graduação em Educação para a  
Ciência e a Matemática. III. Título.

CDD 21.ed.530

MGC001128

**CARLOS NOEL MAZIA**

**O uso da História da Ciência no Ensino de Física: o que pensam  
os professores?**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência e a Matemática.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Marcos César Danhoni Neves  
Universidade Estadual de Maringá – UEM

Prof. Dra. Josie Agatha Parrilha da Silva  
Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG

Prof. Dr. Luiz Roberto Evangelista  
Universidade Estadual de Maringá – UEM

Prof. Dra. Polônia Altoé Fusinato  
Universidade Estadual de Maringá – UEM

Maringá, 14 de abril de 2014.

É do buscar e não do achar que nasce o que eu não conhecia.

(Clarice Lispector)

A meu pai (*in memoriam*), pela semente da rebeldia contra a injustiça e a tirania. À minha mãe, pela tenacidade da busca; aos meus irmãos, irmãs e sobrinhos, pelo partilhar da existência.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela minha existência;

Ao Prof. Marcos, que em generosa acolhida, paciente e sabiamente me orientou e apontou caminhos;

À Prof<sup>ª</sup> Polônia, pela amizade, carinho, respeito e incentivo na superação de obstáculos;

Ao Prof. Luiz Roberto Evangelista, pela amizade, fraterna acolhida e incentivo na busca;

Especialmente à Prof<sup>ª</sup> Josie Agatha, em quem encontrei bondade, paciência, sabedoria e profissionalismo;

A todos e a todas que na caminhada compartilharam conhecimentos;

Aos colegas professores, que contribuíram com as entrevistas para a realização desta pesquisa.

MAZIA, Carlos Noel. **O uso da História da Ciência no ensino da Física: o que pensam os professores?** Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e a Matemática – PCM). Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, 2014.

## RESUMO

No presente estudo, objetivamos visibilizar a percepção que um grupo de professores tem acerca da utilização da História da Ciência no ensino de Física na Educação Básica. Para tanto, realizamos uma descrição diagnóstica da resposta da escola aos desafios postos em sua relação com a sociedade e da equivocada forma de enfrentá-los. Discorremos também sobre a necessidade de o professor possuir concepções adequadas sobre a natureza da ciência para um eficiente trabalho voltado à alfabetização científica, enfatizando o uso da História da Ciência nessa tarefa. Analisamos as versões da História da Ciência que fortalecem as visões equivocadas do trabalho científico e os respectivos cuidados na transposição didática. Resenhamos dois projetos americanos de ensino de Física - "antagônicos" quanto à adoção da história da ciência - e dos conteúdos de história da ciência nos livros didáticos e analisamos os discursos de quatro professores relativos à História da Ciência no ensino de acordo com o referencial metodológico da fenomenologia de Husserl. As convergências desses discursos não apontaram para nenhuma resistência quanto ao uso da História da Ciência, mas para a falta de horizontes que poderiam ser visualizados por meio de janelas abertas no viver do dia-a-dia na lide escolar.

**Palavras-chave:** Escola. Sociedade. Alfabetização científica. História da Ciência.



## **THE HISTORY OF SCIENCE IN THE TEACHING OF PHYSICS: WHAT TEACHERS THINK?**

### **ABSTRACT**

Current investigation analyzes the perception that a group of teachers has on the use of History of Science in the teaching of Physics in basic education. A diagnostic description is provided of the school's response to the challenges posed in its relationship with society and ambiguous manner it faces them. Discussions ensue on the need that teachers have to acquire adequate concepts of nature of Science for an efficient work in scientific literacy, with special emphasis on the use of the History of Science in this task. Versions of the History of the History of Science that foreground ambiguous views on scientific work and on the respective caution in didactic transposition are analyzed. Further, U. S. projects on the teaching of Physics are discussed, "contrary" to the adoption of the History of Science, and on the contents of the History of Science in education were analyzed, following the methodological framework of Husserl's phenomenology. The convergence of these discourses did not suggest any resistance with regard to the use of the History of Science, except a lack of perspectives that could be viewed through the open windows of their daily experience in school.

**Keywords:** School, Society, Literacy in Science, History of Science.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Flash múltiplo e estroboscópio – PSSC.....	46
Figura 2	Micrômetro e sua versão simplificada .....	47
Figura 3	Gráfico velocidade x tempo.....	48
Figura 4	Representação gráfica de Oresme do teorema da velocidade média .....	49
Figura 5	Representação gráfica do teorema da velocidade média – PSSC.....	49
Figura 6	Reflexão de pulso de onda circular na água.....	54
Figura 7	Ondas paralelas e circulares na água .....	54
Figura 8	Representação da necessidade aparente de uma força para manter o MRU .....	56
Figura 9	Ilustração do plano inclinado para demonstrar a Primeira Lei – PSSC .....	57
Figura 10	Ilustração do plano inclinado para demonstração da Primeira Lei – PSSC .....	57
Figura 11	Ilustração do plano inclinado para demonstração da Primeira lei – Harvard.....	68
Figura 12	Ilustração do plano inclinado para demonstração da Primeira lei – Harvard.....	68
Figura 13	Ilustração dos argumentos da torre .....	70
Figura 14	As leis de Newton nos lançamentos de satélites.....	70
Figura 15	Retrogradação do planeta Marte .....	72
Figura 16	Capas da coleção Compreendendo a Física .....	86
Figura 17	Capas da coleção Universo da Física.....	88
Figura 18	Capas da coleção Curso de Física.....	88
Figura 19	Capas da coleção Física em Contexto.....	89
Figura 20	Capas da coleção Conexões com a Física.....	91
Figura 21	Capas da coleção Física, Ciência e Tecnologia .....	92
Figura 22	Capas da coleção Quanta Física.....	93
Figura 23	Capas da coleção Física .....	93
Figura 24	Capas da coleção Física Aula por Aula .....	94
Figura 25	Capas da coleção Física Para o Ensino Médio.....	95
Figura 26	Índices dos capítulos da parte I do PSSC .....	127
Figura 27	Índices dos capítulos da parte II do PSSC .....	128
Figura 28	Índices dos capítulos da parte III do PSSC.....	129
Figura 29	Índices dos capítulos da parte IV do PSSC.....	130
Figura 30	Índices dos capítulos da unidade 1 do Harvard .....	131
Figura 31	Índice do manual da unidade 1 do Harvard .....	132
Figura 32	Índices dos capítulos da unidade 2 do Harvard .....	133

Figura 33	Índice do manual da unidade 2 do Harvard .....	124
Figura 34	Índices dos capítulos da unidade 3 do Harvard .....	135
Figura 35	Índice do manual da unidade 3 do Harvard .....	136
Figura 36	Índices dos capítulos da unidade 4 do Harvard .....	137
Figura 37	Índice do manual da unidade 4 do Harvard .....	138

## LISTA DE SIGLAS

BSCS–Biological Science Curriculum Study

FAI–Física Auto Instrutiva

EUA–Estados Unidos da América

MIT–Massachusetts Institute of Technology

NSF–National Science Foundadion

PDE–Programa de Desenvolvimento Educacional

PEF–Projeto de Ensino de Física

PSSC–Physical Science Study Committee

PNLD–Programa Nacional do Livro Didático

URSS–União das Repúblicas Socialistas Soviéticas

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>1 ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA E HISTÓRIA DA CIÊNCIA</b> .....	21
<b>1.1 Alfabetização científica</b> .....	21
1.1.1 Alfabetização científica e cidadania .....	22
1.1.2 A alfabetização científica e os professores .....	24
1.1.3 Dificuldades e obstáculos ao uso da História e Filosofia da Ciência no ensino .....	25
<b>1.2 História da Ciência e natureza do conhecimento científico</b> .....	26
1.2.1 Distorções históricas – quase história .....	29
1.2.2 Simplificação da história.....	31
1.2.3 Falsa história .....	32
<b>1.3 História da Ciência na sala de aula</b> .....	33
1.3.1 A transposição didática .....	34
1.3.2 Conflitos e dilemas .....	36
<b>2 A HISTÓRIA DA CIÊNCIA NOS PROJETOS INTERNACIONAIS E NOS LIVROS DIDÁTICOS</b> .....	40
<b>2.1 Considerações sobre os conteúdos nos projetos internacionais</b> .....	40
2.1.1 Physical Science Study Committee-PSSC.....	40
2.1.2 Harvard Project Physics.....	64
<b>2.2 Considerações sobre os conteúdos de História da Ciência presentes nos livros didáticos de acordo com o Guia do Livro Didático 2012-Ensino Médio</b> ..	84
<b>3 ANÁLISE DOS DISCURSOS DE QUATRO PROFESSORES SOBRE “O QUE É A FÍSICA À LUZ DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA”</b> .....	96
<b>3.1 Unidades significativas e compreensão ideográfica dos discursos</b> .....	98
<b>3.2 A convergência dos discursos</b> .....	106
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	115
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	121
<b>ANEXOS</b> .....	127
Anexo A Índices dos capítulos do PSSC.....	127
Anexo B Índices dos capítulos e dos manuais do Harvard Project Physics.....	131

## INTRODUÇÃO

Atualmente, o mundo assiste a uma escalada vertiginosa na produção científico tecnológica, e pelo comportamento popular podemos observar uma constante evolução dos hábitos sociais, pois a sensação de moderno e revolucionário hoje será vista como ultrapassada amanhã. Na sociedade contemporânea, há um rápido processo de transformação, requerendo também de cada indivíduo constantes mudanças para que possa ser inserido nesse processo, cuja dinamicidade exige engajamento ativo na busca de soluções frente às novas conjunturas, mobilizando os conhecimentos adquiridos para o gerenciamento das informações recebidas e tomadas de decisões. Isso engendra um mundo de competitividade, que se caracteriza pela exclusão de um grande contingente de seres humanos do direito a uma vida plena.

Diante dos graves problemas sociais que observamos no mundo de hoje, surgem questões a respeito do papel da escola, concernentes à sua contribuição para a inclusão ou exclusão daqueles que por ela passam boa parte de suas vidas. Ricardo e Freire (2007) tratam da incapacidade da escola em atender às expectativas dos alunos e apontam para um paradoxo: “[...] ao mesmo tempo em que não há uma adesão ao projeto de escolarização, cresce a demanda por vagas no sistema de ensino” (RICARDO e FREIRE, 2007, p.260). Que respostas a escola tem apresentado àqueles que a procuram? Suas práticas e seus saberes não têm dado conta de responder aos desafios contemporâneos, contribuindo, de acordo com Perrenoud *apud* Ricardo e Freire (2007), para que os jovens acreditem cada vez menos que o sucesso escolar irá protegê-los das dificuldades da existência.

Acredita-se que a ênfase em uma metodologia calcada em resolução de exercícios matemáticos no ensino de Física em detrimento de uma abordagem qualitativa de cunho histórico e filosófico tem como pano de fundo a preocupação dos professores em preparar o aluno para os exames vestibulares, o que se constitui um entendimento equivocado frente às determinações e orientações constantes nos documentos oficiais. Nas Diretrizes Curriculares para o Ensino Médio, essa etapa da educação básica visa à formação geral, em oposição à formação específica (BRASIL, 2000), e tendo caráter de terminalidade (BRASIL, 2000), deve assegurar ao educando a formação comum, indispensável à cidadania, e oferecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores (BRASIL, 2000).

Nesse âmbito, considerando que o Ensino Médio é a etapa final de uma educação geral, significa que nem todos os alunos prosseguirão nos estudos (Ensino Superior); muitos se inserirão no mundo do trabalho. Em vista disso, não tem sentido o enfoque na preparação para o ingresso no ensino universitário. À luz desses documentos, devemos ter em mente que nem todos os alunos serão cientistas e muito menos físicos.

O tempo é outro fator sempre presente nas discussões dos professores sobre suas dificuldades na escolha dos conteúdos a serem trabalhados no período letivo ao elaborarem o plano de trabalho docente. Como administrar essa situação, na qual temos de um lado um vasto conhecimento de Física, acumulado ao longo da história da humanidade e, de outro, a reduzida carga horária prevista para essa disciplina na matriz curricular? Como deve ser um planejamento que contemple o respeito pelo ser do aluno e que atenda aspectos relacionados às exigências legais? (BRASIL, 2006).

Os tempos atuais requerem novas respostas e impõem ao professor o desafio de modificar sua forma de trabalhar sem comprometer a construção sólida do conhecimento em Física. Até que ponto este deve desenvolver o formalismo em Física? Como modificar o antigo currículo e se libertar do livro didático? Que tipo de laboratório faz sentido? Como selecionar temas, cujos conteúdos sejam estruturantes do conhecimento em Física e que ao mesmo tempo contemplem o sentido mais amplo da formação desejada? Respostas para essas indagações devem ser construídas em um contínuo movimento de reflexão, investigação e atuação (BRASIL, 2002). Tão fascinantes quanto o desenvolvimento científico e tecnológico são os diferentes modos do homem reagir diante daquilo que é objeto de sua atenção e que não lhe é conhecido. Os olhares através dos quais os objetos são vistos, os significados que cada indivíduo atribui aos fenômenos, os esquemas imaginados e construídos, visando a provocar, conforme Becker (2009), respostas do objeto de estudo constituem-se em alguns dos muitos elementos que podem subsidiar a discussão da pertinência do uso da História da Ciência no ensino de Física.

A excessiva ênfase no formalismo matemático que grande parcela de professores equivocadamente dá ao ensino de Física tem contribuído para uma sensação de aridez no processo de ensino-aprendizagem e no exílio de indivíduos da possibilidade de se deleitar com a beleza das construções teóricas na explicação do mundo físico. Nesse sentido, se mostram cada vez mais atuais as motivações de James Bryant Conant, que

no final da década de 1940 afirmava que através da História da Ciência as pessoas poderiam compreender melhor os métodos da ciência e promover a inclusão de um maior número de pessoas (MATTHEWS, 1995), ajudá-las a “descobrir” o lado humano da ciência mediante a descrição e a discussão das estratégias imaginadas e criadas pelos representantes da ciência e evidenciar o caráter coletivo do trabalho científico.

O tema da História da Ciência, praticamente ausente nas falas dos professores no cotidiano escolar, favorece a suspeita de que este, embora contemplado de maneira equivocada nos livros didáticos em algumas obras analisadas, não tem merecido a atenção dos docentes que atuam na Educação Básica. Pelo teor das conversas, percebemos que a metodologia utilizada se resume, na maioria das vezes, em consonância com Ricardo e Freire (2007), em memorizar os enunciados dos conceitos físicos e a resolução exaustiva e mecânica de exercícios, sem a devida contextualização e discussão dos conteúdos em uma perspectiva histórica e filosófica.

Enquanto na academia se faz notar um razoável volume de trabalhos resultantes de pesquisas na área de ensino de ciências, conforme exposição da professora Anna Maria Pessoa de Carvalho no prefácio da obra “A necessária renovação do ensino das ciências”, na Educação Básica, conforme Neto (1999), é quase inaudível o eco dessas atividades, privando os docentes de perceber o equívoco de sua visão a respeito da natureza da ciência, do fazer ciência e do ensinar ciência. Tal situação aponta para a necessidade de maior intensificação da interação entre a educação básica e o ensino superior, municiando assim o professor de subsídios necessários à reflexão e à tomada de decisões no seu fazer pedagógico.

Mas até que ponto os fenômenos percebidos e sobre os quais desenvolvemos estas reflexões acontecem de fato? Será que outras pessoas percebem esses mesmos problemas? Qual é a visão que o professor atuante em sala de aula tem sobre o ensino de ciências atualmente em nossa região? Como ele vivencia essa situação e que resposta ele elabora a partir de sua experiência? Tais pontuações nos levaram a conjecturar a existência de uma resistência passiva à proposta de utilização da História da Ciência como estratégia e metodologia no ensino de Física no Ensino Médio. Resistência passiva no sentido de não dominar conhecimentos na área da História e da Filosofia e, por isso, insegurança ao conduzir e mediar um debate em sala de aula sobre a natureza da ciência, sobre como os cientistas trabalham, os contextos em que as teorias foram elaboradas, as implicações sociais e os interesses que subjazem os empreendimentos de pesquisas científicas.



Com estas reflexões, em um primeiro momento pensamos em adotar o título “História da Ciência: há resistência dos professores em utilizá-la no ensino de Física?”, mas no decorrer dos estudos julgamos mais adequado o título “História da Ciência e seu uso no ensino de Física: o que pensam os professores?” face às respostas dadas pelos docentes que contribuíram com esta pesquisa. Assim sendo, no presente trabalho objetivamos visibilizar a percepção que um grupo de professores tem acerca da utilização da História da Ciência no ensino de física, de forma a viabilizar, por parte do aluno, a superação das visões distorcidas sobre a natureza da ciência. Para isto, propomo-nos a resgatar as situações de dificuldades vivenciadas pelo professor em pensar ações voltadas para a alfabetização científica, conforme preconizam os documentos oficiais, buscando na literatura pertinente subsídios de defesa do uso da História da Ciência no ensino de Física na Educação Básica como instrumento de educação científica e enriquecimento cultural; apresentar uma discussão acerca dos inconvenientes do uso de versões problemáticas da história da ciência – história whig – que alijam o ser – professor e aluno – da sua condição de atribuidor de significados aos fenômenos observados; apresentar uma reflexão acerca dos conhecimentos que norteiam os trabalhos de didatização dos saberes produzidos em outras esferas, adequando-os à realidade de sala de aula através da harmonização das exigências da didática das ciências com as prescrições da História da Ciência; descrever de forma sucinta a apresentação dos conteúdos em dois projetos internacionais de ensino de física – Physical Science Study Committee e Havard Project Physics – e em alguns livros didáticos aprovados pelo Ministério da Educação, enfatizando a maneira como a História da Ciência é contemplada nas referidas obras e analisar os discursos dos professores que contribuíram para a realização da presente pesquisa, visando a captar a essência de seu pensamento sobre o que é a Física à luz da História da Ciência.

Nesta pesquisa, buscamos respostas a algumas questões que surgiram no exercício da profissão, na perspectiva do educador comprometido com a dimensão ética do ser professor. Para esses docentes, que direcionamento dar ao ensino de Física para ir ao encontro dos anseios de jovens e adultos de se inserir em uma sociedade em constantes mudanças? Veem no uso da História da Ciência a possibilidade de que os alunos passem a nutrir simpatia pela disciplina de Física e assim atribuir significados ao que lhe é proposto aprender? Que juízo os profissionais de ensino fazem de sua

formação frente à realidade de sala de aula e à necessidade de uma constante busca de respostas aos desafios que se sucedem no exercício da profissão?

Optamos por uma metodologia de pesquisa ancorada na fenomenologia de Edmund Husserl e em trabalhos de Neves (2005), que procuram a compreensão dos fenômenos a partir da realidade vivenciada pelo professor, de seu mundo vida, em que o sujeito atribui significados às coisas e as explica. Considerando que a História da Ciência tem o potencial de resgatar o ser que foi exilado do processo de compreender o mundo físico e de “contribuir para a formação de uma visão mais adequada sobre a construção do pensamento científico” (MARTINS e BRITO, 2006, p.245), buscamos apoiar o presente estudo em trabalhos de Allchin (2004), Klein (1972), Lombardi (1997) Matthews (1995), Whitaker (1979), Martins (2006), Forato, Pietrocola e Martins (2009; 2011; 2012), Gil-Pèrez (2005) e Bastos Filho (2012).

Fazemos referência às rápidas e profundas transformações pelas quais o mundo e a sociedade passam atualmente. De acordo com Carvalho (2012), percebemos a existência de uma sensação de otimismo proporcionada pela escalada vertiginosa dos progressos científicos, tecnológicos e econômicos, mas ao mesmo tempo um sentimento de pessimismo pela ausência de referenciais e de sentido da vida. O divórcio entre as produções técnico-científicas e a preocupação quanto aos objetivos e consequências dessa empreitada humana contribui para a degradação das condições de existência para uma considerável parcela da humanidade, dissipando assim o tão acalentado sonho ao longo dos anos até o início do século XX, de um mundo caracterizado pela qualidade de vida e pela paz entre os homens.

Laterce (2008) assinala que, nos idos de 1935, em uma de suas últimas conferências, o fenomenólogo Husserl externou sua preocupação quanto às consequências do expurgo do subjetivismo do fazer ciência, prevendo um dilema que verificamos fidedignamente nos dias atuais: “é possível fazer e não cogitamos para que fazer”. Tudo isto tem suas raízes na busca da verdade do mundo através dos fatos conhecidos pela observação e pela experiência. A leitura equivocada do “fazer ciência” de Galileu, na visão de Husserl (2002), resvalou para a matematização da natureza, ensejando o desenvolvimento hegemônico do empirismo e do positivismo, correntes que enfatizavam a objetividade, a comprovação experimental e as interpretações de dados totalmente depurados de elementos de subjetividade. Na acepção de Neves (2005, p.24), "O estabelecimento da ciência pós-Galileo, com o “método” de Descartes e com a obra fundamental de Newton, os Principia, em busca de uma realidade objetiva e

determinista, aboliu a importância do ser na observação dos fenômenos".

Quando a aurora do século XX se fez anunciar, a física clássica tinha alcançado um nível de desenvolvimento a tal ponto que este veio acompanhado de um otimismo epistemológico, levando alguns físicos a pensar que pouco restava para a Física ser completa. De acordo com Neves (2005, p.29), "[...] as aplicações da concepção mecanicista de Newton cresceram até atingir os limites das complexidades de um mundo subatômico impenetrável e desconhecido [...]". Essa crença na capacidade da Física em responder a questões até então caiu com os resultados da experiência de Michelson-Morley e a questão da distribuição de energia na radiação do corpo negro. Um grande número de fenômenos ainda carecia de explicação, além da pendência de problemas teóricos e conceituais. Instalou-se, então, a crise no paradigma newtoniano.

Entretanto, antes mesmo da Física entrar em crise, as Ciências Humanas já estavam nela mergulhadas, mais especificamente a Psicologia. Conforme Neves (1991, p.31), a crise na psicologia parece ter advindo de sua tentativa em se moldar ao sabor do paradigma cartesiano, e "[...] Esta pretensão de que a verdade do mundo apenas se encontra naquilo que é enunciável no sistema de proposições da ciência objetiva", criticada por Husserl, está na origem da crise das ciências, por substituir o mundo da vida pela natureza idealizada, através da matematização. Husserl *apud* Zilles (2002, p.31) registra que "[...] para superar esta crise, é necessário recuperar a concepção de homem que tem como centro o sujeito racional, fundado não nos fatos, mas na razão. O homem não é mero fato mundano, mas o lugar da razão e da verdade, a subjetividade transcendental".

Necessário se faz um retorno às coisas das quais o homem foi exilado. Um voltar-se à origem, ao mundo da vida, mundo experimentado pelo homem, mundo que se traduz em uma realidade rica, polivalente e complexa, construída pelo homem. Portanto, o mundo da vida é também história, cultura, linguagem, valores, etc. Esse retorno às coisas é preciso para recuperar, segundo Neves (2002, p.26), "[...] a visão da experiência direta do sujeito conhecedor", uma vez que ele foi colocado "fora do sistema de referência do conhecimento na perspectiva do positivismo". É necessário irmos ao ser do sujeito (o professor) para resgatarmos o conteúdo de sua observação por meio da descrição que ele faz do fenômeno por ele observado e assim procurarmos desvelar as essências dos discursos que possam nos ajudar a entender a visão dos professores sobre o uso da História da Ciência no ensino de Física. Esse contato do pesquisador com o pesquisado constitui-se em um encontro intersubjetivo que pode

ensejar a concretização dos objetivos da investigação, pois Neves (2005, p.47) argumenta que "[...] é na intersubjetividade que o mundo do ser e da ciência podem ser entendidos".

Acerca da importância da subjetividade na busca da compreensão do mundo, Borrego Huerta (1999, p. 140) comenta que

[...] Por um lado, o positivismo busca a compreensão das causas dos fenômenos sociais, independentemente da subjetividade dos indivíduos. A fenomenologia, por sua vez, procura entender esses mesmos fenômenos a partir do ponto de vista da pessoa que os experimenta<sup>1</sup>.

O positivismo foi um movimento filosófico que, conforme Brandão (2011, p. 80), “[...] assentava-se na ideia de que a ciência é o nosso único meio de construção do conhecimento verdadeiro, ou seja, pregava uma espécie de primazia da ciência em detrimento de outras formas do conhecimento humano”. Tal corrente filosófica enfatizava que o verdadeiro conhecimento era fruto da razão e do método científico<sup>2</sup>.

É necessário irmos ao ser do sujeito porque ele é um atribuidor de significados ao fenômeno em sua interação com o mundo que o envolve. Tais significados emergem do discurso do sujeito, por meio do qual se mostra e se evidencia seu existir. Para possibilitar a coleta de dados, que são as descrições do fenômeno e com estas desvelar suas essências, é necessário efetuar a redução fenomenológica ou epoché, que consiste em deixar de lado os preconceitos que dizem respeito ao fenômeno e ao sujeito entrevistado, colocando-os entre parênteses, significando uma suspensão provisória do julgamento de quem investiga. Para entendermos o fenômeno, são necessárias leituras atentas dos discursos para que possamos realizar a redução fenomenológica e obtermos as unidades de significado. Nas palavras de Neves (2005, p.51),

De cada discurso, lido e relido com a atenção necessária, são excluídos os trechos de discurso ingênuo, aqueles que comportam aparentes inessencialidades. Dessa exclusão, brotam as primeiras unidades de significados – trechos dos discursos que podem revelar as essências do fenômeno posto em questão.

A partir das descrições dos fenômenos que observamos em nossa vivência, empreendemos uma reflexão referente a aspectos do cotidiano escolar que permitem uma leitura segundo a qual nos deparamos com alunos insatisfeitos com o ensino que

---

<sup>1</sup> Original em espanhol. Tradução do autor.

<sup>2</sup> Ver seção 1.2.

lhes é ofertado e com professores sem horizontes para pensar e buscar uma nova prática educativa. Assim, compusemos o presente trabalho de dois capítulos ancorados em referenciais teóricos e um terceiro que consiste da análise dos dados coletados.

No primeiro capítulo, desenvolvemos uma reflexão em torno da temática da alfabetização científica, bem como, dos obstáculos enfrentados pelos professores no exercício da profissão, enfatizando a busca de saberes que superem a visão deformada da ciência como requisito para um trabalho voltado para a educação científica. Desenvolvemos uma reflexão acerca dos argumentos que apontam para a pertinência do uso da História da Ciência no ensino de Física, discorrendo sobre os cuidados com as versões históricas que podem contribuir para fortalecer visões distorcidas da ciência. Apresentamos uma reflexão sobre a história *whig*<sup>3</sup>, pseudohistória, quase história e falsa história e uma discussão acerca dos saberes que norteiam o trabalho do professor de buscar ou produzir materiais com conteúdo de História da Ciência, adequados ao nível cognitivo dos alunos. No segundo capítulo, apresentamos comentários e análises relativas aos conteúdos de dois grandes projetos internacionais de ensino de Física – Physical Science Study Committee e Havard Project Physics – e sobre alguns livros didáticos recomendados pelo Ministério da Educação. No terceiro capítulo, analisamos os discursos dos professores sobre a questão *O que é a física à luz da história da ciência*, procurando captar a essência de seu pensamento acerca do uso da História da Ciência no ensino de Física na Educação Básica.

Buscando uma forma de se contrapor à hegemonia do pensamento positivista na ciência, defendemos o uso da História da Ciência no ensino de Física nas seções do capítulo 1. Nestas, foram trabalhados os temas da alfabetização científica, da relação entre Matemática e Física, da transposição didática e das prescrições historiográficas. Tal proposta, embora defendida por uma considerável parcela de professores, via de regra, não tem se materializado na prática dos docentes, por motivos diversos.

Buscamos saber o que pensam os professores sobre essa temática. Dos diálogos captados de uma sala dos professores de uma escola, é preponderante a presença da visão positivista de ciência e a correspondente ausência de referência ou defesa do uso da História da Ciência no ensino de Física. Contudo, ao nos debruçarmos sobre a análise

---

<sup>3</sup> Em meados de 1931, Herbert Butterfield cunhou o termo *whig* em um livro *The whig interpretation of history*, no qual, de acordo com Prestes (2010), ele desenvolveu um ensaio sobre a tendência de muitos historiadores produzirem relatos distorcidos, centrados no presente, como uma oposição a um “relato propriamente histórico”. Na época do ensaio, o termo era aplicado às versões que enalteciam, não o progresso em geral, mas o triunfo progressista das instituições representativas inglesas e liberdades condicionais.

dos discursos de quatro docentes sobre “*O que é a Física, à luz da História da Ciência*”, deparamo-nos com sujeitos que, embora presos às limitações impostas pelo cotidiano da escolar, têm consciência da necessidade de se buscar alternativas ao ensino tradicional. Enquanto um socializa o êxito de sua escolha pelo uso da História da Ciência, outro externaliza sua revolta pela precariedade da formação e das conjunturas que o mantém preso num mundo que tende a sufocar qualquer ousadia de imaginação e criatividade.

## **1 ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA E HISTÓRIA DA CIÊNCIA**

Reelaborar um conceito físico por meio da História da Ciência é uma estratégia que pode favorecer o enriquecimento cultural do aluno, pois além de possibilitar a compreensão da relação entre o conhecimento físico e a matemática, permite ao aluno tomar contato com outras áreas do conhecimento humano, auxiliando-o a ter uma visão adequada acerca do conhecimento científico e a exercitar a imaginação e o pensamento crítico. Nesse sentido, a História da Ciência pode contribuir na alfabetização científica do sujeito, capacitando-o a ter um olhar crítico sobre os acontecimentos sociais e a participar ativamente de discussões relativas a aplicações de técnicas e produtos científicos que afetem a vida das pessoas.

A busca consciente da promoção da alfabetização científica da população leva a volver o olhar para o interior das escolas, buscando compreender os fenômenos que lá ocorrem à luz da Lei de Diretrizes e Bases da Educação, dos Parâmetros Curriculares e de trabalhos resultantes de pesquisas de ensino realizados no âmbito da educação superior.

### **1.1 Alfabetização científica**

Um dado que se constitui em obstáculo para que a escola seja capaz de responder aos desafios do mundo moderno é a falta de um referencial que possa nortear a reflexão dos professores sobre sua prática. A título de exemplo, há um diálogo de surdos no âmbito da escola que põe a nu uma situação na qual não ocorre aprendizado de fato. De um lado, o professor, que exprime sua decepção porque o aluno não aprende os conteúdos abordados, e de outro, alunos que reclamam das dificuldades em aprender o que foi trabalhado em sala de aula.

O ambiente escolar, mais notadamente a sala dos professores, tem se constituído

no espaço no qual vem à tona situações de frustração e insegurança por parte daqueles que se debruçam sobre os resultados de seu trabalho. O que poderia se constituir em uma salutar autocrítica, via de regra, acaba sendo uma tentativa de fazer uma apologia da metodologia utilizada na abordagem dos conteúdos, transferindo para o aluno a responsabilidade pelos fracassos apresentados. É comum ouvir relatos de profissionais de ensino que denotam frustrações, tais como: “falei tantas vezes a eles (aos alunos) que nos exercícios de Física basta apenas substituir as variáveis das fórmulas pelos seus respectivos valores numéricos. Mas mesmo assim apresentaram esse péssimo resultado”; ou “fulano não consegue aprender Física porque não domina os conhecimentos matemáticos necessários” e outros “desabafos” que nos permitem delinear a concepção que o professor tem de ciência e de ensinar ciência.

A busca de explicações para o fracasso em atingir os objetivos propostos e as dificuldades enfrentadas no ensino de Ciências frequentemente acabam levando os docentes a atribuir as dificuldades dos alunos em aprender os conceitos de Física às deficiências nos conhecimentos matemáticos estudados em séries anteriores, visão que, para Pietrocola (2002, p.90), “[...] reflete um posicionamento epistemológico ingênuo, acaba-se por atribuir à segunda a função de instrumento da primeira!”.

Ricardo e Freire (2007) aventam que essa falta de clareza dos professores sobre a relação entre a física e a matemática se reflete na concepção que os alunos têm dessas disciplinas no Ensino Médio. A fala de alguns alunos envolvidos em um trabalho realizado por esses pesquisadores em escolas públicas do Distrito Federal, reproduzidas a seguir, traduzem as dificuldades dos educandos em distinguir a Física da Matemática: “Não há diferença nenhuma entre física e matemática, porque tudo acaba em cálculo”; “quase nenhuma (diferença), a física é praticamente a matemática, só que com menos cálculos de raciocínio”; “Não gosto de estudar física. É um assunto muito cansativo, e como envolve cálculo, fica mais chato estudar às vezes”. No exercício de nossa profissão, ouvimos de uma aluna o seguinte comentário: “A física é a matemática disfarçada”. Esse juízo que os alunos fazem a respeito dessas disciplinas aponta para um ensino de Física reduzido à resolução de exercícios com demasiada ênfase na matematização, dissociado, conforme Ricardo e Freire (2007, p. 255), “[...] de qualquer discussão conceitual dos princípios físicos envolvidos”.

### 1.1.1 Alfabetização científica e cidadania

A cada início de período letivo, os professores que atuam no Ensino Médio se

deparam com numerosas turmas de adolescentes no período diurno e no noturno, e com adultos que, conforme Ricardo e Freire (2007), retornam aos bancos escolares esperançosos de encontrar uma escola que, atenta às transformações do mundo moderno, dê conta de municiá-los com saberes sintonizados com a contemporaneidade, que lhes possibilitem o pleno exercício da cidadania.

Aos conscientes de seu compromisso com a função social da escola e da responsabilidade em corresponder às expectativas dos que a procuram, apresenta-se a tarefa de pensar e formular objetivos educacionais a partir das contradições de uma sociedade que, conforme Duarte (2004), é dita "sociedade da informação e do conhecimento", mas que comporta em seu seio cidadãos com baixo nível de conhecimento científico, apesar de já terem passado pelo processo de escolarização. Tal constatação nos permite concluir que a educação científica, nos moldes como vem sendo realizada, não tem dado conta de formar cidadãos com os saberes necessários e adequados aos novos tempos. Nesse sentido, de acordo com Gil-Pérez (2005, p. 20),

[...] mais do que nunca, é necessário fomentar e difundir a alfabetização científica em todas as culturas e em todos os setores da sociedade, ..., a fim de melhorar a participação dos cidadãos na tomada de decisões relativas à aplicação de novos conhecimentos.

Em conformidade com Praia, Gil-Pérez e Vilches (2007) e com as orientações curriculares (BRASIL, 2002), importa formar cidadãos que detenham não só conhecimentos dos processos científicos, mas também uma cultura geral que lhes proporcione uma visão adequada das questões que afetam o mundo moderno, tendo uma consciência crítica e solidária na tomada de decisões. Entre os saberes necessários que fazem parte dessa cultura científica, na perspectiva deste estudo estão aqueles que se referem à natureza do conhecimento científico, ao contexto de sua produção e à não neutralidade da ciência. Na concepção de Duarte (2004, p. 317), "[...] estarão os professores preparados para enfrentar esse novo desafio?".

Esse enfrentamento requer professores que se sintam inquietos com os indicativos das avaliações realizadas, e impelidos a um exercício de autocrítica que os leve a uma insatisfação com sua prática e a assumir atitudes investigativas ao procurar novas formas de trabalhar. Esse direcionamento passa pela complexa tarefa de seleção, organização e abordagem de conteúdos visando a uma alfabetização científica que contemple, segundo Auler (2003), o tratamento dos conceitos científicos de forma articulada com discussões epistemológicas, o que contribui para a superação de visões



deformadas da natureza da ciência e enseja a problematização de construções históricas que transmitem a equivocada ideia de neutralidade da ciência. A concretização dessas intenções educacionais remete para a necessidade de se contextualizar o ensino de ciências, enfatizando aspectos relativos à natureza do conhecimento científico, a questões políticas, econômicas e sociais que direcionem os trabalhos dos cientistas e o processo pelo qual passaram os conhecimentos que hoje são aceitos como científicos. Tal percepção contribui para a defesa do uso da História da Ciência no ensino de Física na Educação Básica, o que, na visão de Duarte (2004, p. 317), "[...] aparece como uma dimensão importante na promoção da cidadania e do conhecimento das ciências como cultura".

### 1.1.2 A alfabetização científica e os professores

Silva *et al.* (2008) pontuam que a persistência de mitos no imaginário popular sobre a ciência se deve à ação das instituições de ensino, que abrigam em seus quadros profissionais que apresentam concepções inadequadas referentes à natureza da ciência. De acordo com as pesquisadoras, "[...] O professor, ao projetar uma imagem da ciência como produto acabado e não como um processo que envolve seres humanos e contextos, acaba por criar/reforçar a imagem da ciência enquanto atividade neutra, imparcial e superior [...]" (SILVA *et al.*, 2008, p. 500). Então, para o sucesso dos esforços envidados na direção de uma educação científica que, conforme Gil-Pérez (2006), supere o reducionismo conceitual, buscando modificar a imagem deformada da ciência, faz-se necessário atentar para a realidade dos professores que foram formados nos moldes dos currículos mais antigos, os quais até então não contemplavam estudos relativos à História e Filosofia da Ciência. Nessa perspectiva, El-Hani (2006) cita a recomendação de pesquisadores no sentido de buscar promover mudanças de concepções epistemológicas dos professores por meio de uma abordagem de conteúdos epistemológicos e de História e Filosofia da Ciência. Tal recomendação se reveste de importância se for considerada a atuação interviente do professor no trato com o conhecimento prévio dos alunos, pois em consonância com Gil-Pérez (2005, p. 38), se os professores forem portadores de "visões empobrecidas e distorcidas, acabam contribuindo para o desinteresse por parte de muitos estudantes e por consequência, convertendo-se num obstáculo para a aprendizagem".

Ainda citando Gil-Pérez (2005), mesmo que ocorram mudanças nas concepções

epistemológicas dos professores, isto não significa que todos mudarão suas práticas. Para El-Hani (2006, p. 11), a interferência das aprimoradas concepções epistemológicas dos professores em suas práticas pedagógicas depende de vários fatores de acordo com o contexto escolar, de modo que é necessário, mas não suficiente, que o docente detenha concepções válidas sobre a ciência.

### 1.1.3 Dificuldades e obstáculos ao uso da História e Filosofia da Ciência no ensino

Quem se engaja no trabalho de alfabetização científica e vislumbra na História da Ciência um promissor recurso, com potencial para atrair a adesão e o interesse dos educandos ao projeto de escolarização, não pode se deixar contagiar por um otimismo ingênuo, acreditando que o uso dessa disciplina possa ser a panaceia para as graves questões que afetam a educação científica. Não pode ignorar também que existe um caminho cheio de pedras, que se traduzem, conforme Martins (2007), em lacunas relativas à História e Filosofia da Ciência na formação dos professores que já atuam há mais tempo na sala de aula; na falta de material pedagógico adequado; nas dificuldades de leitura e interpretação de texto por parte dos alunos e nas dificuldades dos professores em identificar material de boa qualidade. Assim, apesar do consenso entre os educadores e pesquisadores em ensino de Ciências sobre a importância da História da Ciência na Educação Básica, são muitos os obstáculos que dificultam seu uso no ensino de Ciências. Martins (2006, p.xxiii) as elenca em três principais barreiras:

- (1) a carência de um número suficiente de professores com formação adequada para pesquisar e ensinar de forma correta a história das ciências; (2) a falta de material didático adequado (texto 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.

Frente à forma equivocada com que os livros didáticos, na sua maioria, tratam a História da Ciência, como denunciam Martins e Brito (2006); Martins (2006); Batista, Mohr e Ferrari (2007); Pagliarini (2007) e Blini (2010) e a falta e/ou dificuldades de acesso aos trabalhos de pesquisas oriundos das experiências com essa disciplina no âmbito da academia, conforme Freire Jr. (2002), o professor se vê muitas vezes impelido a produzir materiais sobre História da Ciência, elaborando textos, desenvolvendo sequências de atividades didáticas, correndo, assim, sérios riscos de, segundo Gil-Pèrez *et al.* (2001, p. 126) transmitir "[...] visões empírico indutivistas da ciência que se distanciam largamente da forma como se constroem os

conhecimentos científicos [...]". Essa tarefa requer que o professor desenvolva hábitos de pesquisas e que detenha, entre outros, conhecimentos referentes aos requisitos da historiografia atual da História da Ciência e das exigências da didática das ciências, não perdendo de vista, de acordo com Forato, Pietrocola e Martins (2011, p. 30), "que qualquer narrativa histórica encerra uma visão de ciência e dos processos de sua construção". A esse respeito, Martins (2006, p. xxiii) se reporta à existência de

[...] um certo número de pessoas que dão aulas de história da ciência sem ter uma formação adequada e que, por isso, podem nem saber distinguir um bom livro de um péssimo livro de história da ciência - que podem, por esse motivo, transmitir uma visão totalmente inadequada da história da ciência [...].

Para minimizar esses riscos, o professor deverá estar atento aos aspectos que caracterizam a História da Ciência como pseudo-história, quase-história e falsa história, cuidando para não incluir em seu texto elementos que distorçam a História da Ciência e que estão presentes em muitos livros didáticos. Forato, Pietrocola e Martins (2011, p. 36) comentam que num artigo publicado em 2004, Allchin defende que o educador deveria entender as distorções mais comuns, pelo menos por meio de alguns exemplos, para poder reconhecer os sinais de alerta em um texto histórico problemático, denominado pseudohistória, que se traduzem em "[...] relatos romantizados, personagens perfeitas, descobertas monumentais e individuais, *insight* tipo eureka, senso do inevitável, trajetória óbvia" (FORATO, 2013, p. 1317).

Nas seções seguintes, tecemos considerações relativas a algumas prescrições da historiografia atual acerca da História da Ciência, sobre as quais é desejável que o professor possua conhecimentos de alguns de seus pressupostos, pois estes nortearão o trabalho de produção de textos sobre essa disciplina.

## 1.2 História da Ciência e natureza do conhecimento científico

Uma grande parcela de livros didáticos define ciência como um conjunto de conhecimentos obtidos através da "[...] coleta de dados por meio de cuidadosas observações e experimentos e da subsequente derivação de leis e teorias a partir desses dados por algum tipo de procedimento lógico [...]" (CHALMERS, 2011, p. 17). Isto induz o aluno a pensar na existência de um Método Científico Universal, que consiste em uma sequência de etapas, que, seguidas mecanicamente, conduzem a resultados

"seguros". Essa concepção nos transmite uma imagem de ciência como a de um conhecimento resultante de observações neutras do mundo e da descrição dos fenômenos naturais, desprovidas de preconceitos e subjetividades. Os livros didáticos concorrem para a construção dessa concepção na medida em que veiculam a ideia de que o trabalho científico seja "[...] tarefa de gênios solitários que se encerram em uma torre de marfim, desligados da realidade [...]" (GIL-PÉREZ *et al*, 2001, p. 137). De acordo com Martins (2006, p. xxii), os livros didáticos "ênfatisam os resultados aos quais a ciência chegou –as teorias e os conceitos que aceitamos, as técnicas de análise que utilizamos", mas fazem pouca ou nenhuma menção a outros aspectos da ciência, de que modo que as teorias e os conceitos foram elaborados ao longo da história.

Textos didáticos da História da Ciência, adequados ao nível cognitivo dos estudantes do Ensino Médio, juntamente com a ação diretiva do professor, podem possibilitar que os alunos gradativamente construam um consenso de que "o conhecimento científico não se faz seguindo uma sequência rígidas de passos que começa com a observação neutra de fatos e termina com a elaboração de leis e teorias científicas" (KOHLEIN e PEDUZZI, 2002, p. 1). Possibilita também a abordagem do "[...] papel essencial das hipóteses como orientadoras da investigação, assim como dos corpos de conhecimentos (teorias) disponíveis, que orientam todo o processo" (GIL-PÉREZ *et al*, 2001, p. 129).

A História da Ciência possibilita entender os aspectos políticos, econômicos e sociais relativos ao surgimento de um determinado problema e também descrever as contribuições para a construção de modelos teóricos. Assim, propicia ao aluno a percepção de que houve um caminho percorrido para se chegar ao saber presente. Permite também entender que o conhecimento científico se dá em um processo coletivo de construção, tornando possível a formação de uma visão adequada da natureza da ciência como um empreendimento humano. Na visão de Martins (2006, p. xix),

[...] Os pesquisadores formulam hipóteses ou conjeturas a partir de ideias que podem não ter qualquer fundamento, baseiam-se em analogias vagas, têm ideias pré-concebidas ao fazerem suas observações e experimentos, constroem teorias provisórias que podem ser até contraditórias, defendem suas ideias com argumentos que podem ser fracos ou até irracionais, discordam um dos outros em quase tudo, lutam entre si para tentar impor suas ideias. As teorias científicas vão sendo construídas por tentativa e erro, elas podem chegar a se tornar bem estruturadas e fundamentadas, mas jamais podem ser provadas. O processo

científico é extremamente complexo, não é lógico e não segue nenhuma fórmula infalível. Há uma arte da pesquisa, que pode ser apreendida, mas não uma sequência de etapas que deve ser seguida sempre, como uma receita de bolo. O estudo histórico de como um cientista realmente desenvolveu sua pesquisa ensina mais sobre o real processo científico do que qualquer manual de metodologia científica.

Tais referências a aspectos dos livros didáticos, que acabam por comprometer a formação de uma visão adequada do conhecimento científico, bem como seu processo de construção, materializam-se em argumentos de pesquisadores que não veem com bons olhos o uso da História da Ciência no ensino. Sobre essa questão, Menezes (1980, p. 94) afirma que:

[...] no ensino convencional de física, considerações históricas sobre descobertas etc., tem um papel meramente ilustrativo ou anedótico ao invés de ser parte efetiva do processo educacional. Aprende-se uma ciência que parece estar estruturada marginalmente ao contexto e às condições socioeconômicas [...].

Procurando contemplar as propostas constantes nas orientações curriculares para um ensino contextualizado, os autores de livros didáticos têm se empenhado em apresentar elementos de História e Filosofia da Ciência em suas obras. Mas a História da Ciência, disponibilizada aos alunos com o propósito de facilitar a aprendizagem, acaba por distorcer os objetivos de seu uso. Sobre esses inconvenientes, Martins e Brito (2006, p. 245) asseveram que "[...] antes da preocupação com a quantidade deve vir a preocupação com a qualidade em utilizar a história da ciência de modo adequado, evitando apresentar uma "pseudo-história" da ciência [...]".

A pseudo-história da ciência seria aquele tipo de história que apresenta o desenvolvimento científico como linear, omitindo as "idas e vindas" de sua construção e apresentando a ciência como caminhando triunfalmente para as ideias atualmente "consolidadas" e aceitas. É conhecida como historiografia "whig", expressão introduzida pelo historiador Herbert Butterfield para se referir à história que se caracteriza por interpretar os acontecimentos do passado à luz do presente. Esse tipo de história "retém" os acontecimentos nos quais a ciência triunfa, desconsiderando aqueles que à luz do presente são tidos como não científicos ou irracionais. De acordo com Lombardi (1997, p. 345),

[...] eliminará da história da ciência as teorias que resultem "errôneas" à luz da ciência posterior, salvo que se as analise para assinalar o caráter retrógrado de quem as sustentaram; eliminará,

também, os fatores que hoje consideramos não científicos ou irracionais.<sup>4</sup>

Certamente, seria bastante árduo o trabalho de ensinar ciências aos alunos da Educação Básica, especificamente os do Ensino Médio, através da História da Ciência presente em trabalhos históricos especializados e em obras originais. Forato, Pietrocola e Martins (2011) apontam para a inadequação dos trabalhos especializados para o Ensino Médio, chamando a atenção para o nível de complexidade que a interpretação adequada de fontes primárias comporta. É necessário adaptar tais textos ao nível cognitivo dos alunos dessa faixa etária. Os textos resultantes dessa adaptação devem ser escritos por especialistas da área, sendo fruto de um trabalho de pesquisa coletivo envolvendo filósofos, historiadores, pedagogos e professores. Defendendo o uso da História da Ciência, Martins (2006, p. xxiv) adverte para a necessidade de se ter cuidado nessa empreitada:

[...] um bom texto sobre a história da ciência, para ser utilizado na educação, deve ser escrito em linguagem adequada e simples, procurando explicar tudo claramente, sem pedantismos acadêmicos mas sem tentar simplificar e transformar em "água com açúcar" a complexidade histórica real.

Discorrendo sobre conhecimento científico e crença científica, esta última baseada na crença na autoridade do professor ou do cientista, Martins (2006, p. xxvii) afirma que "[...] Há apenas um caminho para se adquirir conhecimento científico [...]. É através do estudo da história da ciência - mas não da historiografia whig".

### 1.2.1 Distorções históricas – quase-história

Na produção ou busca de um material histórico adequado ao ensino de Ciências na Educação Básica que se amolde às recomendações de Martins (2006), deparamo-nos com a necessidade de nos precavermos contra distorções históricas ou historiografia whig, denunciada por vozes dissonantes como Martin Klein e M. A. B. Whitaker. Klein argumenta que ao utilizar materiais históricos no ensino de Ciências, o professor acaba selecionando as ideias que têm relação com as de hoje, provocando, assim, uma distorção da História da Ciência. De acordo com Klein

---

<sup>4</sup> Original em espanhol. Tradução do autor.

*apud* Lombardi (1997, p.344), "[...] todo intento de apresentar os conteúdos científicos numa perspectiva histórica implica selecionar, organizar e apresentar esses materiais históricos não historicamente, ou talvez, antihistoricamente [...]".

Em um trabalho publicado em 1979, Whitaker *apud* Lombardi (1997, p. 344) segue a mesma linha argumentativa de Klein, assinalando que

[...] A história utilizada em cursos de ciência é na realidade uma quase história pois constitui "o resultado de inúmeros livros de autores que sentiram a necessidade de dar vida a suas explicações [...] com um pouco de conteúdo histórico, mas na verdade eles reescreveram a história passo a passo para acomodá-la com a física.

Silva (2010, p. 13) descreve uma das características do que seja uma quase história ao se referir à apresentação da História da Ciência baseada na reconstrução dos fatos históricos:

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

Nesse sentido, quando nos deparamos com relatos que se pretendem históricos, que transmitem a ideia de que as "descobertas" foram prontamente aceitas pela comunidade ao serem publicadas, passando uma aura de grandiosidade dos cientistas, estamos diante de uma "quase-história". Esta é construída de tal maneira que os conceitos científicos são apresentados em uma sequência ordenada, em sintonia com a física, induzindo o leitor a pensar que as ideias surgiram em uma sequência lógica e ordenada, o que não corresponde com a história verdadeira.

Whitaker (1979) apresenta como exemplo um relato envolvendo os trabalhos de Planck e Rayleigh-Jeans, que desrespeita por completo a cronologia dos fatos. Trata-se da resenha de um livro que afirma que o fracasso da lei de Rayleigh-Jeans em descrever a radiação do corpo negro ensejou o desenvolvimento da hipótese quântica de Planck. A equação de Rayleigh estava errada e Jeans a corrigiu em 1905, porém Planck tinha anunciado sua lei em uma reunião da Sociedade Alemã de Física em 14 de dezembro de 1900.

Esse tipo de história não faz alusão às dificuldades ou erros cometidos

pelos cientistas e tampouco a aspectos pessoais que poderiam "denegrir" suas imagens. A exaltação dos feitos desses personagens se faz em detrimento dos aspectos sociais da ciência, dificultando sua visão como empreendimento humano. Para Whitaker (1979), esse tipo de história, ao invés de promover o interesse do estudante, acaba criando obstáculos ao colocar o cientista em um patamar difícil de ser alcançado pelos simples "mortais". Whitaker (1979, p. 239), citando Brush, alega que a quase história se constitui em uma distorção da história: "[...] Ele (Brush) considera a quase-história uma tentativa de forçar relatos de descoberta científica para atender as normas do método científico objetivo, conforme descrito pelos filósofos da ciência [...]".

Neves (2002), citando Darnton, se reporta aos contos infantis "Chapeuzinho Vermelho", "A Bela Adormecida", "Cinderela", "João e Maria", entre outros, como exemplos de distorções sofridas pela história. Originados em um contexto de violência, são narrados às crianças em uma versão depurada de componentes desagradáveis. Conforme Neves (2002, p. 41), "[...] hoje, num mundo diverso, longe do contexto em que aquelas histórias foram engendradas, contamo-las às nossas crianças quase como diversão, entretenimento, e desprovidas de um valor moral mais profundo". Na visão de Darnton *apud* Neves (2002, p. 42),

Os camponeses, no início da França moderna, habitavam um mundo de madrastas e órfãos, de labuta inexorável e interminável, e de emoções brutais, tanto aparentes como reprimidas. A condição humana mudou tanto, desde então, que mal podemos imaginar como era [a vida], para pessoas com vidas realmente desagradáveis, grosseiras e curtas. É por isso que precisamos reler Mamãe Ganso.

### 1.2.2 Simplificação da história –pseudo-história

Douglas Allchin, em um artigo publicado em 2004, exemplifica os diversos tipos de distorções, classificadas por ele de pseudo-história. Afirmando que sua preocupação não é com a falsa história em si, mas com a pseudo-história, acrescenta que "[...] A pseudo-história transmite falsas ideias sobre o processo da ciência e da natureza do conhecimento científico, mesmo se baseado em fatos reconhecidos" (ALLCHIN, 2004, p. 186). É uma simplificação da história, consistindo na seleção de fatos com a intenção voltada ao ensino de conceitos científicos, conforme explicita Matthews (1995, p. 173): "[...] O argumento de



Klein era de que, basicamente, os professores de ciências (especialmente os de física) selecionam e usam materiais históricos com outros propósitos pedagógicos e científicos [...]."

Allchin também apresenta uma reflexão sobre o modo como foi construída a história das teorias do fluxo de sangue de Galeno e do médico inglês William Harvey. Nesse excerto, há elementos em comum com o trecho de Bonek no que se refere a um engrandecimento da personalidade do cientista. Para Allchin (2004):

[...] a história de Harvey que analisei inclui numerosos artifícios históricos: omite pensadores antecedentes, difama Galeno, imagina que Harvey previu capilares, a retórica para confundir investigação, suprime o papel da analogia com o microcosmos. Os erros individuais não são tão importantes como o termo comum: tudo está calcado em um modelo idealizado de raciocínio científico e genialidade. Enquanto deturpam a história, deturpam também a natureza da ciência. Esta não é apenas uma história simplificada, que omite detalhes desnecessários. Eclipsando contextos históricos e romantizando o cientista como herói, ela é enganosa [...].<sup>5</sup>

O autor reforça a crítica a essa característica historiográfica whig que infla o gênio do pesquisador:

[...] por exemplo, uma história romantizada da descoberta pode enfatizar as contribuições de um indivíduo, minimizar o papel de acidentes ou erros, simplificar o processo investigativo, disfarçar motivações menos nobres, esconder o efeito de valores pessoais ou culturais, como ilustrado no caso Harvey. Ela transforma a ciência real em uma ciência idealizada imaginária [...].<sup>6</sup>

### 1.2.3 Falsa-história

Outra forma de distorção histórica é chamada por Allchin (2004) de falsa história, a qual estaria relacionada com casos de falta de acuidades históricas (datas) ou de equívocos advindos de anedotas populares, como, por exemplo, a maçã caindo na cabeça de Newton, Galileu abandonando esferas do alto da torre de Pisa, Arquimedes gritando "Eureka" enquanto corria nu pelas ruas de Atenas, entre outros.

---

<sup>5</sup> Original em inglês. Tradução do autor.

<sup>6</sup> Original em inglês. Tradução do autor.

Martins (2006, p. 186) menciona o desserviço à educação quando os professores contam a anedota da queda da maçã em sala de aula, pois transmite a visão de "[...] que o desenvolvimento da ciência seria fruto do acaso" e "que seria produzida por pessoas que de repente, 'têm uma ideia' e então tudo se esclarece".

Na acepção de Martins (2006), contrariamente ao que as anedotas narram, a queda da maçã não foi a responsável por favorecer Newton a "descobrir" a gravidade. Pensar assim é ignorar que os que viveram antes de Newton conheciam o termo gravidade. Quando Newton estava descansando e presenciou a queda da maçã, ele já tinha toda uma caminhada de estudos e pesquisas sobre o tema, servindo-se das contribuições dos que o precederam, como Descartes e Galileu. Martins (2006, p. 186) registra que

[...] A gravidade já era muito bem conhecida (e já tinha nome), antes de Newton. Como Newton já estava pensando há bastante tempo sobre o assunto, a maçã apenas desencadeou uma série de ideias - mas elas poderiam ter surgido sem a queda da maçã. O mais importante foi todo o estudo de Newton ocorrido antes do episódio da maçã. Sem isso, nada de relevante poderia ter sido desencadeado pela queda da fruta. Além disso, se Newton tivesse apenas tido uma ideia e se contentado com isso, ele não teria dado uma contribuição importante à ciência.

Uma vez inteirado das prescrições da historiografia da ciência, esperamos que o docente desenvolva suficiente instrumental teórico que lhe será útil na análise dos livros didáticos a serem adotados, com enfoque na forma com que estes contemplam a História da Ciência. Com esse intento, no próximo capítulo tecemos algumas considerações relativas à História da Ciência nos livros didáticos.

### 1.3 História da Ciência na sala de aula

Apontamos, na seção relativa à História da Ciência e à natureza do conhecimento científico, para a necessidade de adaptar textos originais ou de pesquisadores em História da Ciência ao nível cognitivo dos alunos da Educação Básica. Tal tarefa se constitui em um obstáculo intransponível a uma considerável parcela de professores em vista do risco de se produzir materiais com relatos distorcidos, comprometendo a fidelidade à história e a natureza do conhecimento científico. Essa adaptação remete para a necessidade de satisfazer não apenas as prescrições da historiografia e da epistemologia, mas também as exigências da

didática da ciência. De acordo com Forato, Pietrocola e Martins (2011), é na confluência dessas três vertentes que estão os desafios para a construção dos saberes escolares, cujos processos são postos pela transposição didática.

### 1.3.1 A transposição didática

Os saberes produzidos no âmbito da pesquisa em História da Ciência não foram pensados para atender aos propósitos da educação escolar. Segundo Forato, Pietrocola e Martins (2011, p. 240), sua "transformação em conteúdos adequados à escola básica requer admitir uma mudança de nicho epistemológico, reconhecer as diferentes funções sociais desses conhecimentos e sua necessária reconstrução". Para isto, é necessária a implementação de um processo de didatização dos saberes, chamado de transposição didática.

Transposição didática é um termo introduzido em 1975 pelo sociólogo Michel Verret em sua tese de doutorado, em que analisa "a forma pela qual os conhecimentos culturalmente acumulados pela sociedade devem ser repassados às futuras gerações" (FILHO, GOMES e TERÁN, 2011). Em 1985, esse tema foi retomado e aprofundado por Yves Chevallard no livro *La Transposition Didactique*, no qual faz uma abordagem teórica, mostrando as transposições pelas quais os saberes passam desde o contexto em que são produzidos até o contexto de sala de aula, em que serão apropriados pelos alunos. As sucessivas adequações que o saber científico sofre nesse processo visa a torná-lo em saber a ensinar.

A escola, enquanto espaço social de construção do saber, tem como uma de suas funções o papel primordial de compartilhar o conhecimento historicamente produzido pelos homens, sendo dela a tarefa de tornar disponíveis ao aluno os saberes elaborados pelos intelectuais, pensadores ou cientistas. Esses saberes, reconhecidos, aceitos e validados pela comunidade científica, são diferentes dos saberes trabalhados no âmbito da educação escolar. Do seu contexto de produção ao contexto de sala de aula, o saber produzido pelo cientista, ou saber sábio, precisa passar por várias adaptações para se tornar escolarizável.

Nessas sucessivas adequações, o saber percorre um caminho que vai de um saber científico (saber sábio), passando por um saber a ensinar, que apropriado pelo aluno se transforma no saber ensinado. Para isto, o processo deve atender às seguintes exigências, conforme Chevallard (1991): a dessincretização do saber, a despersonalização do saber, a programabilidade da aquisição do saber, a publicidade

do saber e o controle social das aprendizagens. Citando Chevallard, Beltrão (2012, p. 137) escreve:

[...] é necessário que aconteça uma dessincretização, ou seja, a separação do saber, em saberes 'pontuais'; a despersonalização do saber, com o intuito "de dar um caráter mais geral, descontextualizado e não personalizado, ao saber" (ibid, p. 77). A programabilidade da aquisição do saber pressupõe uma programação, uma forma de organização do saber [...].

Ao passar por transformações que contemplem essas exigências, o saber que chega à sala de aula é transformado, através do papel central desempenhado pelo professor, em um saber que é melhor compreendido pelos alunos. Sobre esse saber ensinado, Alves Filho (2000, p. 227) nos diz:

Os processos de despersonalização, dessincretização e de descontextualização, aos quais o saber é submetido, faz com que ele seja despido de seu contexto epistemológico, histórico e linguagem própria. Como saber a ensinar, é obtido um saber com uma nova roupagem, uma organização ahistórica, um novo nicho epistemológico e validade dogmatizada.

Passar por todos esses processos é "um mal necessário". Brousseau *apud* Pinho Alves (2000, p. 234) salienta que "A transposição didática tem sua utilidade, seus inconvenientes e seu papel para a construção da ciência. Ela é inevitável, necessária e de certo modo, lamentável. Ela deve ser colocada sob vigilância". Alves Filho (2000) avança que uma primeira descontextualização que o trabalho do cientista sofre ocorre quando o pesquisador divulga o resultado de seus estudos em revistas e eventos de discussão e divulgação. Essa transformação se faz necessária para se adequar às normas estipuladas pelos periódicos e pelas exigências da comunidade científica. É o saber sábio.

Uma vez apropriado pelos membros da comunidade científica, tais saberes, que agora estão em um novo patamar, passam por um processo em que partes de seu conteúdo serão selecionadas para a respectiva apropriação pelo contexto escolar, sendo incorporados aos currículos e programas escolares. Essa seleção não é neutra. Está impregnada de matizes ideológicos, uma vez que o processo educacional se caracteriza pela sua intencionalidade de acordo com o tipo de homem se deseja formar. Nessa etapa, acontece uma nova descontextualização.

Para que as partes selecionadas possam ser inteligíveis aos alunos, devem ser textualizadas, tarefa essa executada pelos autores de livros didáticos e

especialistas. Nesse patamar, os saberes deverão ser socializados pela escola e para tal é necessário o trabalho dos professores em sala de aula. É o saber a ser ensinado. Tais saberes, disponibilizados em livros textos e outros materiais didáticos, são submetidos a mais um processo de transformação, no qual o aluno se apropria e constrói o saber almejado, constituindo, assim, o saber ensinado. Forato, Martins e Pietrocola (2009, p. 5) pontuam que "[...] os pressupostos que justificam a inserção de um saber no ambiente escolar reconhecem uma mudança do nicho epistemológico da produção do conhecimento no âmbito da pesquisa científica (saber sábio) para a sala de aula (saber a ensinar)".

A parte na qual o saber sábio é transformado em saber a ensinar corresponde à transposição didática externa, e conforme Beltrão (2012, p. 136), "[...] tem lugar numa instituição 'invisível', fora da escola, representada por profissionais que atuam em instituições responsáveis pela institucionalização dos saberes passíveis de serem ensinados na escola". A transformação dos saberes que ocorrem na sala de aula, no contexto da relação didática, é chamada de transposição didática interna. Os profissionais que atuam desde a esfera do saber sábio ao saber ensinado, cientistas, educadores, professores, técnicos, pedagogos, autores e editores de livros, formam a noosfera.

### 1.3.2 Conflitos e dilemas

Ao tomar para si a tarefa de adequar textos que contenham temas de História da Ciência ao nível cognitivo dos alunos, o professor tem diante de si, em consonância com Forato, Pietrocola e Martins (2011), o desafio de harmonizar as prescrições da didática das ciências com as da História da Ciência na construção dos saberes escolares. A complexidade dos processos de dessincretização, despersonalização e descontextualização derrubam por terra a crença de que tal tarefa seja fácil ou trivial.

No trabalho de pensar, elaborar e implementar um curso sobre óptica em uma perspectiva histórica, Forato, Martins e Pietrocola (2012) ressaltam que tornar textos produzidos por historiadores da ciência adequados ao nível dos alunos da Educação Básica não é meramente simplificar sua linguagem e omitir as informações mais complicadas. Na acepção desses pesquisadores, quem se propõe a fazer a transposição didática de saberes históricos especializados para a sala de

aula inevitavelmente se depara com a necessidade de fazer escolhas. O que manter e o que omitir? O que enfatizar e o que amenizar? Mesmo que os esforços de se minimizar narrativas tendenciosas sejam bem sucedidos devidos às opções escolhidas, as perdas serão inevitáveis.

A consciência de que tais escolhas envolvem riscos e que o caminho a trilhar é repleto de desafios e dificuldades pode ser de grande auxílio nas diversas etapas do processo de transpor para a sala de aula os saberes históricos produzidos na esfera do saber sábio (FORATO, PIETROCOLA e MARTINS, 2011), no sentido de que os educadores acolham as recomendações de Allchin (2004) e se tornem capazes de identificar problemas com a narrativa histórica.

Klein *apud* Matthews (1995) atesta que a diferença entre as perspectivas do físico e do historiador dificulta a "conciliação" entre a História da Ciência e o ensino de Física. A fidelidade à história não "combina" com o caráter lógico e ordenado da física. O uso da História da Ciência no ensino implica a deturpação ou de uma ou de outra. Um exemplo dessa situação é mostrado por Bastos Filho (2012, p. 70) em um excerto de Feynman, Leighton e Sandis:

No tempo em que Carnot viveu, a primeira lei da termodinâmica, a conservação da energia, não era conhecida [...]. A assim chamada segunda lei da termodinâmica foi deste modo descoberta por Carnot, antes da primeira lei! Seria interessante aqui apresentar o argumento de Carnot que não lança mão da primeira lei, mas nós não o faremos, pois o que queremos é ensinar física, não história.

Analisando o excerto precedente, Bastos Filho (2012, p. 70) escreve:

O que fundamentalmente interessa para eles (Feynman, Leighton e Sands) é propiciar uma reconstrução racional ou uma narrativa que, independentemente de ser ortodoxa ou heterodoxa, constitui de fato uma versão pedagógica do assunto, em que as leis da termodinâmica - a lei da conservação da energia e a lei do crescimento da entropia - sejam conceitualmente, bem compreendidas, pois o objetivo precípua de suas atividades seria a formação de físicos e não de historiadores.

Para que se tornem facilmente compreensíveis pelos alunos da Educação Básica, os materiais originais e os textos produzidos por historiadores da ciência precisam passar por um processo de transposição, ocorrendo, assim, o que Bastos Filho (2012) denomina atalho cognitivo, uma vez que se busca uma compreensão mais rápida dos conteúdos e não há necessidade de enveredar pelos

complexos meandros da história das ideias. A necessidade de realizar tais atalhos conduz às reconstruções racionais ou narrativas pedagógicas simplificadas de algum episódio da História da Ciência.

Para os que comungam dessa linha de pensamento, o fato de que nossos alunos não serão físicos não significa que podemos abrir mão de apresentar um relato histórico "descontextualizado" pelo processo de transposição didática, visando a favorecer a aprendizagem dos conceitos físicos. Ao ser trabalhado com esse objetivo, um relato histórico pode apresentar uma versão que evoca o conceito de reconstrução racional da história proposto por Lakatos (SILVA, 2008).

Whitaker (1979) informa que existe uma "aparente semelhança" entre a quase-história e o conceito de reconstrução racional, mas mesmo assim aponta a existência de uma diferença entre ambas: a de que a quase-história não admite que houve uma reconstrução. Apesar disso, Whitaker aceita que a reconstrução racional da história seja usada no ensino com a condição de que o professor deixe bem claro aos alunos que se trata de uma reconstrução. De acordo com Bastos Filho (2012, p. 73), "[...] o professor deve mostrar as duas versões aos alunos e até mesmo encorajá-los a desenvolver trabalhos procurando comparar as duas versões".

Em trabalho apresentado no VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Forato, Martins e Pietrocola (2009, p. 8) criticam essa crença por reforçar os problemas advindos do uso ingênuo da História da Ciência presente nos livros didáticos:

[...] Essa problemática é reforçada pela crença que alguns educadores possuem sobre supostos benefícios das reconstruções racionais. Ainda que se apresentem bons argumentos voltados aos imaginados benefícios pedagógicos, acreditamos que os prejuízos trazidos por tais versões não podem ser negados. Não ensinamos pseudo-ciência no ensino de ciências. Por que deveríamos ensinar a pseudo-história?

Como não existe compatibilidade entre o caráter lógico e ordenado da Física com a sequência dos fatos históricos, uma proposta seria trabalhar com casos históricos. Nesse sentido e como uma possível conciliação, uma recomendação de Lakatos (1979, p. 169) sobre a inserção também da Filosofia da Ciência mostra-se pertinente:

Ao redigir um estudo de um caso histórico, deve-se, creio eu, adotar o seguinte procedimento: (1) faz-se uma reconstrução racional; (2) tenta-se cotejar essa reconstrução racional com a história real e

criticar tanto a reconstrução racional pela falta de historicidade quanto a história real por falta de racionalidade. Dessa maneira, todo estudo histórico deve ser precedido de um estudo heurístico: a história da ciência sem a filosofia é cega.



## **2 A HISTÓRIA DA CIÊNCIA NOS PROJETOS INTERNACIONAIS E NOS LIVROS DIDÁTICOS**

### **2.1 Considerações sobre os conteúdos nos projetos internacionais**

Restringimos nossas considerações a dois projetos: o Physical Science Study Committee (PSSC) e o Harvard Project Physics, por apresentarem características opostas no uso da História da Ciência no ensino de Física. Salientamos que ambos os projetos são americanos.

#### **2.1.1 Physical Science Study Committee**

O período que se seguiu ao fim da Segunda Guerra Mundial foi marcado pela guerra fria entre os blocos liderados pelos Estados Unidos da América (EUA) e pelos que formavam a extinta União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), liderados pela Rússia. A preocupação com a segurança nacional nos Estados Unidos levou as autoridades a voltar a atenção para a educação dos jovens, mais especificamente para o ensino de Ciências. Emergiu então aos olhos dos responsáveis pela educação científica, membros do National Science Foundation (NSF), a situação precária em que se encontrava tal ensino e que se refletia, conforme Matthews (1995), em elevados índices de analfabetismo científico. Em conformidade com Lorenz (2008), o currículo da época que enfocava o preparo do aluno para a vida, desconsiderando o ensino dos conceitos das disciplinas científicas em si, acabou levando o aluno a memorizar, sem compreender os conteúdos.

O diagnóstico dessa situação ensejou o início de um movimento de renovação de ensino de Ciências. Assim, em 1956, de acordo com Gaspar (2004), surge o Physical Science Study Committee (PSSC), um projeto que foi uma das primeiras iniciativas de se pensar e se efetivar um ensino de Física atualizado, motivador e eficiente, sob o patrocínio do National Science Foundation. Foi um projeto criado por um grupo de professores de Física em nível secundário (High School), professores universitários e do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), coordenados por Jerrold Zacharias e Francis Friedman. Conforme Pena (2012), profissionais das mais diversas áreas, exceto historiadores da Ciência, se uniram para produzir um curso de Física voltado para a

escola de nível secundário dos Estados Unidos. Intencionavam a produção de materiais que despertassem o interesse dos estudantes pelo assunto, induzindo-os a pensar e a resolver problemas como cientistas, o que podemos depreender da leitura e análise de seus conteúdos.

Moreira (2000, p. 1) atesta que o PSSC "[...] não era, simplesmente, um novo livro de Física para a escola média. Era um projeto curricular completo, com materiais instrucionais inovadores e uma filosofia de ensino de Física [...]" de ensino que preconizava o envolvimento ativo do aluno nas atividades propostas. Conforme Perini, Pereira e Clement (2009), esse projeto caracterizava-se por buscar, através dos diferentes recursos que o constituíam, uma relação entre situações-problemas, atividades experimentais e o desenvolvimento teórico da Física, de modo que, com seu engajamento, o aluno desenvolvesse uma nova forma de ver a ciência escolar, aproximando-a da atividade física.

De acordo com Gaspar (2004), embora o pedagogo Jeromer Bruner fizesse parte da equipe que elaborou o PSSC e fosse amigo pessoal de Zacharias, o que prevaleceu no projeto foram as crenças de Zacharias, segundo as quais o projeto deveria ser baseado na experimentação, o que imprimiu o caráter empirista/positivista à obra. Essa ênfase na experimentação em detrimento do papel do professor no processo educacional foi um dos motivos que levou o PSSC ao fracasso. A estrutura do projeto PSSC era constituída, consoante com Mello, Santos e Santos (2012, p. 8), por

[...] um texto básico que sintetizava a filosofia da proposta: "nele a física é apresentada não como um simples conjunto de fatos, mas basicamente como um processo em evolução, por meio do qual os homens procuram compreender a natureza do mundo físico". Complementava o livro-texto um guia de laboratório e um conjunto de aparelhos modernos e baratos, um grande número de filmes, testes padronizados, uma série crescente de publicações preparadas por expoentes nos respectivos campos e um extenso livro do professor, diretamente ligado ao curso (PSSC, 1963, p. 7).

Os conteúdos foram distribuídos na seguinte ordem temática: O Universo (parte I); Óptica e Ondas (parte II); Mecânica (parte III) e Eletricidade e Estrutura Atômica (parte IV). Cada parte ou livro-texto é formado de uma primeira parte, que constitui o desenvolvimento textual, e uma segunda parte, o guia de laboratório. A parte experimental era inserida à medida que se fazia a inter-relação com a teoria no desenvolvimento do conteúdo. Conforme ia se avançando com o conteúdo, a parte

experimental era articulada com o desenvolvimento teórico, e no bojo do projeto havia a recomendação de que os experimentos fossem realizados antes de seus tópicos serem apresentados no texto (FILHO, 2000, p. 37), o que se constitui em uma forma de contextualizar o conteúdo a ser abordado.

Em relação às atividades experimentais, comungando com Silva (2013), estas eram realizadas "[...] exigindo que todos os estudantes realizassem o experimento ao mesmo tempo [...]". Para isso, Filho (2000) registra que foi necessário produzir e disponibilizar aparatos experimentais a todos os alunos. Tais equipamentos deveriam ser simples e resistentes com o fito de diminuir os custos de produção e permitir seu manuseio pelos próprios alunos. Para possibilitar que todos os alunos realizassem as atividades experimentais, os equipamentos foram produzidos e organizados em pequenos kits.

À medida que os conteúdos teóricos eram desenvolvidos, exercícios e problemas eram apresentados ao longo da discussão textual, visando a exemplificar os conceitos e as leis físicas abordadas. Perini, Ferreira e Clement (2009) afirmam que nos quatro volumes foram apresentados 49 exemplos: 14 na parte I; 3 na parte II; 7 na parte III; e 25 na parte IV. Ao final de cada capítulo apresentava-se uma parte chamada "Para casa, classe e laboratório", a qual era composta de um conjunto de exercícios e problemas para os alunos resolverem em casa e na sala de aula (classe) e aqueles que necessitavam de uma atividade experimental para ser resolvida (laboratório). Foram propostos 42 exercícios/problemas para serem resolvidos em sala de aula, sendo 16 na parte I; 11 na parte II; 8 na parte III; e 7 na parte IV, ao passo que para as atividades laboratoriais foi proposto um número maior: 180 no livro I; 162 no livro II; 191 no livro III; e 152 no livro IV; totalizando 685 exercícios/problemas.

Na análise dos problemas propostos, conforme Perini, Ferreira e Clement (2009), é perceptível a ênfase no aspecto quantitativo e um número relativamente grande de exercícios de aplicação direta de equações, o que caracteriza uma concepção de ensino pautada na memorização. Dos problemas propostos, apenas uma pequena parcela se origina do cotidiano, não significando, contudo, uma situação problematizada. Há também aqueles cuja solução exige o desenvolvimento de trabalhos práticos e aqueles que por sua natureza exigem um processo de reflexão e tomada de decisões.

O caráter de emergência de transformação da situação se fortalece, na visão de Gaspar (2004), com o lançamento do Sputnik I ao espaço pela URSS em 1957,

contribuindo para a formação de um sentimento coletivo que os Estados Unidos foram superados pela URSS em relação ao desenvolvimento tecnológico e científico. Tendo essas conjunturas como pano de fundo, o PSSC e os outros programas "[...] tinham como objetivos gerar recursos que pudessem, rapidamente, alavancar o desenvolvimento científico dos países do bloco capitalista, equiparando-os ao nível que a ex-União Soviética havia atingido" (PEREIRA e SILVA, 2009, p. 3). Vendo no desenvolvimento do sistema de ensino uma resposta ao desafio de superar esse atraso, promoveu-se uma mobilização nacional que se materializou em vultosos investimentos financeiros para o PSSC. De acordo com Bybee (1977) *apud* (GASPAR, 2004, p. 2), "[...] O Sputnik tornou claro ao público norte-americano que a mudança da educação, em particular do currículo de matemática e ciências, era assunto de interesse nacional".

Devido à motivação ideológico/política do pós guerra, entre outros fatores, a educação foi direcionada para a formação de cientistas e como consequência passou-se a dar pouca ênfase ao uso da História e Filosofia da Ciência no ensino. Matthews *apud* Pereira e Silva (2009) assinala que todos os grandes projetos de ensino de ciências da década de 1960 deram-se sem a participação de historiadores ou filósofos da ciência, com exceção do Projeto de Física de Harvard e do BSCS.

O projeto PSSC, lançado nos Estados Unidos, logo fez sentir sua influência no Brasil mediante sua tradução para o português, com os textos editados pela Editora Universidade de Brasília (PENA, 2012). Também contribuiu para essa influência sua característica fortemente curricular, sendo incluído nos livros didáticos e nos projetos curriculares para o ensino de Física.

Gaspar (2004) sustenta que o reduzido número de escolas em que o projeto foi aplicado, os poucos professores que dele tiveram conhecimento, as dificuldades de utilização do material experimental e sua desvinculação da realidade brasileira foram fatores que contribuíram para o fracasso do projeto PSSC em nosso país. Segundo Pena (2012), outra causa que deve ter ocorrido para a efêmera atuação do PSSC é o fato de subestimar as dificuldades envolvidas no processo de aprendizagem e de não valorizar o papel da formação continuada do professor de ciências.

Diferentemente dos atuais livros didáticos no que tange à distribuição dos conteúdos programáticos, os quatro volumes do PSSC apresentam a seguinte sequenciação: O Universo na parte I; Óptica e ondas na parte II; Mecânica na parte III; e Eletricidade e estrutura atômica na parte IV, como tratamos adiante. O primeiro volume

da obra do PSSC se inicia com um texto que apresenta em linhas gerais as características da Física, descrevendo-a como um processo evolutivo, fruto da interação do homem com o mundo que o envolve, da evolução do pensamento humano e portanto, inacabado.

Após justificar porque a Física é a ciência fundamental da natureza (seção 1-1), há uma breve menção da relação da Física com as outras ciências da natureza, explicitando os campos de estudo de cada uma delas. Discorre sobre a relação entre ciência e tecnologia (seção 1-2), salientando que a mútua "alimentação" entre ambas se materializa no aprimoramento tecnológico e em novos campos de pesquisas. O texto conduz o leitor a refletir sobre o que diferencia a espécie humana das demais espécies (seção 1-3): a mente humana, tratada como o instrumento-chave do físico, que possibilita a elaboração de uma linguagem para entender, explicar e comunicar. Apresenta os olhos, ouvidos e mãos como instrumentos "naturais" utilizados na apreensão de dados sobre o mundo, e que são auxiliados por outros instrumentos, suas "extensões". Nessa linha de raciocínio, seria pertinente a menção sobre a capacidade do ser humano de realizar abstrações a partir de dados concretos obtidos através dos sentidos.

Tratando sobre o contínuo aperfeiçoamento dos instrumentos, cita a história do lustre da catedral de Pisa, sobre a qual as observações de Galileu ensejaram a construção de dispositivos medidores do tempo. Ilustra essa discussão com fotos que podem atizar a imaginação para a trajetória percorrida pelos laboratórios, desde simples aparelhagens aos sofisticados equipamentos da Física Nuclear, descrevendo-os brevemente. A atenção do leitor é direcionada para o trabalho das pessoas que constroem a Física (seção 1-4), desde o físico que concebe projetos, planeja equipamentos e define objetivos, aos engenheiros e técnicos responsáveis pela construção dos complexos equipamentos.

Um aspecto interessante dessa última seção é a justificativa de não ter dado uma definição "cabal e simples do que é a física", realçando seu caráter transitório e em constante transformação. Das entrelinhas desde a primeira seção emerge uma proposta de ensino de Física de caráter inédito e revolucionário, em comparação a como era abordada em períodos anteriores à década de 50 do século XX.

Nos capítulos 2 e 3 da obra, procura-se municiar o estudante de saberes que lhe serão úteis no estudo da Física, quais sejam, a aquisição de habilidades e a agilidade no trato com as grandezas tempo e espaço e suas respectivas medições. Em um primeiro

momento, o capítulo 2 apresenta uma discussão sobre as limitações e o caráter de falibilidade dos instrumentos utilizados no estudo da Física, sejam eles integrantes do corpo humano (os sentidos) ou produzidos manual ou industrialmente, apontando para os necessários testes de suas indicações. Apresenta uma reflexão sobre a noção de tempo e intervalo de tempo, discorrendo sobre técnicas de medidas de intervalos de tempo muito curtos ou muito longos usando instrumentos adequados, como por exemplo o flash-múltiplo e o estroboscópio. Depois de apresentar uma discussão sobre o significado de medida do tempo, o texto (seção 2-6) apresenta uma explanação das técnicas matemáticas no tratamento dos resultados das medidas, ordem de grandeza e notação científica. O capítulo é encerrado com uma breve reflexão filosófica sobre o sentido do tempo.

Dedicado ao espaço e sua medição, o capítulo 3 faz uma ligeira justificativa de se trabalhar as grandezas separadamente. Embora reconhecendo que no estudo da natureza as grandezas estão interligadas, o texto defende a "opção cartesiana" nesse estudo. Argumenta que as contínuas "idas e vindas" entre as noções de tempo e espaço possibilitam o aperfeiçoamento dos conceitos destas grandezas. Em um primeiro momento, apela para a observação a olho nu que toda e qualquer pessoa pode fazer dos corpos celestes, para que o leitor possa ter uma noção daquilo que é muito distante ou muito grande. Na sequência, discorrendo sobre o que é muito pequeno, conduz o leitor a uma abstração, via imaginação, para o mundo de dimensões microscópicas ou subatômicas. Do texto, emerge um ranço positivista, mais especificamente quando afirma, nas páginas 38-39, que as medidas de distâncias "[...] podem ser comparadas de melhor forma pelo emprego de esquema idêntico ao que utilizamos na comparação de intervalos de tempo. Devemos apenas contar".

No capítulo 2, página 31, podemos ler: "[...] tudo isto está baseado num único princípio simples: contar [...]". O texto exclui toda carga de subjetividade, tipificando, conforme Neves (2005), uma ciência totalmente desvinculada do observador. Citando Burt, Neves (2005, p. 37) escreve: "[...] o espaço foi identificado com a geometria, e o tempo com a continuidade do número [...]". Tal constatação pode ser vista pelo tratamento matemático na abordagem de distâncias muito grandes, quando o texto apresenta metodologia de medidas indiretas para distâncias muito grandes (entre corpos celestes), pelo processo de triangulação, baseado no conceito de figuras semelhantes (seção 3-2).

Na seção 3-1, é apresentado, muito resumidamente, um excerto histórico das

unidades de medida de distância, desde as antigas civilizações até o período da Revolução Francesa. Não faz nenhuma referência à recusa por parte da Grã-Bretanha e dos Estados Unidos da América em adotar o sistema métrico decimal, nascido no âmbito da referida Revolução.

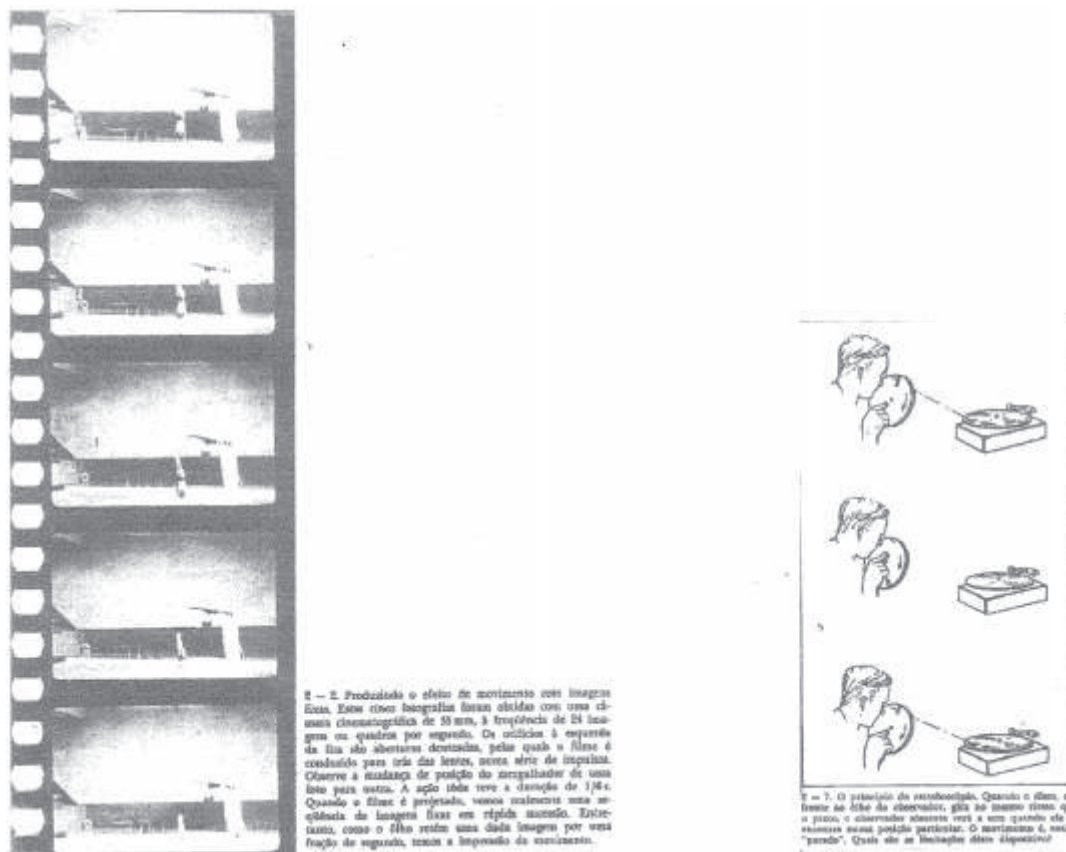


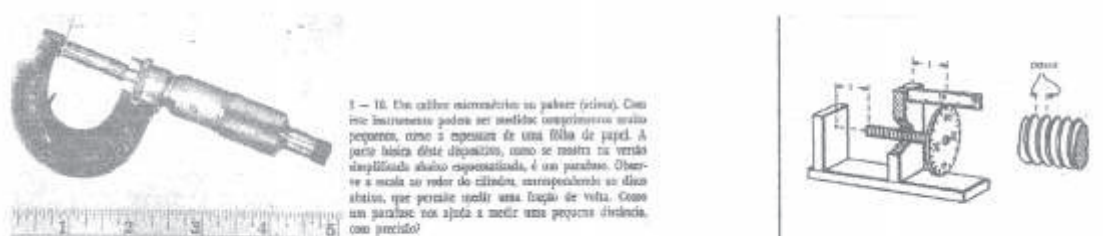
FIGURA 1 – Flash múltiplo à esquerda e estroboscópio à direita.

Fonte: PSSC. Parte I, p. 26 e 29.

Sugere que antes da proposição do sistema métrico decimal foi introduzido no sistema monetário americano um esquema parecido com a ideia que deu origem ao sistema métrico decimal. Disponibiliza também uma metodologia de cálculos de medidas indiretas de distâncias muito pequenas, obtidas a partir de medidas diretas, também de distâncias muito pequenas, no limite permitido pelos sentidos, com auxílio de instrumentos apropriados, ilustrado com fotos e desenhos de tais instrumentos (seção 3-3). Discorre sobre as dimensões do espaço (seção 3-4) usando recursos da geometria analítica bem como técnicas para medidas de superfícies e volumes (seção 3-5). Desenvolve o tema dos limites da precisão das medidas e uma apresentação sobre os Algarismos significativos.

O conteúdo do capítulo 4 se constitui em uma continuidade dos anteriores

quanto ao objetivo de municiar o estudante de conhecimentos básicos de matemática que poderão lhe ser úteis na compreensão dos fenômenos físicos. O texto aborda as relações entre grandezas, discorrendo sobre proporções direta e inversa, escalas, equações e representação gráfica, leis de potência e funções. Apresenta uma interessante reflexão sobre os conceitos de interpolação e extrapolação e seu uso no comportamento de sistemas físicos, atentando para os limites dentro dos quais é possível a extrapolação. Seria pertinente uma discussão mais profunda a respeito da relação entre a extrapolação e as concepções empiristas/indutivistas do fazer ciência. Trabalhando o conceito de escala, conduz a atenção do leitor para uma análise do comportamento de sistemas em diferentes escalas (macro e micro) e aspectos de sua estrutura e constituição, servindo-se de um pequeno excerto de uma obra de Galileu.



**FIGURA 2** – Micrômetro e sua versão simplificada.

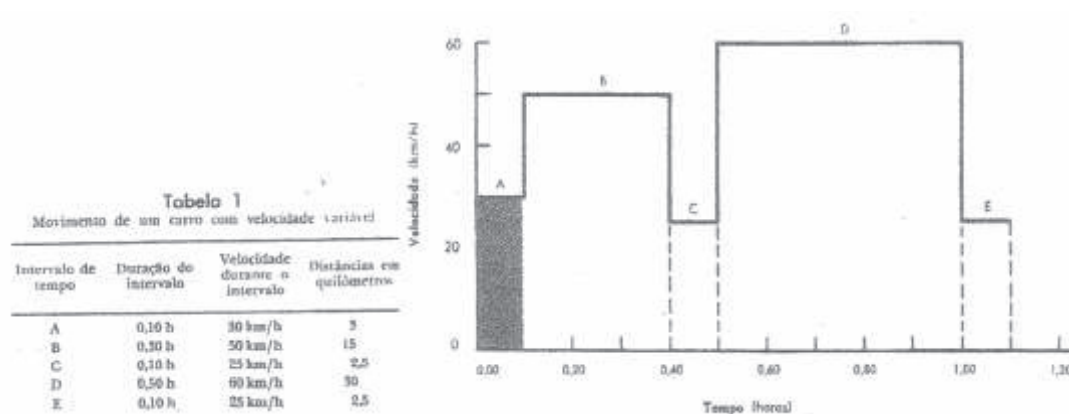
Fonte: PSSC. Parte I, p. 46.

No capítulo 5, é abordado o conteúdo sobre a cinemática. O texto faz uma apresentação, um tanto brusca, da representação gráfica da velocidade uniforme, sem uma discussão a priori de uma metodologia de construção de gráficos e nem da caracterização dos diferentes tipos de gráficos, de modo a familiarizar o estudante com a interpretação de gráficos. Nesse tipo de conjuntura, é essencial a ação do professor no sentido de diagnosticar carências no conhecimento que o aluno possui e pensar em estratégias que o ajudem a desenvolver as habilidades necessárias à construção de novos conhecimentos.

Mesmo que o professor de matemática tenha desenvolvido junto aos alunos algumas técnicas de construção e interpretação de gráficos, é de suma importância que o professor de Física retome essa tarefa, enfocando a articulação entre os conceitos físicos estudados. Apresenta-se uma tabela com diversos valores de tempo, seus correspondentes valores de velocidade, distâncias percorridas e também o correspondente gráfico da velocidade como função do tempo. O texto apela para a



idealização de tal movimento após explicar que a velocidade não pode variar em "saltos". A partir desse tipo de gráfico, é inserida a observação que a área delimitada pelo gráfico corresponde à distância percorrida por um veículo. Interessante notar que o texto também atenta para a questão das escalas serem adotadas para cada eixo na construção do gráfico.



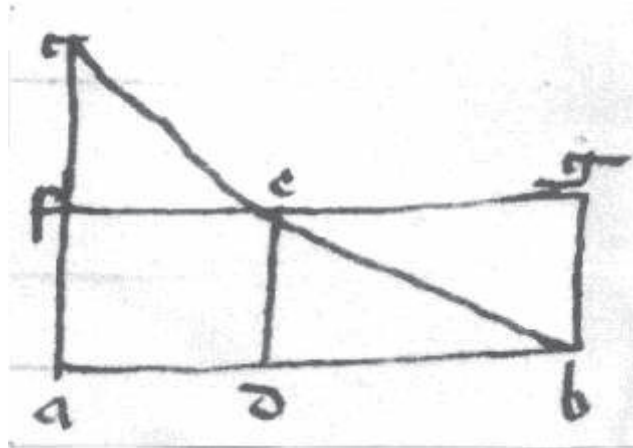
**FIGURA 3** – Tabela e gráfico da velocidade como função do tempo.  
Fonte: PSSC. Parte I, p. 72.

Ao tratar do caso de velocidades que variam de maneira uniforme, o texto discorre sobre uma metodologia que consiste em dividir a área delimitada pelo gráfico em vários retângulos, que nada mais é do que a base do teorema da velocidade média, obtido a partir da Regra do Merton College. Embora o texto não mencione, esse teorema foi elaborado pelos matemáticos do Merton College e representado graficamente por Nicolau D'Oresme. De acordo com (BOYER *apud* FRANZON, 2004, p. 66):

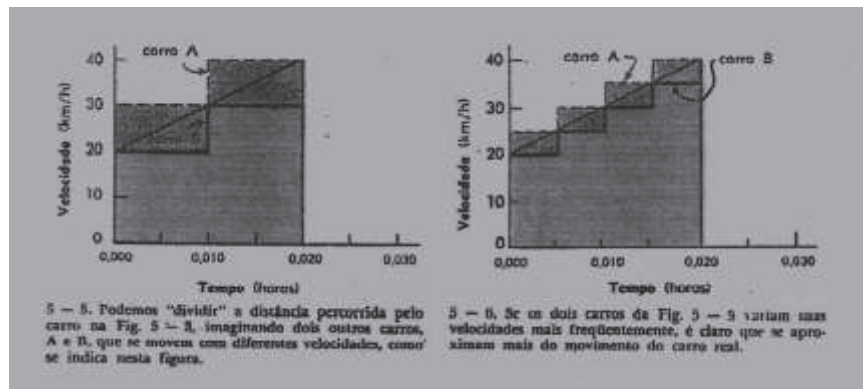
Durante o século quatorze o estudo das mudanças em geral, e do movimento em particular, foi um tópico favorito nas universidades, especialmente em Oxford e Paris. Em Merton College, Oxford, os filósofos escolásticos tinham deduzido uma formulação para o movimento de velocidade com variação uniforme, que tem o nome de regra de Merton. Expressa em termos de distância e tempo, a regra diz essencialmente que se um corpo se move com movimento uniformemente acelerado, então a distância coberta será igual à que seria percorrida por outro corpo que se deslocasse com movimento uniforme durante o mesmo intervalo de tempo com velocidade igual ao primeiro no ponto médio do intervalo de tempo. Como nós formularíamos, a regra diz que a velocidade média é a média aritmética entre as velocidades inicial e final.

Ainda de acordo para os autores, Nicolau D'Oresme procedeu da seguinte maneira para representar graficamente esse teorema:

Sobre uma reta horizontal, ele marcou pontos representando instantes de tempo (ou longitudes) e para cada instante ele traçou, perpendicularmente à reta horizontal, um segmento de reta (ou latitudes) cujo comprimento representava a velocidade. Percebeu que as extremidades das latitudes estavam sobre uma reta e que, se o corpo partisse do repouso, todos os segmentos que representavam as velocidades preenchiam um triângulo retângulo e que a área deste retângulo era a distância percorrida pelo corpo (BOYER *apud* FRANZON, 2004, p.66).



**FIGURA 4** – Representação gráfica do teorema do valor médio por Niccolau D'Oresme.  
Fonte: PELLOSO, 2007, p. 26 *apud* MACEDO, 2003.



**FIGURA 5** – Diagramas ilustrando o teorema da velocidade média.

Fonte: PSSC. Parte I, p. 74.

O texto prossegue discutindo gráficos da distância como função do tempo, tanto para o movimento uniforme como para o movimento variado. Na análise de tais gráficos, faz menção aos sinais da velocidade, porém sem nominar os movimentos em progressivos ou retrógrados como o fazem os livros didáticos atualmente em uso. No caso dos movimentos variados, discorre, relacionando a velocidade instantânea à inclinação da reta tangente à curva do gráfico e conclui o capítulo tratando do conceito de aceleração. Acreditamos que a forma como é proposta a abordagem da cinemática demanda menos tempo, o que pode permitir um maior tempo para a abordagem da

dinâmica.

O capítulo 6, no qual é tratado um ramo da matemática que estuda os vetores, contribui para abrir mais o leque de conhecimentos matemáticos do aluno, capacitando-o a solucionar problemas no âmbito da Física, especificamente os relacionados às grandezas vetoriais. À medida que traz à memória algumas situações físicas que possibilitam a abordagem de grandezas vetoriais, introduz os elementos que permitem a formação de ideias que caracterizam o vetor ao mesmo tempo em que descreve as metodologias de cálculos para a adição e subtração de vetores. Tanto para a decomposição de vetores como para a decomposição, invoca situações fictícias para expor os processos para a determinação do vetor resultante ou para a determinação dos componentes retangulares do vetor. Caberia aqui uma discussão sobre a eficiência de se usar situações fictícias para embasar estudos, uma vez que, não possuindo ligações com o cotidiano do aluno, não permite que este visualize essências de fenômenos relacionados a deslocamentos. Expõe também uma discussão do significado da multiplicação de um vetor por um número ou um escalar. Faz uma abordagem bastante detalhada de conceitos relativos às variações de velocidade vetorial, vetor aceleração constante, aceleração variável e aceleração vetorial instantânea. Chama a atenção que nesse capítulo foi apresentada a expressão matemática para a velocidade no movimento uniformemente variado, na sua forma vetorial, enquanto que no capítulo anterior tal expressão não foi mencionada, nem mesmo na sua forma escalar.

Outro aspecto que também chama a atenção é que, diferentemente dos manuais atuais, o texto não faz uso das funções trigonométricas nas operações com vetores. Discorre sobre a descrição do movimento e de sistemas de referência (seção 6-7), fazendo uma breve menção a Copérnico para justificar a escolha de um referencial que possibilite a simplificação da descrição dos movimentos. Após uma breve consideração sobre cinemática e dinâmica, desenvolve uma reflexão sobre situações em que o movimento pode ser simples ou complexo, sendo uma excelente oportunidade para se introduzir uma discussão acerca da insustentabilidade do indutivismo frente à complexidade do universo e solapar à crença na existência de um método único e universal na pesquisa científica.

O capítulo é concluído com a menção à velocidade da luz e aos limites da Física, ou seja, na falha da Física Newtoniana em explicar fenômenos em referências próximas à velocidade da luz ou para descrever o comportamento das partículas no mundo subatômico.

Ao versar sobre massas, elementos e átomos, no capítulo 7 sobressai-se a preocupação de fornecer ao leitor subsídios que lhe serão úteis no estudo dos fenômenos naturais no campo da Física. Retomando de maneira breve as reflexões feitas sobre as medidas de tempo e espaço, o texto apresenta uma reflexão sobre a busca de uma forma de se medir a matéria, passando por uma descrição da função da balança e introduz a expressão "massa gravitacional" para dar significado à ideia de quantidade de matéria (p.122), sem nenhuma discussão no sentido de se estabelecer um conceito para massa gravitacional.

Os autores fazem uma brevíssima menção à história do sistema métrico decimal para apresentar ao leitor a ideia de padrões de medidas. Apresenta também uma reflexão sobre massa, peso, densidade e medidas indiretas de massa. Conclui essa primeira parte do capítulo discorrendo sobre conservação da massa e conservação da matéria. Depois de uma proposta de 11 exercícios, há continuidade com a abordagem dos elementos químicos, discorrendo sobre análise e síntese química; elementos, substâncias puras e compostas e análise espectral.

A terceira e última parte do capítulo versa sobre o átomo. Iniciando com breves referências históricas, partindo dos pensadores gregos da Antiguidade, passando pelos químicos e físicos do século XIX, o tema é desenvolvido e acompanhado de fotos e gravuras com riquezas de detalhes que podem servir de lastro à imaginação do leitor. O capítulo é concluído com abordagem sobre contagem de partículas atômicas e agrupamento de átomos. Esta última parte constitui-se em um tema riquíssimo de física moderna, bastante ausente nas salas de aula, nesse tempo em que se fazem necessárias novas formas de olhar a educação e o ensino de ciências.

O tema do capítulo 8 refere-se a átomos e moléculas; em sua introdução é desenvolvida uma reflexão a partir de um breve excerto histórico a respeito da contribuição de John Dalton, que visava a indicar a existência de átomos. Discorre sobre a lei da composição química e compara o procedimento de Dalton com outros processos, como a contagem de átomos. O texto segue tratando de temáticas relativas às formas moleculares, decaimento de núcleos radioativos, relações volumétricas, massas moleculares e atômicas, isótopos, moles, número de Avogadro, estrutura íntima da matéria, estrutura e propriedade das moléculas, moléculas orgânicas, cristais e sua geometria, abordado de forma teórica, sem os enfadonhos e cansativos cálculos matemáticos, apelando para o exercício da imaginação e do raciocínio na resolução de problemas.

No capítulo 9, é proposto o estudo da natureza de um gás. Como introdução, enumera situações familiares ao leitor para contextualização. Ao contemplar modelos físicos, descreve o significado dessa palavra no âmbito da ciência e o processo de sua construção e evolução na história. Discute o modelo molecular de um gás, as grandezas físicas envolvidas e também o movimento browniano e o ruído Johnson.

No capítulo 10, o tema estudado é o da mensuração. Ao mencionar o ato de medir, introduz os elementos: decisão, amplificadores, influência do movimento browniano e do ruído de Johnson nas medições, o significado de caixas pretas, interação entre o objeto observado/medido e o instrumento de observado/medição. O modo como os temas e as discussões são propostos nessa primeira parte tem o potencial de estimular e desafiar a imaginação do leitor, o que pode fazer com que este passe a vislumbrar as coisas com outros olhos e se lançar nessa instigante aventura de pensar o mundo em que vivemos. A presença de temas de física moderna em um projeto concebido no início da década de 50 do século passado nos dá uma dimensão de quão defasado se encontra o ensino de Física nos dias atuais.

No capítulo 11, o comportamento da luz é descrito, recorrendo a situações imaginárias ou vivenciadas pelo leitor, para sobre elas desenvolver uma reflexão acerca dos fenômenos mentalizados. Aborda os temas fontes de luz, propriedades dos materiais em relação à luz (transparentes, coloridos, opacos), introduz as ideias de refração, reflexão e difração e propagação da luz, fazendo referência aos instrumentos sensíveis à luz visível e invisível. O capítulo é encerrado com a descrição de metodologias históricas para o cálculo da velocidade da luz. Ao fazer uma referência a um relato histórico sobre Galileu na página 18, apresenta um deslize na descrição de fatos; ao se referir ao cronômetro, inexistente na época, para medir o intervalo de tempo decorrido para um dos observadores ver a luz da lanterna de outro observador. Os exercícios propostos enfatizam uma abordagem qualitativa na busca em respondê-los.

No capítulo 12, é retomada a discussão sobre reflexão e imagens, visando a um maior aprofundamento. São contemplados os conceitos de sombra (umbra e penumbra), noções de raio, feixes e pincéis. Trata dos mecanismos fisiológicos da visão, das leis da reflexão e da formação de imagens em espelhos planos e parabólicos, bem como da natureza das imagens fornecidas por esses espelhos.

No capítulo 13, é abordado o fenômeno da refração da luz. Tal como no capítulo anterior para o fenômeno da reflexão, o texto apresenta uma discussão bastante detalhada sobre o fenômeno para o estabelecimento de uma equação que descreve esse

fenômeno. Para suprir o leitor de subsídios matemáticos pertinentes, o texto apresenta, na página 47, uma breve abordagem do conceito de seno dos ângulos internos de um triângulo retângulo. Poderíamos intuir que a razão pela qual não foram abordadas as funções trigonométricas no capítulo 4 – funções e escalas – seria a de que o momento ainda não seria oportuno para que o aluno conseguisse visualizar a relação entre os conceitos envolvidos.

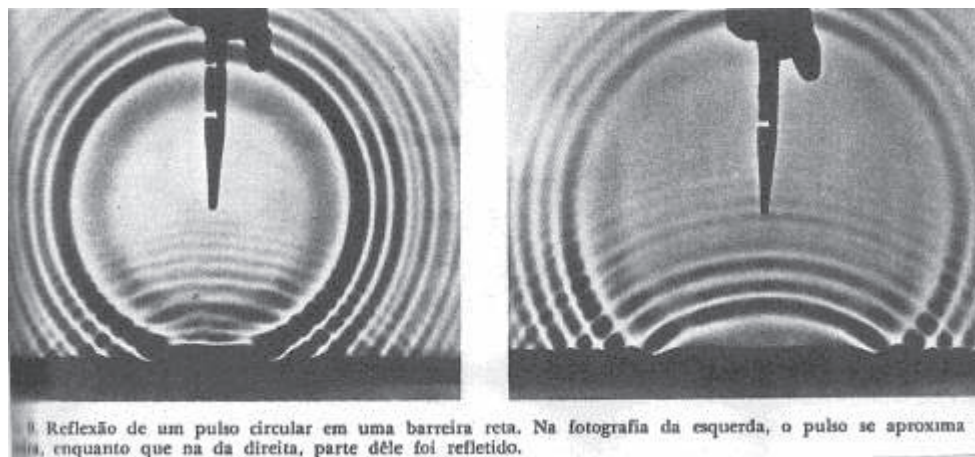
No capítulo 14, é abordado o comportamento dos raios que incidem e emergem de uma lente e o mecanismo de formação de imagens. Após, são descritos os instrumentos ópticos, seu funcionamento, suas limitações e a fisiologia do olho.

No capítulo 15, o leitor é levado a exercitar sua imaginação, tendo diante de si uma excelente discussão sobre o modelo corpuscular da luz. A busca da compreensão dos fenômenos da reflexão e da refração é feita através de uma analogia com o movimento de uma bola de tênis incidindo sobre uma superfície. Essa forma de desenvolver os conteúdos favorece a percepção de que a imaginação e a criatividade são fatores extremamente importantes na pesquisa científica, como, por exemplo, imaginar e construir aparatos experimentais. Pode ter o condão de envolver o aluno em uma reflexão sobre um recurso muito utilizado em ciências, que é a construção de modelos, suas validades e seus limites. O texto discorre sobre a necessidade de se pensar em outros modelos quando o anterior já não é mais capaz de explicar determinados aspectos de um fenômeno.

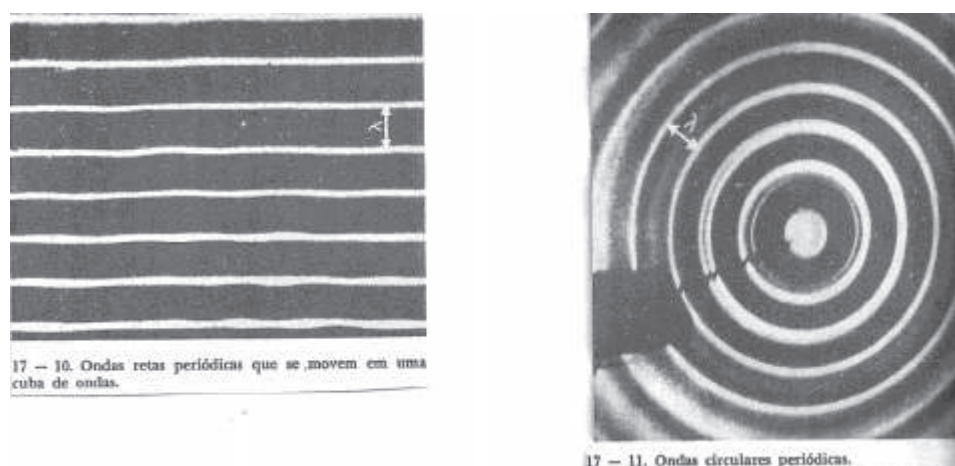
No capítulo 16, é apresentada ao estudante uma discussão não muito detalhada de alguns dos elementos de uma onda e das propriedades do movimento ondulatório. Salientando a não coincidência entre uma mola real e um modelo de mola, sugere a adoção de uma mola ideal como aproximação do real e discute a extensão desse modelo para a luz.

O capítulo 17 é uma continuidade dos capítulos 15 e 16 na abordagem dos conteúdos da óptica. Enquanto no capítulo 15 a natureza da luz é estudada como partícula, e o capítulo 16 pode ser visto como uma preparação para a abordagem da luz na perspectiva de natureza ondulatória, estudando movimento ondulatório em molas e/ou fios. O estudo das ondas é feito de uma maneira um pouco mais detalhada, introduzindo elementos que não foram abordados no capítulo anterior, qual seja, velocidade, comprimento de ondas, frequência, período e as propriedades de dispersão e difração. A metodologia utilizada consiste em fazer referências a situações do cotidiano bem como a descrições de aparatos e de reflexão sobre resultados de experimentos.

Enquanto no capítulo 15 é feita uma analogia dos fenômenos de reflexão e refração com o movimento de uma bola de tênis, no capítulo 17 tais fenômenos são estudados observando-se detalhes de fotos de ondas em água contida em tanque ou cuba.



**FIGURA 6** – Fotos sobre as quais o texto desenvolve discussão sobre movimento ondulatório.  
Fonte: PSSC. Parte II, p. 99.



**FIGURA 7** – Fotos sobre as quais o texto desenvolve discussão sobre movimento ondulatório.  
Fonte: PSSC. Parte II, p. 100.

O capítulo 18 trata do fenômeno da interferência entre ondas, descrevendo esse fenômeno observado em molas e em água contida em uma cuba. Desenvolve discussões que se caracterizam como uma tradução da linguagem textual para a linguagem matemática, fazendo uma ponte entre a representação dos fenômenos, "visualizados" através de ilustrações, e as atividades que consistem em realizar operações mentais mais complexas. Assim, o formalismo matemático que descreve os fenômenos é precedido de uma detalhada discussão, que constrói passo a passo as etapas de modelação matemática dos referidos fenômenos.

Tal tratamento matemático constitui-se em um aspecto árido e exige do professor sensibilidade e atenção para com aqueles pouco familiarizados com as operações lógico-matemáticas em um nível um pouco mais complexo. Sem os devidos cuidados, abordagens como estas contribuem para uma falsa constatação de que a Física se destina aos indivíduos privilegiados, aos gênios, cujo patamar está fora do alcance de uma grande parcela, que acaba tendo ojeriza às "ciências exatas". As discussões sobre o fenômeno de interferência de ondas produzidas e observadas em cubas objetivam possibilitar a formação de uma base teórica que, juntamente com as bases dos capítulos antecedentes, formam um instrumental utilizado no capítulo 19 para o estudo das ondas luminosas.

Tal como no capítulo 18, o texto do capítulo 19 apresenta uma discussão pormenorizada ao descrever as figuras de interferências produzidas por ondas luminosas, servindo-se dos recursos construídos no estudo das ondas de água em uma cuba. O texto, contrariamente aos manuais atuais, não aborda a óptica em duas partes separadas – óptica geométrica e óptica física. O estilo textual permite trabalhar os aspectos geométricos envolvidos à medida que as características corpusculares e ondulatórias vão surgindo. Tal como no capítulo anterior, o tema desse capítulo exige do professor conduzir com "tato" o processo de ensino, para que o formalismo matemático pertinente não transforme o conteúdo em algo enfadonho e difícil de ser entendido.

Ao abordar o movimento ao longo de uma trajetória, o texto do capítulo 5 fornece ao estudante os instrumentos essenciais para a compreensão do movimento, seja ele uniforme ou variado. Tal instrumental se mostra útil quando, na parte II, se estuda o movimento ondulatório tanto em meios materiais como uma corda ou água contida em uma cuba e em meios não materiais, como no caso da propagação da luz. As habilidades que podem ser adquiridas, tanto no capítulo 5, ao se tratar da cinemática, como no capítulo 6, no estudo dos vetores, revelam-se providenciais recursos para o estudo das relações entre força e movimento no capítulo 20.

Ao contrário do capítulo 19, no qual o texto faz uma brevíssima referência à história da ciência ao citar a experiência de Young (página 126 da parte II do PSSC), no capítulo 20 o texto se apoia fortemente nos trabalhos de Aristóteles, Galileu e Newton, a partir dos quais desenvolve minuciosamente uma reflexão sobre o movimento e suas causas.

Abordando a evolução do pensamento sobre os conceitos de força e movimento,



o texto conduz o leitor a vislumbrar a beleza da teoria aristotélica, que se caracteriza pela consistência e harmonia. Embora deixa claro que o filósofo concebia a existência de três movimentos diferentes – movimento na superfície da Terra, movimento dos corpos que caem e movimento dos corpos celestes – e de situar a Terra no centro do Universo, o texto não se preocupa em apresentar uma reflexão sobre o pensamento de Aristóteles com mais detalhes, como, por exemplo, a concepção das esferas concêntricas que giravam em torno da Terra e que continham os corpos celestes, a divisão do mundo em sublunar e supra lunar, a constituição material do mundo sublunar– ar, fogo, água e terra –, a não concordância com a existência do vácuo e a ideia de perfeição simbolizada pelas figuras geométricas constituídas pelo círculo e pela esfera.

Alguns desses aspectos são discutidos no capítulo 22, ao descrever os sistemas planetários primordiais. Essa abordagem sobre a física aristotélica é concluída com a observação de que as leis de Newton são válidas tanto na Terra como no céu, abrangendo os três tipos de movimentos descritos por Aristóteles (página 11 da parte III do PSSC). Desenvolve (página 10) uma reflexão ao fazer uma ponte entre os fenômenos observados no dia-a-dia com o pensamento de Aristóteles, como, por exemplo, a necessidade da existência de uma força para manter um corpo em movimento constante, ilustrado pela figura que se segue. Na física aristotélica, não havia lugar para a inércia.



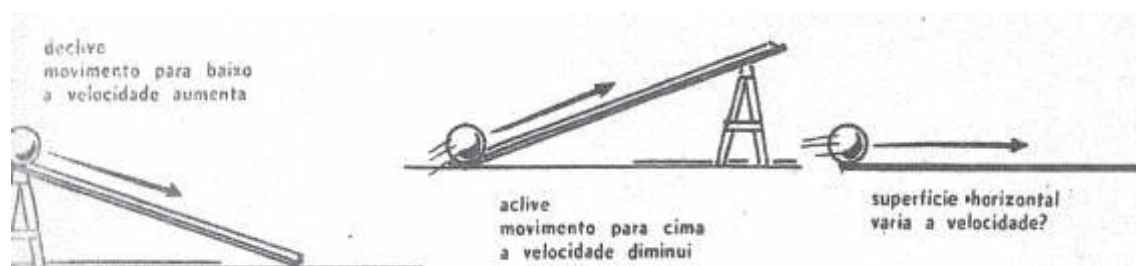
**FIGURA 8** – O movimento uniforme parece necessitar de uma força constant.

Fonte: PSSC. Parte III, p. 10.

Em um primeiro momento, o livro explicita a concepção de Aristóteles sobre o universo e o movimento e depois, em um segundo momento, faz um breve resgate histórico dos trabalhos de Galileu para apresentar a versão atualmente aceita, com auxílio de ilustrações das páginas 11 e 12:

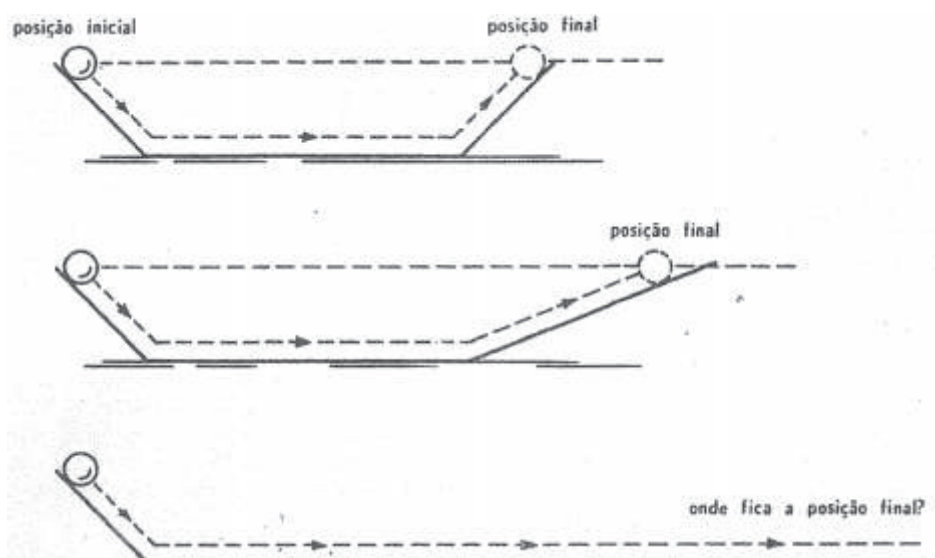
O livro introduz um elemento de ceticismo ao afirmar que não existe nenhuma prova de que Galileu tenha realizado as experiências indicadas nas

figuras, se constituindo em experiências "pensadas". É uma rica oportunidade para o professor intermediar um debate com os alunos sobre o papel dos experimentos e o desenvolvimento do raciocínio a partir dos dados experimentais. Esse excerto se constitui em um valioso subsídio para discussão ao ressaltar a importância dos trabalhos de Galileu por ter pavimentado o caminho para que Newton elaborasse a grande síntese da mecânica.



**FIGURA 9** – O texto utiliza essa figura para explicar a estratégia de Galileu para formular a lei da inércia em termos de uniformidade do movimento.

Fonte: PSSC. Parte III, p. 11.



**FIGURA 10** – O texto utiliza a figura acima para explicar o raciocínio pelo qual Galileu concluiu que em um plano horizontal, o movimento é perpétuo.

Fonte: PSSC. Parte III, p. 11.

O texto descreve uma série de experimentos que podem ser realizados com recursos "modernos", com ilustrações que permitem fazer uma aproximação idealizada da realidade, como o disco que desliza sobre gelo seco. O capítulo contempla uma discussão sobre a relação entre a variação da velocidade e a ação de uma força que atua durante certo intervalo de tempo, o significado da constante de proporcionalidade como massa inercial. Desenvolve essa discussão usando a descrição de experimentos e a

expressão matemática do teorema do impulso de uma força e a variação da quantidade de movimento, porém, sem fazer referências a tais grandezas. Discorre sobre as metodologias para medidas de massa inercial e de massa gravitacional para argumentar que as massas inerciais de todos os objetos são proporcionais às suas massas gravitacionais.

É usado o formalismo do impulso e da variação da quantidade de movimento para formular a segunda lei de Newton, apresentando-a também na formulação do matemático suíço Leonhard Euler, sem nenhuma referência aos modos como cada cientista conduziu seus estudos. Aborda também a metodologia para cálculos da resultante de um conjunto de forças, com a pertinente abordagem vetorial, mas tudo baseado em cima de descrições de experimentos. Apresenta uma breve discussão sobre os limites de validade da mecânica newtoniana, como é o caso para velocidades de valores muito altos, apontando para a necessidade de se modificar a lei de Newton e a realização dessa tarefa por Einstein. O livro não apresenta nenhuma abordagem da mecânica relativística.

O texto do capítulo 21 se inicia com uma explanação do significado de peso e a explicitação do conceito de campo gravitacional. Descreve o movimento de queda livre com sua pertinente formalização matemática e analisa o movimento dos projéteis, discutindo a forma da trajetória e a relação entre as variações da velocidade e a força gravitacional. Ao abordar o movimento circular também com seu pertinente formalismo matemático, prepara o leitor para entender o mecanismo de lançamento de foguetes/satélites. Apresenta um breve comentário sobre a relação entre ciência e tecnologia ao se referir à impossibilidade prática de lançamento de satélites no século XVII, quando Newton realizou a síntese da mecânica. Disponibiliza também uma descrição minuciosa do movimento harmônico simples, sistemas referenciais, forças fictícias e os limites de validade das leis de Newton a partir da experiência de Foucault.

O texto do capítulo 22 apela para as observações advindas do cotidiano para contextualizar. Faz uma incursão histórica no universo grego para resgatar as contribuições dos sábios da Antiguidade. Descreve o universo proposto por Eudoxio, o sistema de esferas concêntricas, centradas na Terra e a teoria dos epiciclos (Apolônio e Hiparco) como tentativas para resolver o problema proposto por Platão referente às trajetórias irregulares dos planetas e o conseqüente sistema ptolomáico. Discorre sobre as contribuições de Copérnico, Tycho Brahe e Kepler, coroando o capítulo com uma discussão dos trabalhos de Newton sobre a gravitação universal. É um capítulo lastreado

em narrativas históricas comentadas.

Intencionando apresentar ao estudante uma preparação prévia para o estudo de conceitos relacionados com a quantidade de movimento e sua conservação, no capítulo 23 há uma reflexão sobre o tema do impulso de uma força com uma discussão estruturada matematicamente a partir de abstrações de situações do cotidiano.

O texto apresenta a relação entre o impulso total e a variação da quantidade de movimento, apresentando uma discussão mais pormenorizada da associação entre as grandezas envolvidas no conceito de quantidade de movimento. Faz um breve resgate histórico do trabalho de Newton ao explicar que o cientista expressou sua lei do movimento em termos de variação da quantidade de movimento e não em termos de variação da velocidade. A variação da quantidade de movimento e a sua conservação são abordadas através da descrição de experimentos acompanhados de ilustrações - instantâneos de colisões - e discussão estruturada matematicamente. No breve relato histórico das contribuições de alguns pesquisadores (John Wallis, Christopher Wren e Christian Huygens), chama a atenção que nenhuma menção é feita a René Descartes a respeito de seus trabalhos sobre quantidade de movimento.

O texto contempla também uma instigante discussão sobre a variação da massa e a variação da velocidade de um foguete e o uso desse conhecimento para colocação de um satélite a orbitar em torno da Terra. Interessante que após conduzir uma discussão sobre o movimento do centro de massa, articulada a um típico desenvolvimento do formalismo matemático, o texto aborda a terceira lei de Newton a partir do raciocínio utilizado na elaboração dos conceitos relacionados com a conservação da quantidade de movimento em geral.

Para abordar o tema trabalho e energia cinética no capítulo 24, o texto dialoga com o leitor, discorrendo sobre o significado de energia em nossas vidas, apresenta o conceito de trabalho como uma medida de transferência de energia, direcionando a discussão para o estabelecimento de sua expressão matemática e para o conceito de energia cinética. Uma discussão interessante é apresentada comparando as expressões da variação da quantidade de movimento-força que atua no tempo – e da variação da energia cinética – força que atua no espaço (p. 106, parte III), apontando para sua importância na Física Moderna de alta energia, através de um breve relato histórico sobre a descoberta do nêutron.

Fazendo um breve retrospecto do que foi tratado no capítulo 24, no capítulo 25 é desenvolvida uma reflexão sobre a parcela de energia cinética que "desaparece" nas

fases intermediárias em uma colisão, apelando para o termo "armazenar" e então elaborar o conceito de energia potencial – através da descrição de um experimento idealizado que consiste na colisão de uma massa com uma mola. Discutindo a relação entre energia cinética e energia potencial elástica, apresenta a expressão da energia mecânica e ao aludir para constância da soma de ambas (p.119), "antecipa" a ideia de conservação, a qual é apresentada na sequência da página 131, após abordagem do conceito de energia potencial gravitacional.

Diferentemente das obras atuais que trabalham a temática do calor totalmente "separada" do estudo da mecânica, no capítulo 26 são retomados os conceitos de força, trabalho e energia para analisar as grandezas pertinentes ao estudo do calor. Começando pela pressão de um gás, são discutidas as equações envolvidas no estudo da energia cinética das moléculas e a relação entre energia e temperatura.

Apresenta um pequeno relato histórico, discorrendo sobre os trabalhos de cientistas nessa área da física. As reflexões sobre energia interna de um sistema são desenvolvidas a partir de "experimentos idealizados" e de breves menções aos trabalhos de alguns cientistas que estudaram as relações entre o calor e o trabalho mecânico. A variação da energia interna é mencionada através do aumento da temperatura proporcionado pelo trabalho mecânico (p. 148), mas sem nenhuma referência à primeira lei da termodinâmica. O desenvolvimento textual é bastante genérico, abrangendo temas como trabalho, energia, transmissão de calor, etc., o que pode ajudar na compreensão da física como um todo, ao invés de conhecimentos armazenados separadamente em arquivos. A segunda lei da termodinâmica é abordada também de maneira implícita na discussão sobre a quantidade de calor fornecida a uma máquina térmica e o trabalho por ela realizado.

No capítulo inicial dessa parte, o capítulo 27, é abordado o tema da eletricidade. A discussão se pauta em descrições de experimentos com materiais simples e outros um pouco mais elaborados, tais como processos de eletrização, condutores e isolantes e forças elétricas entre partículas. Discorre sobre corrente elétrica, condutividade e alguns dispositivos construídos em vista dos novos campos que foram surgindo com a física moderna, o que é surpreendente pelo contexto em que o projeto foi concebido.

A abordagem sobre a lei de Coulomb e a carga elétrica elementar é iniciada com a descrição da experiência por Coulomb e os resultados obtidos, no capítulo 28. Entre a realização da experiência e a formulação da lei existe um processo de imaginação, tentativas, trocas de ideias com os pares, mas isto não é contemplado nos manuais, o

que pode levar à crença de que o protagonista é um gênio por que teve um insight e resolveu o problema. O texto deixa explícito que essa lei é fruto de várias gerações, ao citar a contribuição de Cavendish e de Maxwell, que no século XIX introduziu o expoente 2 (quadrado da distância entre as cargas) na lei do inverso do quadrado, mas nada afirma sobre os contextos em que tal lei foi trabalhada.

A demonstração é feita discutindo as relações entre as grandezas físicas envolvidas no fenômeno. A formulação matemática da lei é apresentada após uma detalhada discussão sobre essas relações. Enquanto em obras mais recentes, força elétrica e campo elétrico são apresentados em capítulos separados, aqui ambos são abordados em um único capítulo, e o conteúdo sobre campo elétrico é mais extensivamente trabalhado.

O conceito de carga elementar é discutido por analogia, processos de obtenção de medidas diretas e indiretas num primeiro momento e depois é apresentado um pequeno relato histórico da experiência de Millikan na determinação do valor da carga elementar. Discorre sobre o funcionamento da balança elétrica de precisão e como usá-la para determinação experimental da carga de uma pequena esfera e por dedução, como obter a constante eletrostática da Lei de Coulomb. Finaliza abordando a ideia de conservação de carga elétrica e o método para obtenção da carga do elétron, fazendo breve referência aos trabalhos de Rutherford e Geiger no campo da radioatividade.

No capítulo 29, são abordados aspectos relacionados à energia em movimento de cargas em campos elétricos, com ampla discussão sobre força, trabalho, energia, corrente elétrica, bateria, campo elétrico, diferença de potencial e força eletromotriz. Descreve alguns aparatos experimentais, seu funcionamento e uma bem fundamentada argumentação, de modo a justificar determinadas experiências. Comenta sobre a relação entre as grandezas envolvidas em um determinado fenômeno e sobre as unidades de medida adequadas para exprimir os resultados almejados. Na segunda parte desse capítulo, são abordados de modo implícito o campo elétrico e o potencial em condutores em equilíbrio eletrostático e superfície equipotencial. Aprofunda a discussão sobre força eletromotriz e sobre campo elétrico no interior de um condutor.

Ao descrever processos de medida de diferença de potencial, faz uma análise descritiva das grandezas envolvidas e suas inter-relações. Discute como a corrente elétrica varia com a diferença de potencial nos gases ionizados, na emissão termiônica e nos metais. Neste último, aborda a proporcionalidade entre corrente e diferença de potencial através da lei de Ohm. Analisa a diferença de potencial e a corrente elétrica na

associação de resistores em paralelo e em série através do desenvolvimento textual e dos respectivos gráficos da corrente como função da diferença de potencial.

Característico da obra, o texto do capítulo 30 apresenta uma descrição dos fenômenos magnéticos e sua relação com os fenômenos elétricos. Explora as características vetoriais do campo magnético e o processo para sua determinação. Discorre sobre campos magnéticos constantes produzidos por correntes elétricas constantes e sobre a utilização deles no âmbito da física moderna, na medida de massas de partículas alfa.

Indução e ondas eletromagnéticas é o tema do capítulo 31, em que são apresentadas discussões acerca dos fenômenos desencadeados quando os campos elétricos e magnéticos variam com o tempo. Noções e conceitos de corrente e tensão alternadas, força eletromotriz, fluxo magnético, indução eletromagnética e radiação eletromagnética são introduzidos e explorados detalhadamente, sem recorrer de modo excessivo ao formalismo matemático. O texto se caracteriza por não apresentar as equações destacadas em retângulos chamativos, mas figurando ao longo do desenvolvimento textual. Um tratamento mais estruturado matematicamente é apresentado em um quadro ao final do capítulo, em que as equações e as relações matemáticas são precedidas de pertinentes discussões teóricas. Faz um breve resgate das contribuições de Faraday, Maxwell e Hertz para a construção da teoria eletromagnética, mas não nenhum indicativo de se discutir seus trabalhos à luz da história e da filosofia da ciência.

No capítulo 32, os temas abordados atestam o caráter inovador e ousado da proposta da obra em vista do contexto em que foi concebida. É apresentada uma incursão no limiar nos limites da física clássica, com discussões sobre o modelo atômico de Rutherford, sua pertinência e os limites de sua validade.

Para auxiliar o leitor a formar uma ideia do que seja espalhamento de partículas alfa, recorre-se a uma analogia na qual os átomos são representados por fardos de palha em cujo interior encontram-se peças maciças de platina. Tais fardos são alvejados por balas atiradas com rifle. Sobre as trajetórias dos projéteis que atravessam o fardo e dos que são desviados pelas peças maciças, o texto desenvolve uma discussão pormenorizada acerca da natureza do átomo. Um aspecto também muito interessante dessa obra e que está na maioria das vezes ausente das salas de aula diz respeito à construção de conceito de modelo na investigação científica. As atividades propostas no final desse capítulo visam a desafiar o aluno a conceber formas de investigação,

mobilizando sua capacidade imaginativa e os conhecimentos adquiridos a priori. Com o objetivo de um maior enriquecimento cultural, são sugeridas leituras complementares nos finais dos capítulos.

Nesse penúltimo capítulo, o 33, os conteúdos abordados referem-se ao tema fótons e ondas associadas à matéria. Como introdução, é feita uma muito breve incursão pela história da ciência relativa às dificuldades da física clássica em elaborar teorias mais consistentes, que fossem capazes de explicar aspectos que teorias anteriores (modelo de Rutherford) se mostraram incapazes de solucionar.

O texto discorre sobre a natureza corpuscular da luz e sobre a natureza ondulatória da matéria, desenvolvendo uma reflexão fundamentada em descrição de experimentos e de considerações sobre situações idealizadas. Para que o estudante possa transitar nessa seara, com suficientes subsunsores para que ocorra aprendizagem significativa, é disponibilizado um tratamento probabilístico que o possibilite entender a combinação entre o comportamento ondulatório e corpuscular. São também explicitados os efeitos foto-elétrico e Compton de modo bem detalhado, onde são mencionadas as contribuições de Einstein, Compton e Planck. No final do capítulo, são mostradas as fotos de Faraday, Maxwell, Thomson, Rutherford e Niels Bohr, com as datas do nascimento e morte e referências aos trabalhos desenvolvidos por cada um deles. Os exercícios propostos requerem um tratamento mais quantitativo além do esforço de idealizar experimentos. A leitura complementar sugerida visa a consolidar o conhecimento do estudante nos domínios da física moderna. Embora não esteja contemplado no desenvolvimento textual, um dos livros sugeridos, de George Gamow, tem por título "O Princípio da Incerteza". O PSSC se mostra, assim, bastante ousado em seus objetivos em promover uma alfabetização científica se levarmos em conta o contexto em que foi lançado.

Sistemas quânticos e a estrutura dos átomos é o tema do último capítulo, o 34, em que é apresentado um aprofundamento do que foi tratado no capítulo anterior, iniciando com algumas considerações a respeito da inadequação do modelo de átomo de Rutherford em explicar a estabilidade do átomo. Reflete sobre a necessidade de mudança na teoria, combinando os conceitos de partículas e ondas. Discorre sobre a distribuição discreta de energia nos átomos em níveis bem definidos e suas relações com as linhas espectrais de emissão e absorção. Aqui, como em toda a extensão do conteúdo programático da obra, a formulação matemática é acompanhada de discussões acerca dos fenômenos estudados e os exercícios apresentados visam a aquisição de



habilidades e agilidades na interpretação dos enunciados, operações matemáticas e identificação de relações de proporcionalidade entre grandezas.

Apesar das referências a história da ciência, que são breves, e das leituras sugeridas, visando incrementar a cultura do aluno, podemos dizer que os idealizadores da obra não tiveram a preocupação ou interesse em propor um ensino de física na perspectiva da história e da filosofia da ciência. O foco estava na formação de cientistas para recuperar o terreno perdido para a extinta União das Repúblicas Socialistas Soviéticas, lideradas pela Rússia.

### 2.1.2 Harvard Project Physics

Nos Estados Unidos, após a Segunda Guerra Mundial, uma voz já se fazia notar na defesa da utilização da História da Ciência no ensino de Física. De acordo com Matthews (1995, p. 170), "[...] a história da ciência tinha um lugar de destaque nas disciplinas de ciências dirigidas a estudantes da graduação de outros cursos [...]". No final da década de 1940, James Bryant Conant, então pró-reitor geral de graduação da Universidade de Harvard, introduziu casos de História da Ciência no currículo da instituição, difundindo-os largamente. Conforme Gebara (2001), Conant explicava que as pessoas poderiam compreender melhor os métodos da ciência examinando sua evolução na história. Seu trabalho pavimentou o caminho para o desenvolvimento do Project Physics Harvard por Gerald Holton, Fletcher G. Watson e F. James Rutherford. De acordo com Gebara (2001), as ideias de Conant foram colocadas em prática no ensino secundário em 1969 por Leopold Klopfer, em um livro cujo título era "History of Science Cases". Mais tarde, Gerald Holton, em parceria com Stephen Brush, Fletcher Watson e F. James Rutherford e outros, desenvolveram o Projeto Curso de Física de Harvard para ser trabalhado em escolas secundárias.

Para o desenvolvimento do Projeto Curso de Física, foram produzidos o livro-texto com o manual de experiências e atividades, o guia do professor, as coletâneas de textos, livros de instrução programada, unidades suplementares, filmes sem-fim "Loop", transparências, filmes de 16 mm, aparelhos e livros de testes. Pelo exposto no prefácio da obra, a proposta segue uma linha que realça o papel do aluno no desenvolvimento das atividades propostas: "Com a ajuda dos materiais de instrução e a orientação do professor, com o próprio interesse do aluno e esforço, cada aluno pode esperar ter com o curso uma experiência bem sucedida e válida" (RUTHERFORD, HOLTON e WATSON, 1985, p. XI).

No livro-texto, o desenvolvimento teórico dos conteúdos se dá na forma de narrativas, revelando a preocupação dos autores em fundamentar o currículo em princípios históricos, enfatizando as dimensões cultural e filosófica da ciência. Procuram mostrar a ciência como um empreendimento humano e o conhecimento acumulado como herança cultural a que todo indivíduo tem direito. Ao longo do desenvolvimento teórico dos conteúdos, os autores apresentam questões qualitativas como forma de ajudar os alunos a exercitar sua capacidade de pensar e refletir sobre os fenômenos discutidos no texto.

O estilo de narrativa exerce certa atratividade sobre o leitor, pois de acordo com Matthews (1995, p. 171), o projeto Harvard teve "sucesso em evitar a evasão dos estudantes, atrair mulheres para os cursos de ciências, desenvolver a habilidade de raciocínio crítico e elevar a média de acertos alcançados em avaliações [...]". As informações históricas se apresentam diluídas nos textos de maneira articulada, dialogando com os conteúdos específicos, sem a demasiada ênfase na matematização dos conceitos e leis, como ocorre com a maioria dos livros atualmente. Mas o sucesso da obra nos Estados Unidos perdurou enquanto foi possível "treinar" professores, principalmente em relação à abordagem contextual. Oliveira e Freire Jr. *apud* Pena (2012, p. 1701-2) informam que "[...] alguns anos depois, o governo Nixon cancelou todo o treinamento e tornou impossível a continuação daquele tipo de projeto em grande escala para o ensino secundário".

O Projeto Harvard foi traduzido para a língua portuguesa em Portugal pela Fundação Calouste Gulbenkian, em 1978, mas conforme Pena (2012, p. 1701-3), não chegou a ser efetivamente introduzido no Brasil por força de uma moção aprovada por professores brasileiros no Simpósio Nacional de Ensino de Física em 1970, com o pretexto de desenvolver um projeto genuinamente brasileiro, mas que na verdade, a abordagem contextual no ensino de física não contava com nenhuma sensibilidade da comunidade de professores na época, tanto que os projetos brasileiros PEF e FAI não levaram em consideração as contribuições da história da ciência para o ensino de física.

No prólogo da Unidade 1, os autores apresentam um recorte da história da ciência, no qual resgatam os trabalhos de Frédéric Joliot, Irène Curie, Enrico Fermi e de outros colaboradores no campo da física nuclear, desenvolvendo uma reflexão sobre alguns aspectos do trabalho científico. Ao mesmo tempo em que o apresentam como um processo coletivo, salientam a importância das contribuições de cada pesquisador, pois

"o ingrediente essencial da ciência é o raciocínio e a criatividade individuais" (UNIDADE 1, p. 4).

O prólogo é explícito quanto à concepção de ciências da obra ao enfatizar o caráter transitório de suas sentenças, rejeitando a visão de ciência como um conjunto de verdades imutáveis. O texto, na página 7, deixa implícito que para compreender a física é necessário ir ao mundo da vida, onde o ser vivencia e atribui significados aos fenômenos: "[...] A física começou no mundo das dimensões do homem – o mundo das carruagens de cavalos, da chuva a cair, das setas a voar [...]".

Ao contrário da abordagem feita pelo PSSC aos temas de espaço e tempo, o Harvard Project Physics se limita a um brevíssimo esboço sobre a ideia de ordem de grandeza, tanto para o espaço como para o tempo. Conhecimentos mais detalhados acerca dessas grandezas são abordados à medida que são desenvolvidos os conteúdos programáticos.

Enquanto na proposta do PSSC a abordagem dos conteúdos de cinemática aparenta partir do pressuposto de que o aluno já possua como pré-requisitos conhecimentos matemáticos para o estudo dos movimentos – gráficos, principalmente – no Harvard Project Physics é disponibilizado ao aluno um acompanhamento passo a passo no sentido de ajudá-lo a construir e a reconstruir os necessários conhecimentos matemáticos na estruturação do pensamento físico. Assim, no capítulo 1, os conteúdos da cinemática recebem um tratamento matemático articulado com uma detalhada discussão acerca dos fenômenos físicos em estudo: distância, tempo, deslocamento, velocidade e aceleração, discussão esta que contempla também a construção e interpretação de gráficos.

No capítulo 2, é retomado o estudo dos movimentos, agora em uma perspectiva histórica. Na seção 2.4 (página 49), é explícita a razão do olhar histórico sobre o movimento, ao resgatar o pensamento de Galileu: "[...] Galileu apercebeu-se de que, de todos os movimentos observáveis na natureza, o de queda livre era a chave da compreensão de todos os movimentos dos corpos. O golpe de gênio manifestou-se na decisão de qual o fenômeno-chave a estudar [...]". Mas com a visão da física como um processo em evolução, o livro inicia o estudo do movimento com uma incursão na Antiguidade Grega, buscando – na física aristotélica – o conhecimento acerca do movimento elaborado pelos estudiosos gregos.

Discorre sobre o modelo de universo concebido por Aristóteles, como ele explicava os movimentos nas proximidades da Terra. Observa que os trabalhos do sábio

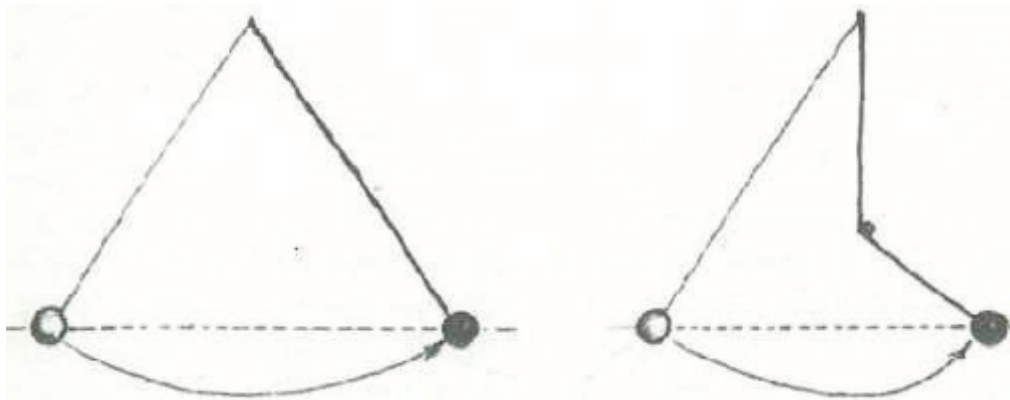
estagirista, ignorados por um período de 1500 anos após o declínio da Antiga Civilização Grega, foram redescobertos e incorporados aos trabalhos dos pensadores – mestres e teólogos cristãos – a partir do século XIII d.C. e assim mantido durante boa parte da Idade Média até o início do Renascimento, com modificações propostas por alguns cientistas, entre eles, João de Alexandria. O esboço apresentado sobre a trajetória de Galileu mostra-o como herdeiro de uma tradição calcada sobre o universo grego, mantido e defendido pela Igreja e cujos pilares são questionados e derrubados através de suas obras, principalmente "Diálogo sobre os dois grandes sistemas universais" e "As duas novas ciências".

Refletindo sobre essa segunda obra, o texto conduz o leitor pelas linhas do pensamento de Galileu para descrever de que forma a distância percorrida por um corpo em queda livre varia com o tempo. Isto porque, de acordo com o texto da seção 2.6 (página 52), era impossível uma medida direta da velocidade de um corpo em queda livre imediatamente antes de atingir o chão. Então, conforme a seção 2.7 (página 53), preferiu-se não usar a Regra de Merton pelo fato desta envolver uma velocidade, omitindo, então, referências aos trabalhos dos matemáticos do Merton College da Universidade de Oxford e de Nicolau D'Oresme, dos quais se fez referência na análise dos conteúdos do PSSC. O texto desse capítulo se apresenta adequado ao nível cognitivo dos alunos do Ensino Médio, pois sem fugir da fidelidade à história através da disponibilização de textos originais – traduzidos – faz uma reconstrução da história, de modo a torná-lo inteligível à compreensão dos alunos. Por melhor que seja a qualidade do material, o que deve ficar claro é que de modo algum se deve deixar em segundo plano o papel do professor no processo de construção do conhecimento por parte do aluno.

Enquanto o capítulo anterior mostra como Galileu descreveu o movimento, o capítulo 3 desenvolve uma discussão sobre os trabalhos de Newton, com minuciosa explicação de cada uma das três leis, de forma articulada com a História da Ciência através dos resgates dos trabalhos de Aristóteles e de Galileu.

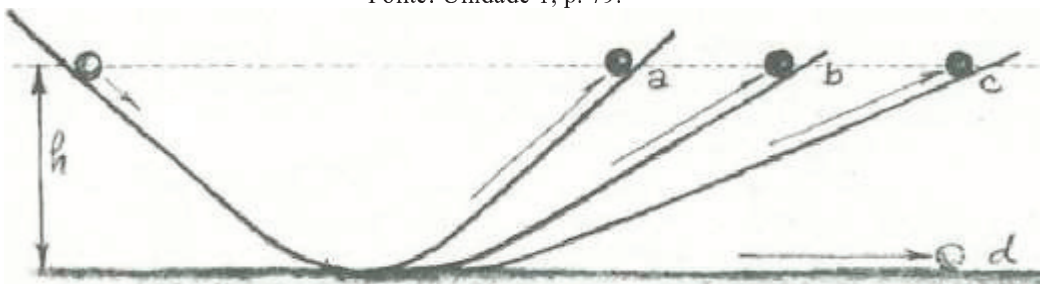
Descrevendo as situações de forças em equilíbrio, enumera as características das forças, e as define como grandezas vetoriais e estabelece uma ponte para o desenvolvimento de noções sobre vetores e suas operacionalizações gráfica e analítica, sem apresentar o caráter enfadonho e cansativo da excessiva matematização. Prepara, assim, o terreno para fazer uma apresentação didática sobre a primeira lei do movimento de Newton.

A abordagem dessa primeira lei é realizada através da descrição de uma experiência, na qual se observa um cubo de gelo que se desloca sem atrito e dos resgates dos trabalhos de Galileu sobre movimentos uniformes, usando figuras para facilitar a compreensão (páginas 79 e 80). O texto salienta que historicamente tal experiência foi realizada por Galileu de forma idealizada, por meio do pensamento, devido à indisponibilidade de recursos na época. A seção 3.6 (página 81) encerra a abordagem sobre a primeira lei com uma detalhada discussão sobre seu significado.



**FIGURA 11** – Esquema representado como recurso para compreensão do significado da Primeira Lei do Movimento de Newton.

Fonte: Unidade 1, p. 79.



**FIGURA 12** – Esquema representado como recurso visando à compreensão da Primeira Lei do Movimento de Newton.

Fonte: Unidade 1, p. 80.

O texto disponibiliza a abordagem da Segunda Lei do Movimento de Newton com uma breve discussão sobre o conceito de proporcionalidade entre as grandezas em termos de força, massa e aceleração, destacando a noção de massa de um corpo como a medida de sua inércia. Formula essa lei em termos da equação apresentada por Euler ao invés daquela formulada por Newton, em termos de impulso de uma força e variação da quantidade de movimento que esta provoca no movimento do corpo.

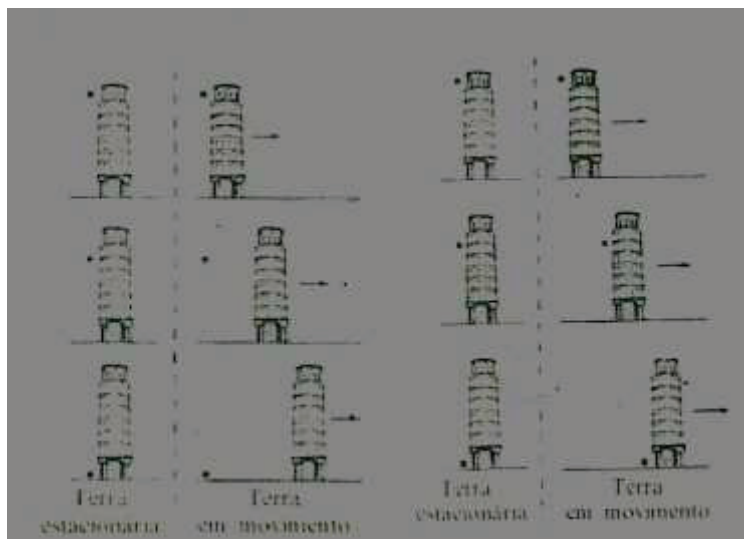
Diferentemente do PSSC, o Harvard Project Physics não trabalha as ideias de massa inercial e massa gravitacional de um modo mais profundo. O texto se restringe a salientar as diferenças entre peso e massa, apontando para o caráter de invariância da

massa no âmbito da mecânica newtoniana – a massa de um corpo é a mesma tanto na Terra, como na Lua ou em outro corpo celeste. A necessidade de se medir massas e forças em uma atividade de pesquisa é apresentada no texto com uma reflexão sobre as unidades de medidas, suas definições, suas representações e protótipos. A Terceira Lei do Movimento de Newton recebe aqui um tratamento mais conceitual, sendo discutida a partir de observações do cotidiano. O capítulo é finalizado com uma breve reflexão sobre a utilização das leis de Newton e sobre as forças básicas da natureza.

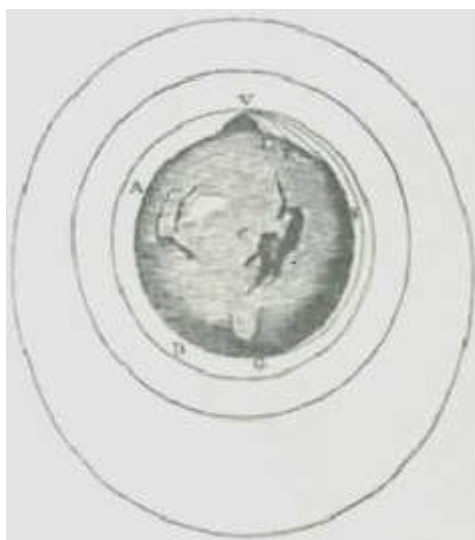
Na introdução desse último capítulo da Unidade 1, o capítulo 4, os idealizadores da obra utilizam-se do evento do lançamento de um foguete como forma de contextualizar o estudo dos mais diferentes tipos de movimentos. O texto mostra a trajetória do foguete dividida em várias partes – reta vertical ascendente, trajetória curva para entrar em órbita ao redor da Terra, trajetória circular segunda a qual orbita em torno da Terra, saída da trajetória circular em direção à Lua, trajetória circular ao redor da Lua, trajetória curva não-circular para tocar a superfície lunar.

Tal procedimento introduz o leitor no estudo dos movimentos e de suas respectivas trajetórias. Assim, nas seções 4.2 e 4.3, desenvolve uma discussão sobre os movimentos componentes do lançamento horizontal, ao final da qual faz um breve resgate do trabalho de Galileu, no qual ele deduziu a forma parabólica das trajetórias. Nesse resgate, discorre sobre o embate entre Galileu e seus adversários acerca do movimento da Terra em torno de si mesma e ao redor do Sol e, analisando os argumentos a respeito da trajetória de uma pedra abandonada do alto de uma torre ou de um objeto abandonado do cesto da gávea do mastro de um navio em repouso ou em movimento uniforme, conduz a discussão para a ideia de relatividade dos movimentos – a forma da trajetória é reta vertical para quem está dentro do navio e uma parábola para quem está parado na margem vendo o navio em movimento uniforme.

Os autores disponibilizam ainda uma discussão sobre o movimento circular e as grandezas envolvidas neste movimento – velocidade e aceleração tangenciais, aceleração e força centrípeta – buscando assim municiar o leitor para compreender o mecanismo de colocação de um satélite a orbitar em torno da Terra. Começando pela observação das formas da trajetória dos projéteis lançados na horizontal, apresenta as situações nas quais a trajetória passa a ser circular, auxiliando o leitor a perceber que da altura de onde o objeto é lançado, este estará em constante queda livre, sem, no entanto, tocar o solo.



**FIGURA 13** – Controvérsia sobre o movimento da Terra: esquema à esquerda ilustrando o pensamento dos adversários de Galileu e à direita, o pensamento de Galileu.  
 Fonte: Unidade 1, p. 109 e 110



**FIGURA 14** – Ilustração como forma de auxiliar a compreensão do mecanismo de lançamento de satélites.  
 Fonte: Unidade 1, p. 102.

O prólogo da segunda unidade apresenta a astronomia, a mais antiga das ciências, como construída a partir das vivências do homem, que observando os fenômenos que ocorrem na "abóboda celeste", busca descrevê-los, compreendê-los na sua essência, atribuindo significados e elaborando explicações, as quais, consistindo de mitos e lendas nos primórdios da civilização, passaram por um processo de racionalização na Revolução Científica do século XVII, têm hoje sua validade reconhecida. Menciona que como uma forma de garantir a subsistência a invenção do calendário era indispensável no planejamento das atividades agrícolas, sendo sua concepção e aperfeiçoamento uma tarefa desempenhada por sacerdotes, isto é, os

primeiros astrônomos.

É citada a construção de monumentos pelos mais diversos povos da Antiguidade como fruto das necessidades práticas e da imaginação na busca de conhecimentos acerca da marcação do tempo. Em breve esboço, discorre sobre a contribuição dos gregos, dos egípcios e a preservação do conhecimento pelos muçulmanos, possibilitando, assim, após longo período, que o Ocidente tomasse contato com a cultura grega mediante as traduções efetuadas pelos árabes quando estes dominaram a Europa.

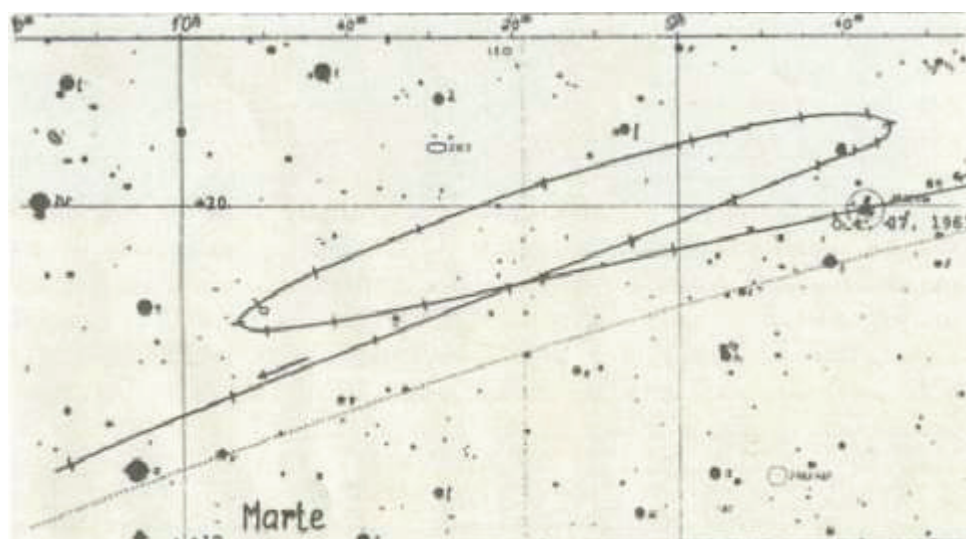
Os autores citam a contribuição de Tomás de Aquino, por volta do século XIII, que consistiu na fusão do pensamento grego com a teologia cristã, já que ele aceitava a física e a astronomia aristotélica. Esclarece que a fusão da ciência com a teologia contribuiu para que houvesse pouca ou nenhuma contestação à ciência aristotélica. Trata também dos acontecimentos no âmbito do Renascimento, que foram solapando os alicerces da ciência escolástica, de Tomás de Aquino e permitindo aos homens adquirir autoconfiança na capacidade de estudar o mundo à sua volta, na compreensão das coisas celestes e terrestres. O texto desenvolve uma reflexão sobre o papel do pensamento científico e sua articulação com as mais diversas áreas do conhecimento humano.

No capítulo 5, em um primeiro momento é feita uma descrição dos movimentos do Sol e das estrelas na perspectiva dos gregos da Antiguidade. Explicita e descreve a trajetória do Sol no inverno e no verão, na qual o astro se movimenta do leste para o oeste. Menciona também outro movimento correspondente ao seu ciclo anual de oscilação, que vai do solstício do inverno ao do verão, e ainda um terceiro movimento do oeste para o leste, em relação às estrelas. Introduce uma discussão a respeito do número de dias correspondentes a um ciclo solar quando o Sol completa uma volta, indo de uma posição correspondente a do inverno até à do verão e retornando à do inverno, explorando o conceito de eclíptica. Menciona a contribuição dos egípcios, do imperador romano Julio Cesar e do Papa Gregório na elaboração de calendários que melhor se ajustassem ao número não inteiro de dias do ciclo solar.

Trata também das estrelas, seus brilhos, suas colorações e seus agrupamentos em constelações. Descreve o movimento das estrelas, buscando auxiliar a compreensão da descrição através de ilustrações. Descreve também o movimento da Lua, a variação de seu brilho e a fase correspondente. Os planetas, chamados de "estrelas vagabundas", também têm seus movimentos descritos de forma minuciosa, fazendo alusão à sua



retrogradação, ilustrando a explicação com figuras, tal como a seguinte, contida na página 16.



**FIGURA 15** – Ilustração da trajetória aparente de Marte, com a ilusão de retrogradação.  
Fonte: Unidade 2, p. 16.

Na seção 5.4, aprofunda a abordagem histórica ao apresentar uma reflexão sobre o problema de Platão. O mundo supralunar é o mundo da perfeição, e sendo o círculo e a esfera símbolos da perfeição, os corpos celestes deveriam se mover em círculo ao redor da Terra em movimento uniforme. Problema: então, por que alguns planetas apresentam comportamento anômalo? A partir desse problema, o leitor é conduzido pela história ao contato com as soluções propostas por vários pensadores, culminando com a teoria dos epiciclos, contribuição de Ptolomeu, no ano 150 d.C.

O texto apresenta uma discussão dos sucessos e das limitações do modelo de Ptolomeu, o qual não pretendia que fosse real, mas que matematicamente descrevesse o movimento e as posições dos corpos celestes. O tema desse capítulo é de uma preciosidade ímpar enquanto possibilidade de introduzir o estudante no exercício da imaginação ao se deparar com a descrição das diferentes concepções de universo e dos argumentos de seus apaixonados defensores.

No capítulo 6, faz um breve esboço da vida de Copérnico e desenvolve uma discussão a partir da comparação de seus argumentos em prol do sistema heliocêntrico com os argumentos dos aristotélicos. O texto auxilia o leitor a compreender a visão de mundo dos partidários de Ptolomeu e a dos partidários de Copérnico, bem como as razões que sustentavam as posições de cada um. Faz um resgate do contexto político e religioso, clarificando ao leitor as dificuldades e os desafios apresentados por quem

pensa diferente do que se espera no interior de um paradigma.

Aborda também os trabalhos de Tycho Brahe, que consistiram no aprimoramento das observações das posições planetárias, as quais vão permitir a Kepler dar um passo em direção a uma nova forma de ver o mundo. Esse trecho dedicado ao astrônomo dinamarquês pode ensejar um trabalho com os alunos sobre a natureza da atividade científica e sobre a validade e os limites de uma teoria, levando-os a observar nesse relato histórico que a teoria até então vigente estava sendo reprovada pelos fatos observados, como o aparecimento de uma nova estrela em uma região na qual não deveriam ocorrer mudanças de acordo com a teoria aristotélica.

No capítulo 7, as contribuições de dois grandes pensadores foram de extrema importância para que Newton elaborasse um estudo que unificaria a física terrena com a física celestial. Há um resgate dessas contribuições, ensejando ao professor uma estratégia de trabalho para que o aluno descubra a dimensão humana da ciência, pois tanto Kepler como Galileu realizaram suas obras em meio a muitos percalços provocados por fatores externos às atividades de pesquisas, tais como guerras, perseguições, intrigas e interesses antagônicos.

A parte que se refere aos trabalhos de Kepler tem o potencial de conservar o interesse do aluno por não apresentar a matematização do conteúdo de forma cansativa e enfadonha. Há uma descrição histórica, apresentando um Kepler interessado em aperfeiçoar o sistema proposto por Copérnico. Conforme o texto avança na reflexão sobre os relatos históricos da determinação da órbita de Marte e da Terra a partir dos dados de Tycho, discussões conceituais são introduzidas juntamente com a formalização matemática correspondente. Assim, a abordagem da lei das áreas, das órbitas elípticas e dos períodos é feita por intermédio de considerações históricas e de discussões conceituais.

O livro trata ainda dos trabalhos de Galileu, mais especificamente daqueles contidos em suas obras 'O mensageiro das estrelas', em que ele derruba os pilares da crença aristotélica de um céu perfeito e imutável e 'Diálogo sobre os dois grandes sistemas universais'. Esse texto, dedicado a Galileu, pode contribuir para iniciar os estudantes no debate a respeito da natureza da ciência e atizar a imaginação e o espírito inquiridor ao defender a liberdade intelectual como forma de garantir o florescimento da ciência.

No capítulo 8, o livro contempla o grande feito de Newton, que utilizando as contribuições dos que o precederam – Kepler e Galileu – realizou a síntese da mecânica

terrestre com a celeste. O texto aborda os trabalhos de Newton com uma descrição socioeconômica e cultural do ambiente em que ele viveu, desde a morte de Galileu até a publicação dos *Principia*<sup>7</sup>. Enfatiza o caráter coletivo do trabalho científico e faz um breve esboço biográfico, citando alguns trabalhos realizados no campo da física e da matemática. O excerto apresentado na página 94, referente à queda da maçã, requer do professor um maior cuidado no sentido de evitar que o aluno fique com a impressão de que Newton teve um insight e de repente concebeu a teoria sobre a gravidade.

Em situações como esta, é importante providenciar material adequado para pesquisa ou comentar o excerto com os alunos, deixando claro a eles que, de acordo com Martins (2006), antes da queda da maçã Newton já estava refletindo sobre o tema da gravidade. O capítulo discorre sobre os *Principia*, descrevendo detalhadamente a metodologia de trabalho de Newton e também a força planetária, fazendo uma associação entre suas três leis com as leis de Kepler. À medida que o texto se desenvolve, é deduzida a expressão da relação de proporção entre força, aceleração centrípeta e inverso do quadrado das distâncias, culminando com a formulação da expressão da gravitação universal.

No prólogo da unidade 3, os autores enfatizam a obra de Newton como uma odisseia do espírito humano na busca de compreensão dos movimentos tanto na superfície da Terra como nos domínios celestes. O texto delinea a concepção mecanicista de universo não apenas por Newton, mas também por René Descartes, Robert Boyle, entre outros, ao salientar que a aplicação da mecânica newtoniana não se restringe somente ao estudo dos movimentos de corpos simples, dos astros e planetas, mas também a outros domínios, tais como os relativos ao calor e à ondulatória, por exemplo. Ao mesmo tempo em que atenta para o êxito da mecânica, aponta para os limites de sua validade e aplicabilidade.

No capítulo 9, são disponibilizadas discussões e reflexões em torno da ideia de conservação, surgida no interior das especulações filosóficas no Renascimento. Parte da concepção de eternidade do universo para discorrer sobre a ideia da não variação da matéria contida no universo, recorrendo aos registros da história na busca das contribuições de pensadores e pesquisadores, tais como Francis Bacon e Lavoisier. A partir de tais contribuições, conduz as discussões em termos de conceitos da física e da

---

<sup>7</sup> Nome popularizado a partir do latim, da grande obra de Isaak Newton: *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*.

química acerca da conservação da massa.

No estudo das colisões, o texto resgata, de maneira muito breve, o contexto em que surgiu a busca de uma grandeza que se mantivesse constante no tempo, a partir de especulações filosóficas no século XVII de que a ideia de um universo que tende a se imobilizar era incompatível com a ideia da perfeição divina. A partir dessa contextualização, o texto disponibiliza uma discussão baseada em descrições de experimentos envolvendo colisões. À medida que a discussão evolui, dialogando com relatos históricos, são introduzidas as formalizações matemáticas dos conceitos elaborados. Além da reflexão relativa a elementos da história da ciência, o texto contempla uma detalhada demonstração matemática. O aluno aprende história, compreende a física e desenvolve habilidades em matemática. Assim, a matematização do conteúdo sobre a conservação da quantidade de movimento ou momento linear pode se efetivar sem os costumeiros "traumas" com que os alunos são submetidos nas aulas de física. A abordagem desse tema pode ser feita articulando experimentos com colisões com a história da ciência.

O texto na seção 9.4 explora com bastante clareza a relação entre as leis de Newton e a lei da conservação do momento linear, mas não deixa claro que Newton deduz a segunda lei do movimento em termos de impulso de uma força e variação da quantidade de movimento, apesar de ter salientado esse aspecto no penúltimo parágrafo da página 18 da unidade 3. O livro disponibiliza também uma abordagem bem pormenorizada acerca das colisões elásticas, resgatando a história de um experimento realizado em 1666 e as conclusões apresentadas em 1668 por John Wallis, Christopher Wren e Christiann Huygens (página 21), que diferentemente do PSSC, cita também a contribuição de René Descartes no estudo desse fenômeno.

O texto contempla também uma discussão a respeito da controvérsia entre os postulados de Descartes e de Leibniz sobre se seria  $m.v$  ou  $m.v^2$  a expressão que representava a “força” (*vis viva*) que era conservada. Leibniz afirmava que a proposição de descartes estava errada, mas a sua também apresentava inconsistência, pois de acordo com Huygens, a quantidade  $mv^2/2$  conserva-se apenas nas colisões elásticas. A apresentação desse tipo de discussão é bastante esclarecedora para que o aluno perceba que a aceitação de uma teoria nem sempre ocorre de maneira pacífica.

No capítulo 10, os autores desenvolvem uma explanação detalhada acerca do trabalho, energia cinética, energia potencial gravitacional, energia potencial elástica e a conservação da energia de maneira tradicional, como fazem a maioria dos livros,

buscando construir os conceitos a partir de situações do cotidiano. À medida que os conceitos são elaborados, são introduzidas as formulações matemáticas pertinentes. Ao explorar as relações entre calor e máquinas a vapor, os autores buscam na história da ciência os fundamentos para a discussão sobre o calor e as máquinas térmicas. Resgata as contribuições de James Watt ao aperfeiçoar a máquina a vapor e os estudos de Joule da relação entre trabalho mecânico e calor e enseja uma discussão referente à crença de que o desenvolvimento tecnológico se dá a reboque das descobertas científicas e também um estudo a nível de sala de aula sobre as relações ciência e sociedade. Desenvolve uma reflexão sobre o impacto do desenvolvimento das máquinas na sociedade, aludindo à acumulação de riquezas por alguns industriais e ao conseqüente conflito entre as classes sociais.

Apresenta também uma explanação do tema da energia em sistemas biológicos, explorando as transformações bioquímicas que ocorrem no nível celular dos animais herbívoros e carnívoros. Ao tocar no tema da alimentação, discorre sobre a insuficiência alimentar em várias partes do mundo e da necessidade de uma alfabetização como forma de superar tais desequilíbrios, com aplicações de técnicas e a devida atenção para suas conseqüências para o meio ambiente. É um tema riquíssimo para ser trabalhado em sala de aula.

A partir das ideias segundo as quais todas as formas de energia podiam transformar-se umas nas outras sem perdas, e com isto o entendimento de que a quantidade de energia do universo não varia, o texto apresenta uma minuciosa discussão de reunir tais ideias na elaboração precisa da lei de conservação da energia. Partindo do entendimento de que o calor se refere à transferência de energia entre o sistema e o meio envolvente, bem como o de trabalho como transferência de energia de um sistema para outro, procura elaborar o enunciado da lei de conservação geral da energia incluindo o trabalho, mas em termos da variação da energia total do sistema se este não for isolado. Assim, na página 67, o texto define a primeira lei da termodinâmica: "A variação de energia de um sistema não isolado é igual ao trabalho resultante efetuado sobre o sistema, mais o calor resultante a ele adicionado.  $\Delta E = \Delta W + \Delta H$ ". Essa primeira lei da termodinâmica foi formulada em meados de 1847 (página 64), enquanto que a segunda lei foi formulada por Nicolas Léonard Sadi Carnot em 1824.

– Na seção 10.9 (página 61), o texto lança um olhar panorâmico pela história da ciência, apontando as contribuições de alguns pesquisadores – Volta, Oersted e Faraday que possibilitaram percepções que apontavam para a ideia da

conservação da energia durante os processos de conversão de uma forma para outra. Das entrelinhas do texto dessa seção, emerge a percepção de que o termo "trabalho" na história da física surgiu no contexto do desenvolvimento das máquinas térmicas. Além da contribuição de Joule, que se ocupou da relação entre calor e energia mecânica, o texto resgata a contribuição de Julius Robert Mayer, que propôs uma lei geral da conservação da energia, mencionando que este foi fortemente influenciado pelos seguidores da filosofia natural. O texto salienta que no trabalho do dia a dia do cientista, a experimentação e a teoria matemática são os guias habituais, mas ao proceder-se a um avanço verdadeiramente importante na ciência, a especulação filosófica também desempenha muitas vezes um papel importante (página 63). De acordo com o texto, coube a Hermann von Helmholtz, por volta de 1847, dar uma formulação mais cabal à lei geral da conservação da energia – primeira lei da termodinâmica.

Na abordagem da teoria cinética dos gases, no capítulo 11, os autores conduzem o leitor pela história da ciência através da qual ele pode perceber como os conceitos variam no decorrer do tempo, como é o caso do calor que deixou de ser interpretado como uma substância – calórico – para ser entendido como uma forma de energia. A abordagem dos conteúdos em uma perspectiva histórica permite ao aluno rastrear o raciocínio dos pesquisadores, o que constitui em valioso auxílio na compreensão dos conceitos estudados. Aqui, os autores resgatam as contribuições de Joule e Clausius relativas à equivalência entre calor e energia mecânica, e discorrendo sobre o contexto do século XIX, deixam transparecer de seus escritos a importância da imaginação e da criatividade como forma de transpor os desafios impostos pelas limitações teórico-tecnológicas da época. Como a teoria molecular não estava ainda bem estabelecida e os movimentos das moléculas não podiam ser observados, os cientistas não podiam verificar de forma direta a hipótese de que o calor é a energia cinética molecular, tendo que deduzir dessa hipótese algumas previsões sobre o comportamento de quantidades mensuráveis de matéria e depois comprovar tais previsões através de experimentos. É uma oportunidade para o professor introduzir questões a respeito do método científico e discussões acerca do uso da indução e da dedução nas pesquisas.

O texto ressalta que a teoria cinética dos gases foi elaborada a partir de conhecimentos fornecidos pela mecânica newtoniana, cujas leis foram aplicadas às moléculas do gás como se fossem minúsculas bolas de bilhar. Mas mostra também limites de aplicação das leis de Newton a um modelo mecânico dos gases, citando como

exemplo, o movimento dos átomos no seio da molécula (página 76) e a irreversibilidade de alguns processos. Trazer para a sala de aula o debate sobre a robustez e os limites de uma teoria tem o potencial de favorecer o exercício do pensamento crítico por parte do aluno.

O texto disponibiliza uma discussão sobre um modelo para o estado gasoso em termos de quantidade, dimensões e velocidade das partículas, pressão, temperatura e volume e de tratamento probabilístico das grandezas envolvidas no estudo. Aqui, são resgatadas as contribuições de vários pesquisadores: Boyle, Bernoulli, Herapath, Joule, Clausius, Maxwell, Boltzmann e Kelvin. Diferentemente dos manuais mais recentes, os quais dedicam um capítulo exclusivamente para tratar da relação entre calor e temperatura e entre escalas termométricas, a presente obra aborda o tema da temperatura no estudo dos gases, mas não de forma enfática, como o fazem a maioria dos manuais atuais.

A abordagem é feita de maneira breve no texto em que discute a previsão do comportamento dos gases a partir da teoria cinética. Nesse, são discutidas as relações entre pressão, volume, temperatura, densidade do gás e velocidade média das moléculas.

É disponibilizada uma reflexão sobre a degradação do mundo e os desgastes dos componentes da máquina, apesar das leis de conservação inspiradas na ideia de que o mundo é semelhante a uma máquina que não se gasta e que nunca se degradará. Na discussão sobre processos irreversíveis, são abordados temas tais como entropia e rendimento das máquinas, contemplados em um trabalho apresentado por Carnot em 1824 e que se materializou na segunda lei da termodinâmica. É um tema bastante rico se for estudado em uma perspectiva histórica e filosófica, com um potencial muito grande para estimular a imaginação e o interesse do aluno sobre o futuro do nosso planeta. O introduz também uma reflexão filosófica em torno de uma crítica à teoria cinética que aponta para a existência de processos irreversíveis, e essa teoria é baseada em leis do movimento que são reversíveis. Além desse paradoxo da *reversibilidade*, é discutido também o paradoxo da *recorrência*.

A introdução ao estudo sobre as ondas é iniciada com um breve comentário sobre os fenômenos, que no imaginário das pessoas se traduzem como manifestações em termos de ondas, no capítulo 12. Faz uma breve retrospectiva do que já foi estudado desde a unidade 1 até o presente capítulo, salientando que tal estudo se deu na perspectiva da mecânica newtoniana, dando a entender que a partir de agora serão

exploradas as relações entre noções de partículas e de ondas.

Em uma parte do texto em que aborda as propriedades das ondas, os autores desenvolvem uma discussão estruturada sobre descrições de experimentos "pensados" ou de situações vivenciadas pelas pessoas no seu dia a dia: ondas na superfície da água, em mola helicoidal, em corda, no ar e tipos de ondas. A discussão contempla também a descrição de propagação de ondas, com a pertinente construção do formalismo matemático em termos de velocidade, comprimento de ondas, frequência e período. De forma detalhada, discorre sobre o princípio da sobreposição, figuras de interferência de duas fontes – construtiva e destrutiva – e ondas estacionárias.

Os temas da difração, reflexão e refração são explorados de forma minuciosa, buscando facilitar a compreensão por parte do aluno com a exposição de fotos e figuras. Ao descrever o fenômeno produzido pelos aviões supersônicos, ensaia uma discussão acerca do preço do "progresso tecnológico" em termos de qualidade de vida das pessoas expostas às consequências deste tipo de aplicação tecnológica. A forma como a obra trata os conteúdos de física possibilita a compreensão dos fenômenos físicos estudados, um enriquecimento da cultura através da história da ciência. Ao abordar os temas de estudo no prólogo da unidade 4, os autores fazem uma rápida incursão pela história da ciência, resgatando as contribuições de alguns pesquisadores acerca da natureza da luz, dos fenômenos elétricos e magnéticos.

No capítulo 13, ao discutir a interação do homem com a luz, o texto recorre à história da ciência ao mostrar que os debates ocorridos, sobretudo no século XVIII, se materializaram nos conhecimentos hoje aceitos para explicação acerca de aspectos da natureza da luz. A obra trata do comportamento ondulatório da luz em termos de hipóteses e as provas que sustentam tal comportamento.

Os autores adiantam que no capítulo 18 a obra apresenta uma discussão acerca do modelo corpuscular e no capítulo 20, a combinação dos dois modelos na fusão das duas teorias. Destacam que a discussão apresentada no texto da unidade 4 deve ser acompanhada por atividades experimentais de laboratório e de outros recursos que fazem parte do projeto. É evidente a preocupação por um ensino de física que não seja livresco, mas que se traduza em aprendizagem efetiva. Aborda o tema da propagação da luz de forma abrangente, e articula vários conceitos entre si, tais como fontes luminosas, raios e feixes luminosos, divergentes e paralelos. Recorre a relatos históricos dos trabalhos de Galileu (Duas Novas Ciências – 1638), de Römer (1676) e de Huygens para subsidiar uma discussão acerca da velocidade da luz.



Os fenômenos da refração, reflexão, interferência e difração são discutidos tanto na perspectiva da teoria ondulatória como da teoria corpuscular à luz de relatos históricos. Tal como o PSSC, a obra dá um tratamento à óptica diferentemente dos manuais contemporâneos que a abordam em duas partes: uma, tratando dos aspectos geométricos e outra, dos aspectos físicos. Em relação aos fenômenos da interferência e difração a discussão é apresentada a partir da descrição dos experimentos realizados por Thomaz Young entre 1802 e 1804.

Uma característica dessa obra é a de não se restringir a apresentação dos resultados da ciência e sobre os mesmos realizar uma discussão sobre os conceitos físicos, ao invés, conduzir o leitor na busca da compreensão da visão que cada cientista tinha do objeto de estudo. Assim, no estudo da cor, é resgatado o trabalho de Newton sobre o tema, descrevendo seus experimentos, suas reflexões sobre os resultados observados e as explicações elaboradas. O experimento realizado por Thomaz Young que mostrou que cada comprimento de onda corresponde a uma cor é resgatado para fundamentar a discussão da cor azul apresentada pelo céu em termos de luz dispersadas pelas partículas existentes na atmosfera.

O fenômeno da polarização da luz também é abordado à luz de considerações históricas, nas quais os autores contrapõem a teoria proposta por Hooke e Huygens à teoria de Newton, argumentando que esse fenômeno é explicado satisfatoriamente a partir da perspectiva ondulatória da luz. O capítulo é encerrado com uma discussão sobre a necessidade de um meio para a propagação da luz na proposta ondulatória, mencionando que nos séculos XVII, XVIII e XIX, a imaginação dominante de que esse meio seria o éter. No texto, delinea-se um impasse para a teoria ondulatória diante do absurdo de conceber-se o éter como um sólido, rígido e de baixa densidade, apontando que tal impasse só seria resolvido com a contribuição de Einstein acerca da teoria da luz.

Ao introduzir o tema de estudo campos elétricos e magnéticos, título do capítulo 14, são apresentados alguns dos tópicos principais básicos para o restante dos capítulos e um roteiro de conteúdos a serem abordados: desenvolvimento da tecnologia elétrica no capítulo 15, natureza da luz e ondas eletromagnéticas no capítulo 16, e o estudo das propriedades das partículas atômicas e subatômicas, na unidade 5. Os autores reiteram o caráter não livresco da obra no estudo dos fenômenos elétricos e magnéticos, reforçando a necessidade de se desenvolver atividades experimentais.

Os conteúdos de eletricidade e magnetismo são reunidos em um só texto,

trabalhados de forma simultânea, diferentemente dos manuais contemporâneos que os apresentam separadamente: uma parte dedicada à eletricidade e a outra ao magnetismo. Os autores apresentam uma preleção sobre o âmbar e a magnetite, e fazem um esboço dos trabalhos de William Gilbert (1544-1603).

Os autores recorrem às descrições de resultados de experimentos de fricção entre objetos para introduzir uma discussão acerca de modelos, as diferenças entre modelos e fatos observáveis e assim introduzir o conceito de carga elétrica – fluido elétrico, de acordo com o contexto histórico. Abordam também o conceito de cargas elétricas em equilíbrio eletrostático a partir de uma observação de Franklin durante um experimento, no qual ele observou que pedaços de cortiça introduzidos no interior de um recipiente fortemente eletrizado não eram atraídos e nem repelidos por nenhuma força. O texto descreve como Joseph Priestley resolveu a questão levantada por Franklin, chegando à hipótese de que as forças que as cargas exercem variam inversamente com o quadrado da distância entre elas. As construções de aparatos experimentais e a realização de experimentos são guiados pelas hipóteses. Assim, Charles Coulomb, investigou, experimentalmente, a lei do inverso do quadrado da distância para as cargas elétricas sugeridas por Priestley. A história da ciência fortalece a percepção de que não existem investigações sem uma intenção a guiar os passos da pesquisa.

À medida que o texto apresenta e discute as ideias relativas às forças entre as cargas, introduz o formalismo matemático correspondente de forma articulada com as discussões dos conceitos envolvidos e com as unidades de medida de carga elétrica. Após discorrer pormenorizadamente acerca do significado do termo campo, o texto desenvolve uma discussão a respeito do campo gravitacional e de campos elétricos sem deixar de introduzir as respectivas equações que os descrevem. Analisa o princípio básico do experimento de Millikan em termos de força, campo e carga, objetivando obter um valor para a carga elementar. A descrição da experiência é feita no capítulo 18, na unidade 5, infelizmente não disponível.

Ao abordar a lei da conservação da carga elétrica, os autores resgatam as contribuições de cientistas, como Otto von Guericke e Pieter Van Musschenbroek (Leiden), que permitiram a Franklin estudar experimentalmente e elaborar a lei da conservação da carga elétrica. Discorrendo sobre os fenômenos de carga e descarga de objetos eletrizados, abordam conteúdos relativos a condutores, isolantes e corrente elétrica, pontuando a contribuição do físico Alessandro Volta, que ao construir uma bateria, obteve uma corrente aproximadamente constante. Conceitos alusivos à

diferença de potencial também são abordados através de suas discussões associadas às formulações matemáticas, recorrendo-se à analogia com os potenciais no campo gravitacional. A partir do conceito de diferença de potencial, os autores recorrem mais uma vez à história da ciência, mencionando a contribuição de Gorg Wilhelm Ohm para apresentar os conceitos de intensidade de corrente elétrica e de resistência elétrica, discutindo as relações entre as grandezas em termos de proporcionalidade. Com o conceito de diferença de potencial é deduzida a expressão para o conceito de potência elétrica.

Um relato histórico comentado sobre o trabalho de Oersted acerca da influência de uma corrente elétrica sobre agulha imantada é realizado no texto. Discorrendo a respeito da relação entre fenômenos elétricos e magnéticos, definem o vetor campo magnético. Os trabalhos de André-Marie Ampère são resgatados na abordagem da ação mútua entre correntes elétricas, assinalando que a força magnética que se estabelece entre as correntes pode ser usada para medir o valor da intensidade de corrente elétrica (página 65). O capítulo é encerrado com uma detalhada discussão relativa ao fenômeno em que surgem forças entre cargas elétricas em movimento, com todo o formalismo matemático daí decorrente.

O capítulo 15 trata do desenvolvimento da tecnologia elétrica com vistas à obtenção de energia de forma menos dispendiosa. Faz uma breve retrospectiva do que foi estudado acerca dos processos de transformação de uma forma de energia em outra, mais especificamente energia térmica e mecânica no contexto do surgimento das máquinas a vapor. Aborda a relação custos/benefícios das máquinas a vapor tanto material quanto social, evidenciando a contradição desenvolvimento técnico científico e qualidade de vida na relação custos/benefícios sobre os aspectos materiais; um dos problemas se refere à indisponibilidade de energia *in loco*. Isto demanda a busca de uma forma de distribuição de energia para torná-la disponível mesmo em regiões distantes da fonte de produção.

Resgatando a contribuição de Alessandro Volta, discute as limitações de seu invento (bateria) devido à rapidez de sua descarga e à necessidade de encontrar um processo melhor de gerar correntes elétricas para suprir as necessidades de um maior contingente de pessoas. Ao discorrer sobre os trabalhos de Faraday, os autores apresentam uma breve referência a um pesquisador americano – Joseph Henry – como o primeiro a produzir eletricidade a partir do magnetismo, mas logo retomam a narrativa sobre as contribuições de Faraday acerca da indução eletromagnética. A leitura de uma

parte do relato sobre o experimento de Faraday com um anel envolvido por duas bobinas (página 81) não prima pela fidelidade à história, pois de acordo com o trecho, a solução acerca da indução eletromagnética "apareceu em parte acidentalmente". De acordo com Dias e Martins (2004, p.525), "Faraday acreditava que a passagem da corrente elétrica em um dos enrolamentos poderia induzir uma corrente elétrica no outro enrolamento".

O texto descreve minuciosamente os experimentos de Faraday na busca de produção de corrente durável por indução eletromagnética, discutindo exaustivamente os fenômenos envolvidos, tais como corrente alterna, corrente contínua, geradores e motores receptores. Na página 87, reitera o caráter coletivo do fazer ciência ao se deter na narrativa da descoberta acidental do dínamo que funcionaria como motor elétrico alimentado pela eletricidade gerada pelo outro dínamo. Traz também para discussão a relação entre ciência e tecnologia ao tratar da diferença de interação entre ciência e tecnologia no desenvolvimento dos geradores térmicos e do desenvolvimento das máquinas a vapor. Lembra que foi a partir desta que Carnot realizou estudos para seu aperfeiçoamento, com o estabelecimento da termodinâmica, contrariamente ao que se passou no caso do eletromagnetismo. Isto pode transmitir a visão de que a tecnologia seja inevitável produto da pesquisa científica.

No final da página 88, há uma interessante apresentação que aponta para o caráter não neutro dos projetos científicos ao comentar sobre o desejo dos inventores – não dos cientistas – de obter grandes lucros com a eletricidade. Também ao descrever e comentar detalhadamente o processo histórico da invenção da lâmpada, o texto introduz uma discussão acerca do impacto do desenvolvimento tecnológico nos hábitos sociais. Desmitifica Thomas Edson como primeiro inventor da lâmpada, citando seu trabalho de desenvolver uma lâmpada para uso doméstico e o desenvolvimento de formas de circuitos – série e paralelo – para instalação de lâmpadas.

Resgata ainda o contexto em que ocorreu uma disputa no âmbito da construção de uma hidrelétrica no rio Niágara, entre Thomas Edson, que comercializava corrente contínua e George Westinghouse, que vendia corrente alterna. O capítulo é encerrado com uma reflexão acerca do tema eletricidade e sociedade, versando sobre os diferentes tipos de impactos da distribuição de energia na vida das pessoas, tanto das que habitam nas cidades como as que residem nos campos. São abordados temas como mudança de valores morais, exploração dos trabalhadores e dos menos favorecidos economicamente e imposição de novas necessidades não essenciais à vida.

Das entrelinhas da introdução a esse capítulo, emerge um testemunho da História da Ciência que põe por terra a crença de professores segundo a qual os alunos não aprendem física devido às deficiências no conhecimento matemático. Não tendo formação universitária, Faraday não dominava conhecimentos matemáticos que o ajudassem na estruturação do pensamento, mas isto não o impediu de perceber relações entre os fenômenos estudados, entre a eletricidade e o magnetismo. O pensamento de Faraday revelava uma convicção semelhante à dos filósofos naturalistas, que acreditavam na unidade das forças naturais. Assim, de acordo com o texto (página 108), coube a Maxwell, a elaboração das equações matemáticas estruturantes das ideias de Faraday.

Os textos são estruturados combinando narrativas históricas com discussões dos conceitos físicos, o que facilita sua compreensão quando de sua formulação matemática. Resgata as contribuições de Maxwell e de Hertz na previsão e comprovação da existência das ondas eletromagnéticas, com detalhada discussão filosófica a respeito do éter luminífero e da proposição de Einstein em generalizar o princípio da relatividade de Galileu a toda física. Delineamos dos textos da obra a preocupação em ajudar os alunos no exercício do pensamento crítico acerca do mundo, dos aspectos positivos e negativos do desenvolvimento técnico-científico na vida das pessoas e nas relações interpessoais em uma sociedade em constante mudança. Em que se pese tal preocupação, o projeto, por ter sido concebido em um contexto de Guerra Fria, não foge à regra de esperar que os alunos se comportem como pequenos cientistas, como consta na primeira página do prefácio da edição portuguesa<sup>8</sup>.

## **2.2 Considerações sobre os conteúdos históricos presentes nos livros didáticos de acordo com o Guia do Livro Didático 2012 – Ensino Médio**

Apesar de a ciência exercer papel fundamental no desenvolvimento tecnológico e em suas aplicações e utilidades na vida das pessoas, seu entendimento não está ao alcance de grande parcela da população, o que denota uma situação de

---

<sup>8</sup> O texto do Projecto Física de Harvard não faz menção ao contexto da Guerra Fria, porém, numa retrospectiva tanto por parte de quem viveu naquele período, como pelos relatos da História da Educação, tal período se caracteriza pela disputa pela hegemonia científico-tecnológica entre os dois blocos antagônicos: os Estados Unidos e seus aliados de um lado e a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas, liderada pela Rússia, do outro lado. Tal como foi mencionado na introdução à análise do PSSC, o objetivo desses projetos era o de suprir a carência de cientistas e técnicos para superar os russos na corrida armamentista e na conquista espacial.

analfabetismo científico. Como fazer com que os alunos compreendam o significado, a importância e o contexto da ciência durante seu desenvolvimento, ao invés de restringir o ensino de Física a nomes, definições, fórmulas e exercícios matemáticos?

Nas escolas públicas brasileiras, o ensino de Ciências ocorre através dos livros didáticos, os quais se constituem no principal meio de divulgação e disseminação da ciência entre estudantes e professores. Por servir de lastro para o planejamento e desenvolvimento do trabalho dos docentes, o livro didático é objeto de atenção das autoridades e é adquirido através de programas específicos como o Programa Nacional do Livro didático (PNLD) para o Ensino Fundamental e o Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM), a partir da década de 1980. Este último, a partir de 2012 passou a ser referenciado como PNLD 2012-Ensino Médio.

Os livros didáticos, em sua maioria, apresentam inserções da História da Ciência e podem veicular uma concepção de ciência que acaba influenciando a elaboração, por parte do professor e do aluno, de uma visão inadequada da ciência. Conforme Pagliarini (2007, p. 43),

Os livros didáticos, como elementos essenciais, na relação dos professores e alunos com o conhecimento científico e sua história, são geralmente permeados por narrativas históricas. Cabe então, neste momento, a pergunta: qual tipo de narrativa histórica está presente nos livros didáticos e como ela influencia a visão dos estudantes e professores sobre a natureza da ciência?

Para se adequar ao programa, o livro didático deve satisfazer três critérios básicos, que de uma forma geral apontam para a correção e adequação conceituais e correção de informações; coerência e pertinência metodológicas e preceitos éticos (PNLEM, 2009, p. 13). Mas além desses, há outros critérios eliminatórios específicos, que de acordo com Pagliarini (2007, p. 49), realçam a importância da História da Ciência, implicando na articulação com a Filosofia da Ciência:

A obra não deve apresentar a ciência moderna como sendo equivalente a conhecimento, sem reconhecer a diversidade de formas de conhecimento humano, e não deve apresentar o conhecimento científico como verdade absoluta ou retrato da realidade. Deve, dessa forma, enfatizar a evolução das ideias científicas, explicitando o caráter transitório e de não-neutralidade do conhecimento científico.

Já as obras didáticas inscritas no PNLD 2012-Ensino Médio foram avaliadas por meio da articulação entre critérios eliminatórios comuns a todas as áreas e critérios eliminatórios específicos para cada área e componente curricular (PNLD,

2012, p. 11). Especialmente para a componente curricular Física, dentre os 17 critérios apresentados pelo programa destacamos dois, que em nossa visão apontam a necessidade de se fazer uso da História da Ciência no ensino de Física:

Critério 5: utiliza abordagens do processo de construção das teorias físicas, sinalizando modelos de evolução dessas teorias em consonância com vertentes epistemológicas contemporâneas;

Critério 17: apresenta os conteúdos conceituais da Física, sempre acompanhados ou partindo de sua necessária contextualização, seja em relação aos seus contextos sociocultural-histórico-econômicos de produção, seja em relação a contextos em que suas utilizações se façam pertinentes, evitando a utilização de contextualizações artificiais para esses conteúdos.

Na sequência, apresentamos uma breve análise acerca de dez obras, dentre as selecionadas pelo PNLD-2012. Tais obras, por contemplarem textos de História da Ciência em seus conteúdos, constituem-se em excelentes contribuições para o enriquecimento cultural de nossos alunos. É interessante que o professor complemente as abordagens históricas contidas nessas obras, com uma pesquisa mais ampla, que leve em consideração, as prescrições historiográficas.

A coleção *Compreendendo a Física*, de Alberto Gaspar (Editora Ática, 2011), compõe-se de três volumes; o volume 1 compreende os conteúdos da mecânica, o volume 2, os conteúdos da ótica e da termologia, e o volume três, os conteúdos do eletromagnetismo.



**FIGURA 16** – Coleção Compreendendo a Física.

Fonte: lista.mercadolivre.com.br

Essa coleção se caracteriza pela presença de conteúdos históricos na maioria de

seus capítulos, mas não diluídos de forma geral no desenvolvimento textual. São apresentados, principalmente, em forma de boxes com dados biográficos dos cientistas notáveis bem como suas contribuições para o desenvolvimento da ciência, não contemplando as contribuições de outros pesquisadores, o que prejudica a formação de uma visão de ciência como uma construção coletiva. O autor se serve também da história como ponto de partida para o desenvolvimento de um determinado assunto, como é o caso da gravitação.

No início do capítulo 1, v. 1, a coleção apresenta um conteúdo que serve de subsídio para a discussão sobre a natureza da ciência, como a diferença entre profecias e previsões científicas. O autor chama a atenção para o caráter histórico da ciência, refletindo como ela evoluiu de suas origens na pré-história até os dias atuais e quais foram os papéis desempenhados pelas pessoas que procuravam "entender e explicar" a natureza: sacerdotes, profetas, magos, filósofos e cientistas. Realçando o caráter humano da ciência, o autor cita a exclusão de Plutão da lista dos planetas do sistema solar e as mudanças de concepções dos físicos a respeito dos fenômenos naturais ao longo da história (GASPAR, 2011, p. 12).

A coleção *Universo da Física*, de José Luiz Sampaio e Caio Sérgio Calçada, (Atual Editora, 2005), é outra coleção de três volumes, cujos conteúdos são divididos em numerosos capítulos, seguindo a tradicional distribuição dos ramos da Física: mecânica no primeiro volume, gravitação, estática, mecânica dos fluidos, ótica e termologia no segundo e eletromagnetismo, no terceiro. Apresenta quantidade considerável de conteúdos históricos, boxes, textos complementares e em alguns momentos, discussões históricas permeando partes textuais. Os autores apontam a importância do conhecimento da História da Ciência como uma forma de entender a natureza da ciência e favorecer o aprendizado: "[...] O desenvolvimento histórico dos conceitos e fatos sobre os cientistas que produziram as ideias são, assim, enfocados com frequência, possibilitando ao aluno perceber como as ideias são produzidas e como a ciência evolui" (SAMPAIO & CALÇADA, 2005, p. iv).

Conforme a história whig, de um modo geral, nesse tipo de história é inflado o ego do personagem, seus "tropeços" são omitidos ou atribuídos aos seus adversários e os relatos mostram uma evolução linear da ciência, caminhando célere para os resultados atualmente aceitos. Ao expurgar todos os condicionantes sociais, econômicos e políticos dos relatos, se perde a essência dos acontecimentos e se dificulta a percepção da textura de uma determinada época. Assim, um tipo de

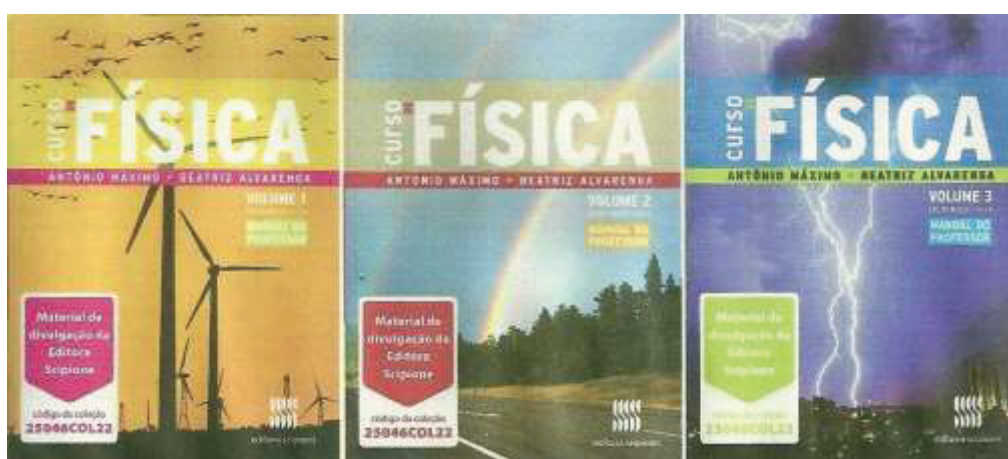


afirmação como "Um dos primeiros físicos a observar que a carga elétrica de um condutor recém-eletrizado escoava para a superfície foi Benjamin Franklin" (SAMPAIO & CALÇADA, 2005, v. 3, p. 250), constitui um modo inadequado do uso da História da Ciência, uma vez que a carga elétrica é um conceito que foi elaborado mais de um século após Benjamin Franklin.



**FIGURA 17** – Coleção Universo da Física.  
Fonte: Acervo próprio.

A coleção *Curso de Física* – Ensino Médio, de Antonio Máximo Ribeiro da Luz e Beatriz Alvarenga (Editora Scipione, edição de 2010), é também composta de três volumes, e a parte da mecânica ocupa o primeiro volume e parte do segundo. Neste, constam também os conteúdos de termologia, óptica e dos estudos das ondas. No terceiro volume, encontram-se os conteúdos relativos ao eletromagnetismo.



**FIGURA 18** – Coleção Curso de Física.  
Fonte: Acervo próprio.

Na apresentação da coleção, os autores chamam a atenção para os "tópicos especiais" que, segundo eles, visam a apresentar um desenvolvimento dos aspectos

históricos de forma agradável, com o objetivo de complementar e ampliar a parte textual. Blini (2010, p. 81) observa que os "[...] elementos da História da Ciência, fora do corpo do texto, destacados em retângulos de cores chamativas [...]". Constatamos a presença de conteúdos históricos diluídos na parte textual, de maneira simples e não aprofundada, referindo-se a cientistas mais famosos que contribuíram para o desenvolvimento da ciência na área em estudo.

Digno de nota é o deslize histórico contido no texto da página 15 do volume 3, em que os autores não levaram em conta que o conceito de carga elétrica foi elaborado quase dois séculos depois de Franklin. E a expressão "[...] atualmente sabemos que a teoria de Franklin era, pelo menos, parcialmente correta [...]" (MÁXIMO & ALVARENGA, 2010, p.15) sugere (PAGLIARINI, 2007) que a teoria atualmente aceita é correta, desconsiderando o fato de que a ciência não é um conjunto de verdades prontas e acabadas, que aponta também para a característica própria da historiografia whig no relato sobre a experiência de Franklin empinando um papagaio de papel (MÁXIMO & ALVARENGA, 2010) e obter a eletrização de seus aparelhos.

A coleção *Física em Contextos*, de autoria de Maurício Pietrocola Pinto de Oliveira, Alexander Pogibin, Renata de Andrade e Talita Raquel Romero (Editora FTD, 2010), é uma coleção que apresenta os conteúdos em três volumes, assim distribuídos: mecânica no primeiro volume e parte no segundo, no qual estão também os conteúdos de calor (termologia), imagem (óptica) e som (acústica) e eletricidade, magnetismo, ondas eletromagnéticas, radiação e matéria no terceiro volume.

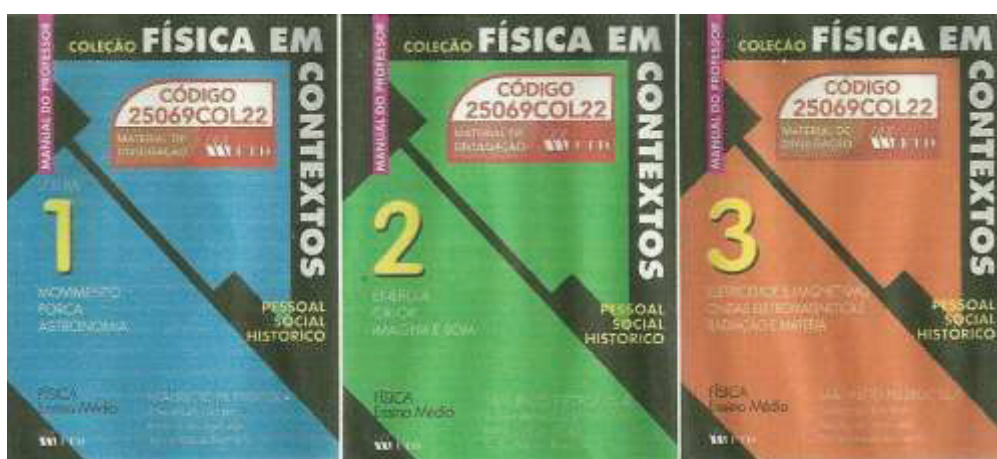


FIGURA 19 – Coleção Física em Contextos.

Fonte: Acervo próprio.

Os conteúdos de Física são abordados de forma integrada a várias outras áreas

do conhecimento. Atentando para a historicidade da ciência conforme o Guia do Livro Didático Ensino Médio (2012, p. 79), a coleção apresenta muitos textos com biografias contextualizadas de grandes cientistas e com discussões sobre os processos de construção e de evolução de conceitos e teorias físicas. Nessa obra, são também mostradas situações de colaboração entre cientistas, assim como algumas polêmicas, controvérsias e mudanças de paradigmas na História da Ciência. A obra enfatiza, assim, a ideia de que a ciência é uma construção humana, em constante evolução, sujeita a condicionamentos históricos, socioculturais e econômicos, frutos de ação de grandes cientistas, influenciadas pelo intercâmbio de informações e pela cooperação entre eles. O uso privilegiado da História da Ciência como um forte aliado no ensino de Física é facilmente notado pela opção dos autores por uma abordagem mais focada na evolução dos conceitos e teorias, utilizando trechos de textos originais escritos por cientistas (do passado ou da atualidade).

Essa forma de trabalhar contribui para que o aluno compreenda melhor o contexto de cada época, compreenda a importância e o funcionamento da linguagem científica e tenha um aprendizado pautado em múltiplas linguagens. Assim, entre os vários fatores que concorrem para o avanço qualitativo dessa obra em relação a outras congêneres, está o modo fundamentado e adequado como o livro do aluno trata a História da Ciência. Os autores iniciam o primeiro volume apresentando um texto para discussão sobre as ideias de cosmos e caos, a concepção de universo desde o homem primitivo até o atual, passando pelas cosmologias egípcias e grega. Nos textos que abordam os conteúdos específicos da Física, figuram elementos da História da Ciência ali diluídos, dialogando com os conteúdos específicos, ora de modo mais extenso, ora mais breve, mas coerentemente integrados à parte textual, o que facilita a compreensão por parte do leitor.

Nos trechos de textos históricos, há a preocupação ao se fazer a transposição didática, no sentido de favorecer a compreensão de quais eram as ideias sobre um mesmo fenômeno em diferentes períodos da história. Ao fazer uma abordagem histórica do sentido da corrente elétrica, os autores procuram explicitar os conceitos de fluido elétrico e carga elétrica: "[...] os corpos eletrizados seriam aqueles carregados de fluido elétrico. Daí surge o nome carga elétrica, como algo que poderia ser colocado ou retirado dos corpos" (OLIVEIRA, M. P. P. *et al.*, 2010, p. 50).

A coleção *Conexões com a Física*, de Blaidi Sant'Anna, Glória Martini, Hugo Carneiro Reis e Walter Spinelli (Editora Moderna, 2010), é uma coleção de três

volumes organizados em unidades compostas por capítulos. Os conteúdos programáticos estão assim distribuídos: mecânica no primeiro volume, termologia e óptica no segundo e eletromagnetismo no terceiro.



**FIGURA 20** – Coleção Conexões com a Física.  
Fonte: Acervo próprio.

Os conteúdos programáticos dessa coleção são abordados metodologicamente em uma perspectiva contextualizadora e de acordo com o Guia Didático do Livro do PNLDEM (2012), e o que caracteriza essa obra é a presença de vários boxes que permeiam o texto principal. Por meio deles, são apresentados aos alunos elementos relacionados à História da Física, além de temas relacionados à Física e Tecnologia, as conexões com o cotidiano e com a Física Moderna. Os que são identificados pelo título "sempre foi assim?" exploram, de maneira breve, aspectos relativos à construção de alguns conceitos e o papel que tiveram no desenvolvimento histórico da Física.

No livro do aluno, esses boxes relacionados à História da Ciência são pouco frequentes. No entanto, para complementar essa discussão, intencionando uma abordagem mais profunda da História da Ciência, o manual do professor apresenta subsídios através de orientações, de inserção de textos específicos sobre História da Ciência ou pela indicação de referências a esse respeito. Dessa maneira, o manual do professor enfatiza o papel do professor como mediador no processo de aprendizagem do aluno.

A discussão dos tópicos da Física Moderna precisa ser ampliada, pois de acordo com o Guia do Livro Didático (2012), a coleção traz muitas limitações nesses aspectos, podendo levar a incompreensões. Assim, faz-se necessário aproveitar os subsídios apresentados no manual do professor. Na apresentação da obra, os autores disponibilizam uma discussão referente à natureza da ciência na perspectiva histórica e

social, possibilitando ao aluno a compreensão da Física como ciência em construção.

A coleção *Física – Ciência & Tecnologia*, dos autores Carlos Magno A. Torres, Nicolau Gilberto Ferraro e Paulo Antonio de Toledo Soares (Editora Moderna, 2010), é composta por três volumes, cujos conteúdos são tratados da forma como tradicionalmente a Física vem sendo tratada no Ensino Médio: mecânica no primeiro volume, termologia, ondas, som e luz no segundo volume e eletromagnetismo, física moderna e contemporânea no terceiro.



**FIGURA 21** – Coleção Física – Ciência e Tecnologia.  
Fonte: Acervo próprio.

Na abordagem dos conceitos e teorias, as referências à História da Ciência aparecem em biografias de cientistas e em relatos de suas descobertas. Em alguns casos, o texto se restringe à apresentação da foto de um cientista e à indicação de suas datas de nascimento e morte. Em alguns momentos, ao explicitar a visão de ciência não linear e não neutra, relacionam-se os aspectos sociais, políticos e econômicos envolvidos, mas a obra tende a privilegiar uma visão de neutralidade da ciência e de suas relações com a sociedade, realçando os impactos da ciência no desenvolvimento tecnológico e seus benefícios sociais em detrimento da realização de um balanço crítico dos processos de desenvolvimento científicos tratados.

A coleção *Quanta Física*, de Carlos Ap. Kantor, Lílio Alonso Paoliello Jr., Luis Carlos de Menezes, Marcelo de Carvalho de Bonetti, Osvaldo Canato Jr e Viviane Moraes Alves (Editora PD, 2010), é uma obra que se diferencia das demais por não seguir a estruturação tradicional, mediante a qual a Física é usualmente apresentada no Ensino Médio. Os conteúdos estão assim distribuídos nos três volumes: unidade 1 – O mundo da energia e unidade 2 – Transporte, esportes e outros movimentos; segundo volume: unidade 1– comunicação e informação e unidade 2 – Os astros e o cosmos e no

terceiro volume: unidade 1– Radiações, materiais, átomos e núcleos e unidade 2 – Toda a Física, hoje e através de sua história.



**FIGURA 22** – Coleção Quanta Física.  
Fonte: Acervo próprio.

A obra se caracteriza por dar um tratamento aos conteúdos da História da Ciência somente na segunda unidade do terceiro volume, em que são apresentadas atividades envolvendo os elementos da História da Ciência, contribuindo para facilitar a compreensão de aspectos epistemológicos do processo de construção de teorias e suas interações sociais.

A coleção *Física*, de autoria de Gualter José Biscuola, Newton Villas Boas e Ricardo Helou Doca (Editora Saraiva, 2010), é composta por três volumes, nos quais os conteúdos estão distribuídos de maneira tradicional: mecânica no primeiro volume, termologia, ondas, acústica e óptica no segundo volume e eletromagnetismo e física moderna no terceiro.



**FIGURA 23** – Coleção Física.  
Fonte: Acervo próprio.

A linguagem matemática é bastante valorizada e em alguns momentos a sua

utilização alcança uma profundidade que ultrapassa um pouco o nível esperado. Não apresenta um tratamento razoável da História da Ciência, restringindo-se em alguns casos a breves biografias de cientistas e pensadores.



**FIGURA 24** – Coleção Física Aula por Aula.  
Fonte: Acervo próprio.

A coleção *Física Aula por Aula*, dos autores Benigno Barreto Filho e Cláudio Xavier da Silva (Editora FTD, 2010), compõe-se de três volumes, organizados a partir da estrutura conceitual da própria Física, mediante uma sequência e uma abordagem tradicionais. Todos os volumes iniciam com uma unidade introdutória típica, não dividida em capítulos e intitulada "Os caminhos da Física", na qual são abordados alguns aspectos tecnológicos, históricos e epistemológicos sobre assuntos tratados no restante de cada volume, objetivando com que o aluno conheça um pouco da evolução da Física antes de iniciar seus estudos. Nessas unidades, são desenvolvidas também discussões sobre alguns aspectos sociais, políticos e econômicos que podem ser complementadas por meio de textos presentes no Manual do Professor.

A coleção *Física para o Ensino Médio*, de Fuke Kazuhito (Editora Saraiva, 2010) é composta de três volumes, subdivididos em unidades, organizadas em capítulos e em seções. O conteúdo programático está distribuído de maneira tradicional: mecânica no primeiro volume, termologia, óptica geométrica e ondulatória no segundo volume e eletromagnetismo e física moderna no terceiro volume. Dentre os conjuntos de seções que acompanham os textos principais nos capítulos, há uma seção chamada "Física na História". Esses textos apresentam algumas das circunstâncias que levaram a determinada investigação ou elaboração conceitual, destacando os cientistas envolvidos, as teorias paralelas, as controvérsias, a evolução dos modelos ou ainda, o contexto

político e econômico da época.



FIGURA 25 – Coleção Física para o Ensino Médio.

Fonte: Acervo próprio.

Em relação à História da Ciência, a coleção procura apresentar os textos de forma a contribuir para a superação de visões ingênuas acerca da ciência, sua produção e evolução. A História da Ciência não é apresentada em uma sequência de pequenos relatos biográficos de cientistas famosos e os avanços tecnológicos não são apresentados como se fossem os derradeiros feitos da humanidade. A obra apresenta conceitos, informações e procedimentos com correção e atualização, de modo contextualizado, equilibrando as discussões mais fenomenológicas com a utilização adequada do formalismo matemático pertinente.



### 3 ANÁLISE DOS DISCURSOS DE QUATRO PROFESSORES SOBRE O QUE É A FÍSICA À LUZ DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Quatro professores que atuam em sala de aula na rede pública estadual, na disciplina de Física, aceitaram participar da presente pesquisa, apresentando por escrito um texto redigido a partir da questão “O que é a Física à luz da História da Ciência?”. Como a presença do entrevistador, munido de um microfone, de certa maneira acabava se constituindo em um fator inibidor, a apresentação, por escrito, de uma reflexão sobre o tema foi uma forma de garantir liberdade e anonimato aos que colaboraram.

O sujeito 1 é graduado em Farmácia-Bioquímica, possui habilitações em Física e em Matemática, especialização em Didática e Metodologia do Ensino, tendo também participado do Programa de Desenvolvimento Educacional – (PDE). Possui 32 anos de docência na disciplina de Física no Ensino Médio.

O sujeito 2 é graduado e mestre em Física. Atua como docente no Ensino Médio da rede pública estadual e no Ensino Superior. Atua na docência há 30 anos.

O sujeito 3 é graduado em Química – Licenciatura, especializado em Administração, Supervisão e Orientação Educacional e em gestão Educacional. Atua há 15 anos como docente tanto em Química como em Física no Ensino Médio. No momento, encontra-se afastado para o PDE.

O sujeito 4 é graduado em Física e atua há 9 anos como docente na disciplina de Física no Ensino Médio.

No texto do sujeito 1,

*No decorrer do tempo, a Física tem abordado os processos de transformação da natureza, processando transformações, aumentando os conhecimentos científicos, influenciando os poderes de intervenção dos homens na sociedade.*

*Do ponto de vista físico, a ciência que é ensinada nas escolas deve ser encarada como necessária na formação e preparação do indivíduo, pois permite uma articulação dos conceitos com maior profundidade dentro da perspectiva técnico científico.*

*O papel do ensino de física nas escolas do Ensino Fundamental desde os primeiros anos da pré-escola significa uma necessidade de valor inestimável para que os indivíduos cresçam dentro de uma formação articulada para o conhecimento das ciências sociais e naturais. Neste sentido poderíamos chamar de alfabetização da ciência com a intervenção de assuntos pertinentes à Física.*

*Dentro desta visão, a preocupação se torna evidente ao observarmos estatisticamente que a grande maioria dos profissionais, especificamente da área de ciências, é carente de conhecimentos específicos da Física. Certamente devemos destacar a necessidade urgente de transformação educacional no campo da ciência física desde as séries iniciais do Ensino Fundamental, o que não vem ocorrendo.*

A contribuição do sujeito 2, na íntegra:

*Quando eu comecei a lecionar, só me preocupava com os conteúdos que estavam no livro didático, principalmente a parte matemática, ou seja, as fórmulas da Física. Isso devido à formação tradicional que tive na graduação.*

*Atualmente, depois de vários cursos, palestras e formação continuada, vejo que não tem como explicar a Física sem o contexto histórico porque o conhecimento científico não surge do nada, não é o pensamento de uma única mente que tem um "estalo" de repente e concebe uma teoria.*

*Assim, quando preparo um conteúdo, procuro sempre as bases históricas, as diversas teorias e discussões que levaram à versão atual. Com isso, vejo que a Física se torna mais real, mais acessível aos alunos que notam a mesma como uma evolução do pensamento humano, além de estar relacionada com outras áreas do conhecimento como a História, a Química, a Matemática, a Arte...*

O sujeito 3 tem o seguinte pensamento a respeito da Física à luz da História da Ciência:

*Penso hoje que a Física foi e continua sendo fundamental para o desenvolvimento humano, seja ele da ordem científica de conhecimento como possibilidade da construção de equipamentos para a manutenção da vida ou no bem estar e lazer da humanidade.*

*Hoje entendo que da forma que está estabelecida a divisão da carga horária nas escolas é quase impossível trazer para o aluno de forma satisfatória a reflexão sobre a importância da Física para a humanidade. Vejo que na maioria das vezes o que está imperando como ensino de Física é a matematização do conteúdo que poderia ser explorado com maior beleza, clareza e significado para o aluno. Mas como fazer isso com uma preparação deficitária?*

O sujeito 4 assim socializou seu pensamento sobre o tema:

*Vou escrever como vejo esta temática, sem recorrer a artigos como fundamentot teórico.*

*Primeiramente, lembrando que a Física era parte da Filosofia na Grécia Antiga, podemos fazer uma relação entre a maneira do homem ver o mundo e como ele o explica.*

*A Física é uma ciência que transforma e modifica o modo de viver da sociedade, seja na economia, na saúde e na cultura. Por isso, a História da Ciência resgata todo o contexto histórico do desenvolvimento da Física. E mais: ela é construída a todo momento. As Guerras Mundiais tiveram a Física como a principal ciência na construção dos armamentos e concorrência científica. Durante a Guerra Fria, a conquista do espaço trouxe também o desenvolvimento das engenharias espaciais e das telecomunicações.*

*O uso da internet, algo tão comum como o www só foi desenvolvido porque físicos de altas energias queriam um modo rápido de comunicação.*

*Discutir a História de Ciência é resgatar a contribuição de físicos que transformaram o modo de ver o mundo (vide por exemplo, o embate entre o sistema heliocêntrico de Copérnico, Galileu, Newton,*

*Kepler e o geocêntrico de Ptolomeu). Enfim, há muito para se lembrar do que os físicos fizeram ao longo da história. A Física é uma ciência para a humanidade entender e usufruir da natureza, fazendo acertos e erros.*

### 3.1 Unidades significativas e compreensão ideográfica dos discursos

A estrutura de cada discurso é compreendida por meio de unidades atribuidoras de significados aos discursos. Ao ser lido e relido com bastante atenção, depura-se o discurso de partes ingênuas, restando então os trechos reveladores da essência procurada.

#### Sujeito 1 – Unidade 1

*No decorrer do tempo, a Física tem abordado os processos de transformação da natureza, processando transformações, aumentando os conhecimentos científicos, influenciando os poderes de intervenção dos homens na sociedade.*

#### Compreensão da situação relatada na Unidade 1

O sujeito vê a Física como responsável pelo corpo de conhecimentos historicamente construído pelos homens na interação com a natureza e com a sociedade.

#### Unidade 2

*Do ponto de vista físico, a ciência que é ensinada nas escolas deve ser encarada como necessária na formação e preparação do indivíduo, pois permite uma articulação dos conceitos com maior profundidade dentro da perspectiva técnico-científico.*

#### Compreensão da situação relatada na Unidade 2

Por permitir uma articulação dos conceitos na perspectiva técnico-científica, a ciência ensinada nas escolas é vista pelo sujeito como necessária para a formação e preparação do indivíduo para a vida, o que na premissa da educação como um fenômeno se traduz "[...] no cuidado que uma pessoa dispensa ao vir-a-ser da outra, aparecendo no ser-com-os-outros de modo cuidadoso e atento [...]" (MARTINS; BICUDO, 2006, p.12 *apud* KLUBER; BURAK, 2008, p.97).

#### Unidade 3

*O papel do ensino de Física nas escolas do Ensino Fundamental desde os primeiros anos da pré-escola significa uma necessidade de valor inestimável para que os indivíduos cresçam dentro de uma formação articulada para o conhecimento das ciências sociais e naturais. Neste sentido poderíamos chamar de alfabetização da ciência com a intervenção de assuntos pertinentes à Física.*

#### Compreensão da situação relatada pela Unidade 3

Emerge aqui a preocupação do sujeito por uma educação que supere a construção de conhecimentos em compartimentos estanques. Trabalhando já desde o início da escolarização na perspectiva interdisciplinar, é possível evitar que, de acordo com Neves e Resquetti (2006), “[...] o aprendiz crie um compartimento para os conceitos científicos incompatíveis com a visão geral de sua visão de mundo [...]”, criando condições para que de fato ocorra uma alfabetização científica.

#### Unidade 4

*Dentro desta visão, a preocupação se torna evidente ao observarmos estatisticamente que a grande maioria dos profissionais, especificamente da área de ciências, é carente de conhecimentos específicos da Física.*

#### Compreensão da situação relatada pela Unidade 4

O sujeito vê a carência de conhecimentos específicos de Física por parte da grande maioria dos profissionais da área de Ciências como motivo de preocupação, o que sugere que do modo como está sendo praticada em salas de aula a educação científica não está correspondendo ao que se espera dela.

#### Unidade 5

*Certamente devemos destacar a necessidade urgente de transformação educacional no campo da ciência física desde as séries iniciais do Ensino Fundamental, o que não vem ocorrendo.*

#### Compreensão da situação relatada na Unidade 5

Enquanto profissional atuante na sala de aula, o sujeito tem consciência da situação de deficiência em que se encontra o ensino de Ciências e da necessária transformação na educação científica desde as séries iniciais do Ensino Fundamental.

#### Compreensão ideográfica do discurso do sujeito 1

O que depreendemos do discurso do sujeito 1 é o ensaio em explicar o que tem

sido a Física na História da Ciência em função de suas atividades realizadas, revelando uma dificuldade de elaborar uma conclusão que expressasse a síntese de uma reflexão sobre o que é a Física à luz da História da Ciência. Ateve-se em descrevê-la como processo, sem apresentar nenhuma tentativa de defini-la. Direciona sua reflexão para um modelo de educação que dê conta de formar e preparar o indivíduo para que este tenha assegurado a sua integração a um sistema social, que se caracteriza por uma crescente complexidade científica tecnológica.

Nesse sentido, o sujeito vê como uma necessidade fundamental a alfabetização científica do indivíduo já a partir de sua escolarização, no âmbito de uma educação na perspectiva interdisciplinar, em que a Física tem papel assegurado por suas possibilidades de articulação com outras áreas de conhecimento.

## SUJEITO 2 - Unidade 1

*Quando eu comecei a lecionar, só me preocupava com os conteúdos que estavam no livro didático, principalmente a parte matemática, ou seja, as fórmulas da Física. Isso devido à formação tradicional que tive na graduação.*

### Compreensão da situação relatada na Unidade 1

Nas entrelinhas do discurso, emerge a importância do livro didático para o planejamento do trabalho docente, mas revela também o apego à forma como os conteúdos são apresentados, com forte ênfase no formalismo matemático. Revela um denominador comum de recém-formados desprovidos de senso crítico quanto aos conteúdos dos livros didáticos e sua forma de apresentação.

## Unidade 2

*Atualmente, depois de vários cursos, palestras e formação continuada, vejo que não tem como explicar a Física sem o contexto histórico.*

### Compreensão da situação relatada na Unidade 2

O sujeito vê a necessidade de contextualizar o ensino de Física pela História da Ciência. Vislumbra um horizonte de possibilidades através da janela aberta pelos vários cursos, palestras e formação continuada.

## Unidade 3

*... o conhecimento científico não surge do nada, não é o pensamento de uma única mente que tem um “estalo” de repente e concebe uma teoria.*

### Compreensão da situação relatada na Unidade 3

Conhecimento como fruto de um processo coletivo e continuado na construção de uma teoria. Revela conhecimento de elementos da historiografia whig.

### Unidade 4

*Assim, quando preparo um conteúdo, procuro sempre as bases históricas, as diversas teorias e discussões que levaram à versão atual. Com isso, vejo que a Física se torna mais real, mais acessível aos alunos que notam a mesma como uma evolução do pensamento humano.*

### Compreensão da situação relatada na Unidade 4

Consciência do potencial da História da Ciência em oportunizar ao estudante a levou à versão atual e a adquirir uma visão adequada da natureza do conhecimento científico. Vê a História da Ciência como um recurso para promover um ensino de Física mais humanizado, em elaborar um conhecimento que seja acessível a todos, no âmbito de uma educação inclusiva.

### Unidade 5

*[...] além de estar relacionada com outras áreas do conhecimento como a História, a Química, a Matemática, a Arte [...]*

### Compreensão da situação relatada na Unidade 5

O sujeito vê na contextualização histórica a oportunidade privilegiada de se trabalhar na perspectiva interdisciplinar.

### Compreensão ideográfica do discurso do sujeito 2

As linhas iniciais de seu discurso denunciam situações vivenciadas por uma grande parcela dos que iniciam as atividades docentes, assim que concluíram a licenciatura em Física. Uma das componentes dessas situações é a não compreensão do que é a Física, o que leva a uma abordagem equivocada no seu ensino: a forte ênfase no formalismo matemático, sem a correspondente relação com os conceitos estudados. Constitui um ranço herdado da formação recebida na graduação, de cunho positivista.

O sujeito revela que tais dificuldades foram superadas pela busca de novas formas de abordagens através de cursos, palestras e formação continuada, constatando a necessidade de contextualizar o ensino de Física através da História da Ciência.

Apresenta a visão da Física como processo dinâmico ao afirmar que “o pensamento científico não surge do nada ...”. Afirma que a Física é uma construção coletiva quando diz que “não é o pensamento de uma única mente que tem um „estalo“ de repente e concebe uma teoria. Ao planejar seu trabalho docente, busca na abordagem histórica “as diversas teorias e discussões que levaram à versão atual”, deixando claro sua concepção de Física como um corpo de conhecimento que não é pronto, mas aberto, em um processo de permanentes transformações. E revela uma satisfação ao perceber que os alunos se apropriam do conhecimento físico, entendendo a Física como uma evolução do pensamento humano. E assim trabalhando, torna a Física mais humana porque possibilita a um maior número de alunos terem acesso aos conhecimentos engendrados pela atividade científica. No final de seu discurso, exprime a consciência da História da Física como um privilegiado tema interdisciplinar.

### Sujeito 3 - Unidade 1

*Penso hoje que a Física foi e continua sendo fundamental para o desenvolvimento humano, seja ele da ordem científica de conhecimento como possibilidade da construção de equipamentos para a manutenção da vida ou no bem estar da humanidade.*

#### Compreensão da situação relatada na Unidade 1

O sujeito atribui importância à Física como um conjunto de conhecimentos que possibilite o desenvolvimento científico cultural do ser humano e de recursos tecnológicos que auxiliem na preservação e na melhoria da qualidade de vida da humanidade.

### Unidade 2

*Hoje entendo que da forma que está estabelecida a divisão da carga horária nas escolas é quase impossível trazer para o aluno de forma satisfatória a reflexão sobre a importância da Física para a humanidade.*

#### Compreensão da situação relatada na Unidade 2

Emerge das entrelinhas a consciência da necessidade de mudanças na educação científica, mudança essa obstaculizada pelas péssimas condições de trabalho que o sistema impõe aos profissionais da educação, condições que engendram uma vivência em um mundo pré-reflexional, e não existe uma janela através da qual se possa ver um horizonte de possibilidades na busca de conhecimentos.

### Unidade 3

*Vejo que na maioria das vezes o que está imperando como ensino de Física é a matematização do conteúdo que poderia ser explorado com maior beleza, clareza e significado para o aluno.*

#### Compreensão da situação relatada na Unidade 3

O sujeito se refere à forma equivocada como os conteúdos são abordados, pela demasiada ênfase no formalismo matemático. Implicitamente, aponta para a necessidade de contextualização do conteúdo, que poderia ser explorado com maior beleza, clareza e significado para o aluno, sendo necessário retornar ao mundo vida, de possibilidades a partir da vivência do ser enquanto atribuidor de significados aos fenômenos experienciados.

### Unidade 4

*Como fazer isso com uma preparação deficitária?*

#### Compreensão da situação relatada na Unidade 4

O sujeito denuncia a situação representada pelos cursos de graduação e dos programas de formação continuada.

#### Compreensão ideográfica do discurso do sujeito 3

O discurso desse sujeito mostra uma consciência preocupada com a ética do fazer ciências, a reflexão sobre o fato de que o ser humano é capaz de produzir conhecimentos, produtos e artefatos científicos, mas que em algum momento da história se esqueceu ou não se preocupou em perguntar “por que fazer ciência ou por que produzir artefatos mortíferos?”. A ética implícita em seu discurso é a da ciência voltada para a manutenção da vida, da sua preservação e da busca de sua plenitude.

Revela sua decepção e frustração pelas dificuldades que são impostas pelo sistema educacional, que limitam a ação do professor no sentido de discutir e refletir sobre a importância da Física para a humanidade. Essas dificuldades acabam fazendo com que o agir do professor resvale para uma abordagem equivocada dos conteúdos pela sua matematização. Isto cria no aluno uma aversão aos temas propostos, impedindo-o de ver a beleza das teorias, a clareza que poderia ser alcançada mediante um debate sobre os resultados de experimentos, e o que é mais desanimador: o aluno



acaba por não ver significado para sua vida nos conteúdos trabalhados. E por fim, o sujeito coroa sua frustração com um desabafo: “como fazer isso com uma preparação deficitária?”.

#### Sujeito 4 - Unidade 1

*Vou escrever como vejo esta temática, sem recorrer a artigos como fundamento teórico. Primeiramente, lembrando que a Física era parte da Filosofia na Grécia Antiga, podemos fazer uma relação entre a maneira do homem ver o mundo e como ele o explica.*

#### Compreensão da situação relatada na Unidade 1

O sujeito expressa o desejo de mostrar sua visão do tema que lhe foi apresentado. Seu pensamento é o de que a História da Ciência permite ver o homem como a espécie que interage com o mundo, e nessa interação elabora uma linguagem para explicá-lo.

#### Unidade 2

*A Física é uma ciência que transforma e modifica o modo de viver da sociedade, seja na economia, na saúde e na cultura.*

#### Compreensão da situação relatada na Unidade 2

O sujeito percebe a Física como um corpo de conhecimento capaz de provocar transformações e mudanças na sociedade em todos os campos do conhecimento humano.

#### Unidade 3

*Por isso, a História da Ciência resgata todo o contexto histórico do desenvolvimento da Física. E mais: ela é construída a todo momento.*

#### Compreensão da unidade relatada na Unidade 3

O sujeito vê na História da Ciência a possibilidade de trazer para perto o contexto histórico do desenvolvimento da Física, propiciando entender o modo como ocorreu seu desenvolvimento, as peculiaridades das contribuições de cada representante da ciência. O resgate desse contexto em sala de aula enseja ao estudante o exercício da imaginação criativa, que busca captar a essência do

fenômeno em estudo.

#### Unidade 4

*As Guerras Mundiais tiveram a Física como a principal ciência na construção dos armamentos e concorrência científica. Durante a Guerra Fria, a conquista do espaço trouxe também o desenvolvimento das engenharias espaciais e das telecomunicações.*

#### Compreensão da situação relatada na Unidade 4

Aqui, o sujeito aponta para o desenvolvimento tecnológico como produto dos conhecimentos construídos na área da Física. Uma reflexão a respeito da intencionalidade desse empreendimento, o de perpetrar impiedosamente genocídios em várias áreas da Terra, o leva a perguntar: que racionalidade é essa?

#### Unidade 5

*Discutir a História de Ciência é resgatar a contribuição de físicos que transformaram o modo de ver o mundo (vide por exemplo, o embate entre o sistema heliocêntrico de Copérnico, Galileu, Newton, Kepler e o geocêntrico de Ptolomeu). Enfim, há muito para se lembrar do que os físicos fizeram ao longo da história.*

#### Compreensão da situação relatada na Unidade 5

O sujeito assinala que discutir a História da Ciência, enquanto dinâmica na abordagem de conteúdos da Física, é uma forma de resgatar a contribuição de físicos que transformaram o modo de ver o mundo e pode possibilitar ao aprendiz entender de que modo cada cientista construiu seu pensamento e as consequentes implicações filosóficas das maneiras de ver e entender o mundo. Permite ir ao mundo vida de cada um dos pensadores, e através da imaginação, procurar entender a textura social, econômica e política da época em que viveram.

#### Unidade 6

*A Física é uma ciência para a humanidade entender e usufruir da natureza, fazendo acertos e erros.*

#### Compreensão da situação relatada na Unidade 6

A Física é uma ciência, uma linguagem construída pelo homem para entender

e explicar a natureza. E usufruir da natureza implica a ação de sujeitos responsáveis e solidários tanto na preservação da vida como no acesso democrático aos produtos da ciência e da tecnologia.

#### Compreensão ideográfica do discurso do sujeito 4

O discurso desse sujeito mostra a visão da Física como linguagem para entender e explicar o mundo. Apresenta a Física como construção humana, porque ela modifica e transforma a sociedade, tendo, então, uma historicidade. Vê na História da Ciência o meio de tornar presente os trabalhos dos pensadores do passado, podendo se converter em pontos de partida para um processo de reflexão sobre a natureza e os objetivos do conhecimento científico.

### 3.2 A convergência dos discursos

No quadro abaixo, demonstramos a convergência dos discursos dos sujeitos participantes deste estudo.

CATEGORIAS	CONVERGÊNCIAS			
	SUJEITO 1	SUJEITO 2	SUJEITO 3	SUJEITO 4
1º Definição de Física	U-1 ( I )			U-2,U-6 ( E )
2º Falta de compreensão do papel da matemática		U-1 ( E )	U-3 ( E )	
3º Frustração com o ensino de Física	U-4, U-5 ( E )	U-1 ( I )	U-4 ( E )	
4º Física como processo dinâmico	U-1,U-2, U-3 ( E )	U-3, U-4 ( E )		U-2, U-3 ( E )
5º Falta de embasamento	U-4 ( E )	U-1 ( E )	U-3, U-4 ( E )	
6º Física como construção humana		U-2, U3, U-4 ( E )	U-2 ( I )	U-1, U-3, U-5 ( E )
7º História da ciência como catalisadora do diálogo		U-3, U-4, U-5 ( I )	U-2, U-3 ( E )	U-3, U-5 ( I )
8º Física como fator de aperfeiçoamento do desenvolvimento tecnológico	U-1, U-2 ( E )		U-1 ( E )	U-4 ( E )

#### As Convergências

##### 1ª Categoria: A definição de Física

##### Sujeito 1 – Unidade 1

*No decorrer do tempo, a Física tem abordado os processos de transformação da natureza, processando, transformando os conhecimentos*

*científicos, influenciando os poderes de intervenção dos homens na sociedade.*

#### Sujeito 4 – Unidade 2

*A Física é uma ciência que transforma e modifica o modo de viver da sociedade, seja na economia, na saúde e na cultura.*

#### Unidade 6

*A Física é uma ciência para a humanidade entender e usufruir da natureza, fazendo acertos e erros.*

### **Compreensão eidética das convergências na primeira categoria**

#### A definição de Física

Ao se depararem com a pergunta “O que é a Física, à luz da História da Ciência, os participantes desta pesquisa apresentaram respostas que se aproximam mais de descrições dos produtos e dos processos da ciência do que uma definição fechada, apontando para a questão “O que é fazer ciência?”. Dessas respostas, emerge a busca de uma característica da Física que se traduz em conhecimento, interação, mediação.

### **2ª categoria: Falta de compreensão do papel da Matemática no ensino de Física**

#### Sujeito 2 – Unidade 1

*Quando eu comecei a lecionar, só me preocupava com os conteúdos que estavam no livro didático, principalmente a parte matemática, ou seja, as fórmulas da Física. Isso devido à formação tradicional que tive na graduação.*

#### Sujeito 3 – Unidade 3

*Vejo que na maioria das vezes o que está imperando como ensino de Física é a matematização do conteúdo que poderia ser explorado com maior beleza, clareza e significado para o aluno.*

### **Compreensão eidética das convergências na segunda categoria**

De acordo com Neves (2005, p.110), “[...] Esta ciência (a Física) estabeleceu-se num processo que é discriminado, para uma melhor compreensão, em três etapas: a etapa filosófica, a etapa matemática e a etapa tecnológica [...]”. Os sujeitos, a certa altura da caminhada, experimentam a desagradável sensação de que o tratamento com forte ênfase no formalismo matemático dos conteúdos

não está se traduzindo em aprendizagem em Física, ocultando assim toda a beleza da busca da compreensão do mundo, a clareza advinda do debate, do diálogo, da partilha, imprescindíveis para que o aluno veja significados no seu estar no mundo. A matemática, nesses casos, tem se constituído em uma linguagem incapaz de explicar o mundo, pois não foi derivada de uma atitude filosófica de pensar o mundo e elaborar modelos. Conforme Neves (1999, p.111),

*Em ciências temos uma complexa e muito abstrata linguagem matemática, deixando de fora para sempre o fenômeno físico originalmente destinado à compreensão. [...] A matemática pela matemática é imposta, ao contrário da inicial e necessária compreensão qualitativa do fenômeno [...]*

### **3ª Categoria: Frustração com o ensino de Física**

Sujeito 1 – Unidade 4

*Dentro desta visão, a preocupação se torna evidente ao observarmos estatisticamente que a grande maioria dos profissionais, especificamente da área de ciências, é carente de conhecimentos específicos da Física.*

Unidade 5

*Certamente devemos destacar a necessidade urgente de transformação educacional no campo da ciência física desde as séries iniciais do Ensino Fundamental, o que não vem ocorrendo.*

Sujeito 2 – Unidade 1

*Quando eu comecei a lecionar, só me preocupava com os conteúdos que estavam no livro didático, principalmente a parte matemática, ou seja, as fórmulas da Física. Isso devido à formação tradicional que tive na graduação.*

Sujeito 3 – Unidade 4

*Como fazer isso com uma preparação deficitária?*

### **Compreensão eidética das convergências na terceira categoria**

Nos discursos dos sujeitos, constatamos a insatisfação em relação ao processo e aos resultados de seu fazer pedagógico. A reflexão que emerge de seus discursos denuncia um sistema que os confinou em uma prisão, materializada pela deficitária

preparação (graduação e formação continuada) e pelas limitações impostas quando se ousa alçar voos em busca de novos horizontes. Trata-se, segundo Neves (2005, p.165), de “[...] uma revolta ... com a falta de liberdade para uma visão autêntica de mundo no debate com os seus pares”.

#### **4ª Categoria: Ciência como processo dinâmico**

##### Sujeito 1– Unidade 1

*No decorrer do tempo, a Física tem abordado os processos de transformação da natureza, processando transformações, aumentando os conhecimentos científicos, influenciando os poderes de intervenção dos homens na sociedade.*

##### Unidade 2

*Do ponto de vista físico, a ciência que é ensinada nas escolas deve ser encarada como necessária na formação e preparação do indivíduo, pois permite uma articulação dos conceitos com maior profundidade dentro da perspectiva técnico-científico.*

##### Unidade 3

*O papel do ensino de Física nas escolas do Ensino Fundamental desde os primeiros anos da pré-escola significa uma necessidade de valor inestimável para que os indivíduos cresçam dentro de uma formação articulada para o conhecimento das ciências sociais e naturais. Neste sentido poderíamos chamar de alfabetização da ciência com a intervenção de assuntos pertinentes à Física.*

##### Sujeito 2 – Unidade 3

*... o conhecimento científico não surge do nada, não é o pensamento de uma única mente que tem um “estalo” de repente e concebe uma teoria.*

##### Unidade 4

*Assim, quando preparo um conteúdo, procuro sempre as bases históricas, as diversas teorias e discussões que levaram à versão atual. Com isso, vejo que a Física se torna mais real, mais acessível aos alunos que notam a mesma como uma evolução do pensamento humano.*

##### Sujeito 4 – Unidade 2

*A Física é uma ciência que transforma e modifica o modo de viver da sociedade, seja na economia, na saúde e na cultura.*

##### Unidade 3

*Por isso, a História da Ciência resgata todo o contexto*

*histórico do desenvolvimento da Física. E mais: ela é construída a todo momento.*

### **Compreensão eidética das convergências na quarta categoria**

A percepção da necessidade de contextualizar o ensino de Física se faz presente nos discursos desses sujeitos. No diálogo da Física com as outras disciplinas, mais especificamente com a História, se revela a dinamicidade dessa ciência como processo de evolução do pensamento humano, que rompe com a crença da existência de um método infalível no fazer ciência. Essa ruptura, que implica na rejeição a dogmas, permite o exercício da imaginação criativa e da intuição na compreensão do mundo com o qual o ser interage. É nessa liberdade de pensar o mundo que a Física é construída a todo momento.

### **5ª Categoria: Falta de embasamento**

Sujeito 1 – Unidade 4

*O papel do ensino de Física nas escolas do Ensino Fundamental desde os primeiros anos da pré-escola significa uma necessidade de valor inestimável para que os indivíduos cresçam dentro de uma formação articulada para o conhecimento das ciências sociais e naturais. Neste sentido poderíamos chamar de alfabetização da ciência com a intervenção de assuntos pertinentes à Física.*

Sujeito 2 – Unidade 1

*Quando eu comecei a lecionar, só me preocupava com os conteúdos que estavam no livro didático, principalmente a parte matemática, ou seja, as fórmulas da Física. Isso devido à formação tradicional que tive na graduação.*

Sujeito 3 – Unidade 3

*Vejo que na maioria das vezes o que está imperando como ensino de Física é a matematização do conteúdo que poderia ser explorado com maior beleza, clareza e significado para o aluno.*

Unidade 4

*Como fazer isso com uma preparação deficitária?*

### **Compreensão eidética das convergências na quinta categoria**

Um ensino de ciências que se pauta na transmissão de saberes ao invés de em sua construção caracteriza-se pelo dogmatismo e pela imposição de certezas, contribuindo para a formação da visão da ciência como um conjunto de conhecimentos

prontos e acabados. O sopro de vida da criatividade é extinguido durante o processo educacional, processo esse que seria mais apropriado ser chamado de doutrinação. Não é oportunizado ao ser a fascinação pelos fenômenos da natureza. A falta de sensibilidade que impede o ser de maravilhar, de ver, de explorar com riquezas de detalhes o mundo que se lhe apresenta, se materializa nessa falta de embasamento no ensinar ciências. Ao invés de buscar a compreensão dos fenômenos, ensina-se matemática. “Assim, exclui o fenômeno que nos era originalmente destinado à compreensão” (NEVES, 2005, p.166).

### **6ª Categoria: Física como construção humana**

#### Sujeito 2 – Unidade 2

*Atualmente, depois de vários cursos, palestras e formação continuada, vejo que não tem como explicar a Física sem o contexto histórico porque o conhecimento científico não surge do nada, não é o pensamento de uma única mente que tem um “estalo” de repente e concebe uma teoria.*

#### Unidade 3

*o conhecimento científico não surge do nada, não é o pensamento de uma única mente que tem um “estalo” de repente e concebe uma teoria.*

#### Unidade 4

*Assim, quando preparo um conteúdo, procuro sempre as bases históricas, as diversas teorias e discussões que levaram à versão atual.*

#### Sujeito 3 – Unidade 2

*Hoje entendo que da forma que está estabelecida a divisão da carga horária nas escolas é quase impossível trazer para o aluno de forma satisfatória a reflexão sobre a importância da Física para a humanidade.*

#### Sujeito 4 – Unidade 1

*Primeiramente, lembrando que a Física era parte da Filosofia na Grécia Antiga, podemos fazer uma relação entre a maneira do homem ver o mundo e como ele o explica.*

#### Unidade 3

*Por isso, a História da Ciência resgata todo o contexto histórico do desenvolvimento da Física. E mais: ela é construída a todo momento.*



## Unidade 5

*Discutir a História de Ciência é resgatar a contribuição de físicos que transformaram o modo de ver o mundo (vide por exemplo, o embate entre o sistema heliocêntrico de Copérnico, Galileu, Newton, Kepler e o geocêntrico de Ptolomeu).*

### **Compreensão eidética das convergências na sexta categoria**

Tal como aconteceu em Havard nas décadas 60-70 do século passado, por iniciativa de James Bryant Conant, conforme Matthews (1995), vemos, aqui, sujeitos que buscam superar os limites impostos pela conjuntura, buscando motivar alunos para o estudo da Física pelo desvelamento de sua dimensão humana. Propõem um olhar para o passado como possibilidade de compreender os fios que constituem a trama de conhecimentos atualmente aceitos como científicos. A História da Ciência permite direcionar a consciência para o ser que experiencia o mundo, que elabora perguntas e propõe respostas, mas permite também perceber a ciência como uma construção coletiva. Ao olhar para o palco onde se movem os representantes da ciência, os alunos têm a oportunidade de perceber que suas dúvidas, seus anseios e suas revoltas foram vivenciadas pelos que no passado se embrenharam na busca de compreensão do mundo.

### **7ª Categoria: História da Ciência como catalisadora de diálogos**

Sujeito 2 – Unidade 3

*... o conhecimento científico não surge do nada, não é o pensamento de uma única mente que tem um “estalo” de repente e concebe uma teoria.*

Unidade 4

*Assim, quando preparo um conteúdo, procuro sempre as bases históricas, as diversas teorias e discussões que levaram à versão atual. Com isso, vejo que a Física se torna mais real, mais acessível aos alunos que notam a mesma como uma evolução do pensamento humano.*

Unidade 5

*... está relacionada com outras áreas do conhecimento, como a História, a Química, a Matemática, a Arte...*

Sujeito 3 – Unidade 2

*Hoje entendo que da forma que está estabelecida a divisão da carga horária nas escolas é quase impossível trazer para o aluno de forma satisfatória a reflexão sobre a importância da Física para a humanidade.*

### Unidade 3

*Vejo que na maioria das vezes o que está imperando como ensino de Física é a matematização do conteúdo que poderia ser explorado com maior beleza, clareza e significado para o aluno. Mas como fazer isso com uma preparação deficitária?*

### Sujeito 4 – Unidade 3

*Por isso, a História da Ciência resgata todo o contexto histórico do desenvolvimento da Física. E mais: ela é construída a todo momento.*

### Unidade 5

*Discutir a História de Ciência é resgatar a contribuição de físicos que transformaram o modo de ver o mundo (vide por exemplo, o embate entre o sistema heliocêntrico de Copérnico, Galileu, Newton, Kepler e o geocêntrico de Ptolomeu).*

## **Compreensão eidética das convergências na sétima categoria**

Os sujeitos têm consciência do potencial da História da Ciência no fomento de debates, transformando a sala de aula em um espaço de encontro entre pessoas que experimentam a liberdade de expor seu pensamento, sua visão de mundo. Possibilita ao ser sentir-se incluído e participante de um processo coletivo de construção do conhecimento. Em tal ambiente democrático e acolhedor, o aluno visualiza e atribui significados às coisas, vendo na ciência, mas também nas religiões, nas artes, na filosofia, formas de linguagens que lhe permitem explicar o mundo.

## **8ª categoria: a Física como fator de aperfeiçoamento do desenvolvimento tecnológico**

### Sujeito 1 – Unidade 1

*No decorrer do tempo, a Física tem abordado os processos de transformação da natureza, processando transformações, aumentando os conhecimentos científicos, influenciando os poderes de intervenção dos*

*homens na sociedade.*

## Unidade 2

*Do ponto de vista físico, a ciência que é ensinada nas escolas deve ser encarada como necessária na formação e preparação do indivíduo, pois permite uma articulação dos conceitos com maior profundidade dentro da perspectiva técnico-científico.*

### Sujeito 3 – Unidade 1

*Penso hoje que a Física foi e continua sendo fundamental para o desenvolvimento humano, seja ele da ordem científica de conhecimento como possibilidade da construção de equipamentos para a manutenção da vida ou no bem estar e lazer da humanidade.*

### Sujeito 4 – Unidade 4

*... As Guerras Mundiais tiveram a Física como a principal ciência na construção dos armamentos e concorrência científica. Durante a Guerra Fria, a conquista do espaço trouxe também o desenvolvimento das engenharias espaciais e das telecomunicações.*

## **Compreensão eidética das convergências na oitava categoria**

Os sujeitos referenciam-se ao poder criativo da mente humana. De um lado, apontam para uma ética da ciência que visa à preservação da vida bem como de sua plenitude e, de outro, denunciam uma ética que deixa como herança a destruição de sonhos e de horizontes (NEVES, 2002, p.94). Emerge dos discursos desses sujeitos a consciência da necessidade de se formar indivíduos que questionem os objetivos de certas produções tecnológicas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca por um ensino de ciências mais prazeroso e atraente se insere na necessidade da escola responder às exigências do mundo contemporâneo, acolhendo e formando em seu seio cidadãos aptos a atuar de forma competente e solidária na sociedade atual. Que características deve ter uma escolar para que seja formadora de pessoas livres, capazes de entender o mundo e a sociedade e neles se integrar? Que ensino proporcionar aqueles que a procuram, esperançosos de encontrar uma formação que os habilite a responder os desafios do mundo moderno? Que saberes devem ser elaborados por uma escola que deseja estar sintonizada com um mundo e uma sociedade em constantes mudanças? Onde buscar respostas a essas questões? As interrogações, as dúvidas e as incertezas que brotam das limitações de um viver despojado de referenciais evocam a vivência dos prisioneiros do mito da caverna de Platão, conforme Baraquin e Laffite (2007, p.238):

Platão ilustra a hierarquia das formas do ser e a conversão ao inteligível: os habitantes de uma gruta, prisioneiros acorrentados desde sempre, de costas para a entrada, percebem no fundo as sombras projetadas pelos objetos levados pelos homens que passam pelo lado de fora, e tomam essas sombras por realidades.

A hegemonia do pensamento positivista engendrou um sistema educacional que tem se caracterizado pela exclusão de indivíduos da possibilidade de se extasiar com a beleza das construções teóricas acerca do mundo e dos fenômenos que neles ocorrem, privando-os do enriquecimento cultural através dos conhecimentos científicos. Devido à ênfase no "método científico" e na leitura equivocada dos trabalhos de Galileu, o que temos hoje é um ensino de Física, via de regra, reduzido à memorização de conceitos e resoluções mecânicas de exercícios, com aplicações intensivas do formalismo matemático em detrimento de um olhar mais abrangente que abarque um maior número de possibilidades de acesso às "fontes originais do conhecimento" (NEVES, 1992, p.216).

No que tange ao ensino de ciências, mais especificamente de Física, deparamo-nos com professores desnorteados, para os quais "a visão de mundo exila-se na pré-reflexão e aí quase desaparece, porque não se abre uma janela para o mundo" (NEVES,

1992, p.216). Necessário se faz ir às fontes do conhecimento em busca de um novo sentido e significado para o ensinar ciência. É preciso atentarmos para os registros da história, pois possibilitam, de acordo com Neves (1992), a contextualização das descobertas e das fontes originais do conhecimento, as quais conduzem à imaginação, tão ausente em nossas salas de aula.

Mas para encontrar na História da Ciência pontos de partida para pensar o mundo, esta não pode ser uma versão que se traduza em reconstrução racional. É necessária a busca por relatos que mais se aproximem do contexto dos acontecimentos e não a adaptação da história à lógica da física. Um relato que prime pela fidelidade de como os fatos ocorreram possibilita ao sujeito o acesso, conforme Neves (1992, p.224), a uma epistemologia por meio da qual o sujeito recupera sua condição de atribuidor de significados aos fenômenos do mundo, sua condição de construir a Física, em sua compreensão efetiva, imaginativa e elucidativa. Assim, se faz pertinente a recomendação de se problematizar relatos históricos que contenham elementos de historiografia whig, buscando acesso ao mundo vida daqueles que, na contingência de existir, pavimentaram os caminhos que, devidamente resgatados em contexto de sala de aula, podem conduzir o aluno a um despertar do fascínio para com a ciência. Por meio da História da Ciência este pode ver a beleza das construções teóricas e ser levado ao exercício da imaginação criativa, atribuindo significados aos fenômenos físicos estudados. Essa percepção foi possível ao resenharmos os dois projetos internacionais de ensino de Física, "antagônicos" quanto à adoção da História da Ciência no ensino. Constata-se que o estudo da Física pela leitura do Harvard Project Physics, é bem mais atraente, não cansativa, o que favorece o despertar do interesse do aluno pelas teorias que foram construídas ao longo da história, bem como, o interesse em entender a natureza da ciência e de sua história. O PSSC, por sua vez, embora apresente temas interessantes e ricos, possui uma aridez no trato dos temas por exigir do aluno, exercícios de abstração e cálculos matemáticos, que à primeira vista, desanima aqueles não muito familiarizados com a matemática.

Um denominador comum nos discursos dos sujeitos participantes deste estudo é a ausência de tentativas de apresentar uma formulação para a definição do que é a Física à luz da História da Ciência. "[...] 'Ensinamos ciência', mas esquecemos de perguntar ao ser-aprendiz e a nós mesmos o que é isto, a ciência [...]" (NEVES, 2005, p.16). Nenhuma menção foi feita às definições presentes nos livros didáticos, o que pode sugerir uma recusa em aceitar as proposições dogmáticas e as asserções ingênuas de

certezas que as permeiam. O direcionamento do que é a Física para o que é fazer Física revela sujeitos preocupados não tanto com a definição de Física, mas com a vivência da importância da Física no cotidiano das pessoas e com a falta de referência para uma reflexão filosófica que considere a ciência como um conhecimento inerente ao ser humano, construído a partir de suas experiências, com toda sua carga de subjetividade na interpretação dos fenômenos.

Por alijar o ser do seu mundo-vida, o processo por meio do qual a Física é ensinada priva da raiz das evidências lógico-matemáticas e de dar significado aos objetos e fenômenos. Assim, os conhecimentos matemáticos utilizados nos estudos dos conceitos científicos não cumprem sua função de linguagem para se compreender a natureza, restando, então, a frustração por não se ter a “liberdade de criar, de compreender e de construir uma ciência que, enfim, possa se coadunar com nossa consciência e existência” (NEVES, 2005, p.165). Na leitura atenta e reflexiva dos discursos, constatamos a revolta com a falta de embasamento, estreitamente relacionada com a não compreensão do papel da matemática no ensino de Física.

Um dos sujeitos faz uma crítica à forma distorcida e equivocada de se ensinar Física, forma que reduz o ensino à memorização de conceitos e resolução de exercícios, de forma mecânica e repetitiva, com meras aplicações de fórmulas matemáticas, o que contribui, como já foi pontuado na introdução deste trabalho, para a sensação de aridez no processo ensino-aprendizagem. Tal prática, que reflete uma postura ingênua e equivocada de ensinar ciências, mantém, tanto o professor como o aluno, presos a uma conjuntura de exílio da possibilidade de fascínio diante do mundo enquanto fenômeno que se apresenta à sua consciência.

Como salientamos no final da seção 1.1, ao privarmos os estudantes de uma salutar discussão acerca dos princípios físicos envolvidos, sufocamos a imaginação e a criatividade, que são inerentes às crianças e aos jovens. A suscitação e a sustentação de um debate acerca dos temas relevantes da Física, levadas a cabo pelo professor, poderia ensejar interações discursivas bastante fecundas, constituindo-se num processo no qual o aluno experimenta prazer e alegria ao exercer seu direito de pronunciar sua palavra, enquanto ser atribuidor de significados às coisas que experiencia. Num ambiente preñado de liberdade, de confiança, o aluno, sentindo-se incluído, verbaliza seu pensar e sua maneira de ver o mundo. Cabe ao professor, não doutrinar os alunos com “verdades” prontas e absolutas, mas interagir com os alunos, ajudando-os a reelaborar seu pensamento, materializando, assim, a reconstrução coletiva dos conceitos, onde a beleza,

a clareza e a significação, se apresentam aos alunos de modo inequívoco, como reivindicado por um dos sujeitos da pesquisa.

Isto é corroborado pelo discurso de outro sujeito, quando afirma “[...] que não tem como explicar a Física sem o contexto histórico, porque o conhecimento científico não surge do nada, não é o pensamento de uma única mente que tem um ‘estalo’ de repente e concebe uma teoria”. O contexto histórico, trazido para o contexto de sala de aula, permite aos alunos se desfazerem do mito das evidências primeiras e visualizar o caráter de negociação dos resultados da pesquisa no interior de uma comunidade científica. Assim, possibilita ao aluno, a percepção de que é totalmente equivocada a ideia de neutralidade da ciência.

A preocupação da busca pela percepção da não neutralidade da ciência se insere no bojo da discussão apresentada, na seção 1.1.1, acerca da alfabetização científica e emerge das entrelinhas do discurso de um dos sujeitos, que aponta para a “[...] necessidade de transformação educacional no ensino de Física, desde as series iniciais do Ensino Fundamental [...]”. É bastante significativa a afirmação desse mesmo sujeito de “[...] que a grande maioria dos profissionais da área de ciências, é carente de conhecimentos específicos da Física [...]”. Isto nos remete para a observação de Matthews (1995), de que o estudo da Física, numa perspectiva histórica, tal como o Harvard Project Physics, concorre para que um maior número de pessoas tenham interesse em estudar Física. Se a grande maioria desses profissionais é carente de tal conhecimento, é porque o ensino, fortemente pautado numa visão positivista de ciência, exigia que fosse expurgado no estudo dessa disciplina, toda a carga de subjetividade do indivíduo em sua busca de compreensão do mundo. Neste sentido, podemos inferir de Gil-Pérez (2005), que professores desprovidos de uma adequada visão de ciências e do ensinar ciências, acabam provocando nos alunos, falta de interesse, deixando-os, desmotivados para a construção de seu conhecimento.

Um dos sujeitos apresenta uma pergunta que denuncia uma conjuntura vivenciada por um razoável contingente de professores: “[...] como fazer isso com uma preparação deficitária? [...]”, enquanto um outro confessa que “[...] quando preparo um conteúdo, procure sempre as bases históricas, as diversas teorias e discussões que levaram à versão atual [...]”. Esses dois excertos nos mostram sujeitos portadores de autonomia intelectual, que os faz independentes de livros didáticos, capazes de elaborar seus próprios materiais de trabalho.

Dos sujeitos que defenderam o uso da História da Ciência no ensino de Física,

um deles não abordou a natureza da História da Ciência, não discorrendo sobre as versões problemáticas dessa disciplina. Assim não é possível inferir se ele concebe a evolução da ciência de forma linear ou através de idas e vindas, devido aos percalços inerentes às contingências do existir humano. O outro deixou implícito em seu discurso, indício de conhecimento a respeito da natureza do conhecimento científico, interpretando-o como fruto de um processo de construção coletiva, dando a entender de seu discurso, a inexistência de elementos hagiográficos em relação à biografia de personagens dos trabalhos científicos: “[...] não é o pensamento de uma única mente que tem um ‘estalo’ de repente e concebe uma teoria [...]”. Contudo, de seus discursos, não ficou claro se os mesmos detêm algum conhecimento sobre transposição didática e prescrições historiográficas.

Apesar de alguns deles defenderem o uso da História da Ciência no ensino de Física, não fizeram nenhuma referências aos recursos didáticos, livros didáticos e/ou internet-como meio de contato com a História da Ciência e suas prescrições historiográficas. Um dos sujeitos, ao informar que procura sempre as bases históricas, as diversas teorias e discussões que levaram à versão atual, não explicita se esta procura se restringia aos livros didáticos ou se estendia à outras fontes.

Provavelmente, se houvesse um estudo coletivo, mais minucioso, pelo menos dos documentos do Programa Nacional do Livro Didático, das Leis e Diretrizes da Educação Nacional e dos Parâmetros Curriculares Nacionais, o ambiente da sala dos professores não seria um muro de lamentações, mas de trocas de ideias e de experiências entre os docentes. Isto porque, por exigência da legislação, os autores de livros didáticos tem introduzidos textos de História da Ciência em suas obras, em vários formatos, em boxes, em inícios ou fins de capítulos, possibilitando que de uma forma ou de outra, tanto o docente quanto o aluno tenha contato com a História da Ciência. No entanto, de seus discursos, não emerge nenhum indício de que detêm algum conhecimento acerca da natureza da História da Ciência ou acerca de versões problemáticas da mesma, presentes nos livros didáticos recomendados.

Mas ao mesmo tempo em que os sujeitos visualizam, na História da Ciência, a possibilidade dos alunos de retomar e desenvolver a imaginação e a criatividade, as convergências dos discursos sinalizam para obstáculos que cerceiam tal possibilidade. Tais dificuldades, fortemente condensadas na denúncia de um dos sujeitos, acerca das limitações impostas pelo Sistema e pelas lacunas da formação, contribuem para uma conjuntura de falta de horizontes, que poderiam ser visualizados através de janelas



abertas no viver do dia-a-dia na lide escolar. Ao invés de espaços de liberdade, aos professores é imposta uma carga burocrática, que se traduz em atividades mecânicas, esterilizadoras de produções imaginativas e criativas. Essas limitações que nos são impostas no cotidiano escolar, nos mantêm presos em um mundo “pré-reflexional”, tal qual os prisioneiros do mito da caverna de Platão. A revolta que leva um dos sujeitos a denunciar a conjuntura de faltas de horizontes, traz em si, o germe da libertação. A revolta do sujeito revela sua tomada de consciência da necessidade de mudanças. Precisamos nos libertar das peias que nos prendem nessa caverna e sairmos para a claridade de um mundo no qual os fenômenos podem ser experienciados e compreendidos por meio da busca de suas essências.

Quando o professor se propõe a pensar acerca de tudo que diz respeito ao seu ser-professor, sua consciência se volta para, conforme Neves (2005, p. 169), “[...] o que era pouco ou nada refletido. Pela reflexão, o mundo das possibilidades pode edificar-se novamente”. Os discursos nos apresentam sujeitos que romperam com as amarras de um mundo “pré-reflexional” e buscando a compreensão dos fenômenos educacionais, escancararam janelas que lhes permitiram visualizar novos horizontes.

## REFERÊNCIAS

ALLCHIN, D. Pseudohistory and pseudoscience. **Science & Education**. v. 13, 2004, p.179-195.

ALVES FILHO, J. P. **Atividades experimentais: do método à prática construtivista**, 2010. 312p. Tese (Doutorado em Educação: Ensino de Ciências Naturais). Programa de Pós-Graduação em Educação. Centro de Ciências da Educação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

AULER, D. Alfabetização científico-tecnológica: um novo paradigma? **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 5, n. 1, mar. 2003.

BARAQUIN, N.; LAFFITE, J. **Dicionário Universitário dos Filósofos**. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

BASTOS FILHO, J. B. Qual história e qual filosofia da ciência são capazes de melhorar o ensino de física? In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; PEREIRA,

J. M. H (Orgs.) **Temas de história e filosofia da ciência no ensino**. Natal: EDUFRN, 2012. p.65-83.

BATISTA, R. P.; MOHR, A.; FERRARI, N. História da ciência: investigação do tema em livros didáticos do ensino fundamental. Florianópolis: **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências** (2007).

BECKER, F. Processo de abstração e aprendizagem. [Trabalho apresentado no **III Simpósio Internacional e VI Fórum Nacional de Educação**, Torres/RS, 27 - 30 mai. 2009].

BELTRÃO, T. M. S. Uma análise da transposição didática externa com base no que propõe documentos oficiais para o ensino de gráficos estatísticos. **Revista Paranaense de Educação Matemática**, v. 1, n. 1, jul-dez.2012. Campo Mourão, PR.

BLINI, R. B. **A história da ciência nos livros didáticos: uma inserção descontextualizada**. 2010. 106 p. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e a Matemática). Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

BORREGO HUERTA, A. La investigación cualitativa y sus aplicaciones en Biblioteconomía y Documentación.” In: **Revista Española de documentación científica**, v. 22, n. 2, 1999, p. 139-156.

BRANDÃO, A. R. P. A postura do positivismo com relação às ciências humanas. **Theoria-Revista Eletrônica de Filosofia**, v. 03, n. 06, 2011, p. 80-105.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Parte I. Brasília (DF), 2000. Disponível em: <[portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf](http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf)>. Acesso em

23nov.2013.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias: Brasília (DF), 2002. Disponível em: <[www.sbfisica.org.br/arquivos](http://www.sbfisica.org.br/arquivos)> Acesso em 23nov.2013.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias: Brasília (DF), 2006. Disponível <[portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book\\_volume\\_02\\_internet.pdf](http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf)>. Acesso em 23nov.2013.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. **Programa Nacional do Livro Didático - Ensino Médio**. Brasília, 2008.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. **Programa Nacional do Livro Didático - Ensino Médio**. Brasília, 2011.

CARVALHO, JOÃO. Uma evolução nas ciências do homem. In: CARVALHO, JOÃO. **Uma nova ordem: a crise do mundo moderno e a busca por novos sistemas sociais**. São Paulo: Biblioteca 24 horas, 2012.

CHALMERS, A. **O que é ciência, afinal?** São Paulo: Brasiliense, 2011.

CHEVALLARD, Y. **La transposición didáctica: del saber sábio al saber enseñado**. Buenos Aires: Aique, 1991.

DIAS, V. S. e MARTINS, R. A. Michael Faraday: o caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 517 - 530, 2004.

DUARTE, M. da Conceição. A história da ciência na prática de professores portugueses: implicações para a formação de professores de ciências. **Ciências & Educação**. v. 10, n. 3, p.317-331, 2004.

EL-HANI, C. N. Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior. In: SILVA, C. C. (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências**. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

FILHO, A. R. B.; GOMES, E. B.; TERÁN, A. F. **Transposição didática no ensino de ciências na escola do campo** (Trabalho de comunicação oral apresentado no XX Encontro de Pesquisa Educacional Norte Nordeste realizado pela Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Manaus-AM, 23-26 ago. 2011).

FILHO, J. P. A. **Atividades experimentais: do método à prática construtivista**. 2000. 312 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Educação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

FORATO, T. C. M.; MARTINS, R. A.; PIETROCOLA, M. **Prescrições**

**historiográficas e saberes escolares: alguns desafios e riscos.** Trabalho apresentado no VII Encontro Nacional de Pesquisa em educação em Ciências. Florianópolis, 8 de nov. 2009.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física.** v. 28, n. 1, p. 27-59, abr. 2011.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, R. M.; MARTINS, R. A. Enfrentando obstáculos na transposição didática da história da ciência para a sala de aula. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. (Orgs.). **Temas de história e filosofia da ciência no ensino.** Natal: EDUFRN, 2012. p. 123 - 154.

FORATO, T. C. M. **Preparação de professores para problematização da pseudo-história em materiais didáticos.** (Trabalho apresentado no IX Congresso internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias, Girona, 9-12 set. 2013).

FREIRE JR., O. **A relevância da filosofia e da história das ciências para a formação dos professores.** In: SILVA FILHO, W. J. *et al.* **Epistemologia e Ensino de Ciências.** Salvador: Arcádia, 2002, p.51-92.

GASPAR, A. Cinquenta anos de ensino de Física: muitos equívocos poucos acertos e a necessidade de recolocar o professor no centro do processo educacional. **Educação,** ano 13, n. 21, dez. 2004, p.71-91, UNESP/GUARATINGUETÁ-SP.

GASPAR, A. **Compreendendo a física.** vol. 1. São Paulo: Ática, 2011.

FRANZON, C. R. P. **Análise do Livro I do Geometria de Descartes:** apontando caminhos para o ensino da Geometria Analítica segundo uma abordagem histórica. 2004. 153 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática). Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal.

GEBARA, M. J. F. **O ensino e a aprendizagem de física:** contribuições da história da ciência e do movimento das concepções alternativas. Um estudo de caso. 2001. 171 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Educação. Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

GIL-PÉREZ, D. *et al.* Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência&Educação.** v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GIL-PÉRES *et al.* Superação das visões deformadas da ciência e da tecnologia: Um requisito essencial para a renovação da educação científica. In: Cachapuz *et al.* (Orgs.). **A necessária renovação do ensino das ciências.** São Paulo: Cortez, 2005, p.37-70.

HUSSERL, E. **A crise da humanidade européia e a filosofia.** 2 ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2002.

KOHNLEIN, J. F. e PEDUZZI, LUIS O. Q. **Sobre a concepção empirista-indutivista no ensino de ciências.** (Trabalho apresentado no VIII Encontro nacional de pesquisa em ensino de física, Águas de Lindóia-SP, junho de 2002).

KLUBER, T. E.; BURAK, D. A fenomenologia e suas contribuições para a educação matemática. **Práxis Educativa**, Ponta Grossa, PR, v. 3, n. 1, jan.-jun. 2008, p.95-99.

LATERCE, Savio. Husserl e a crise da ciência ontem e hoje. **Cadernos da EMARF, fenomenologia e direito.** v. 1, n. 1, p. 1-100. Disponível em: [www.ifcs.br/~sfjp/revista/.../huserl\\_e\\_a\\_crise\\_da\\_ciencia.pdf](http://www.ifcs.br/~sfjp/revista/.../huserl_e_a_crise_da_ciencia.pdf) Acesso em 23/11/2013.

LOMBARDI, O. I. La pertinência de la historia en la enseñanza de ciencias: argumentos y contraargumentos. **Enseñanza de las ciencias**, v. 15, n. 3, 1997, p.343-349.

LORENZ, Karl Michael. Ação de instituições estrangeiras e nacionais no desenvolvimento de materiais didáticos de ciências no Brasil: 1960-1080. **Revista Educação em Questão**, Natal, v. 31, n. 17, jan./abr. 2008, p.7-23.

MACEDO, M. A. R. **A utilização da história da física nos livros didáticos do ensino médio como estratégia educacional no estudo do movimento retilíneo uniformemente variado.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2003.

MARTINS, A. F. P. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho...**Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, abr. 2007, p.112-131.

MARTINS, R. A. Introdução: **A história da ciência e seus usos na educação.** In: SILVA, Cibelle Celestino (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino.** São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MARTINS, L. AL-CHUEYR P. e BRITO, ANA PAULA O. P. MORAES. **A história da ciência e o ensino da genética e a evolução no ensino médio: um estudo de caso.** In: SILVA, C. C. (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino.** São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, dez. 1995, p.164-214.

MÁXIMO, A; ALVARENGA, B. **Curso de Física – Ensino Médio.** Volume 3. São Paulo: Scipione, 2010. 448 p.

MELLO, L. A.; SANTOS, A. C.; SANTOS, D. B. Curso de EAD e o Curso

Presencial de Instrumentação para o Ensino de Física e seus Reflexos no PIBID. (Trabalho apresentado no **VI Colóquio Internacional "Educação e Contemporaneidade"**. São Cristóvão-SE/Brasil, 20-22, set. 2012).

MENEZES, L. C. Novo (?) método (?) para ensinar (?) física (?). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 2, n. 2, p. 89 - 97, 1980.

MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectiva. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 22, n. 1, mar. 2000.

NETO, J. M. **Tendências da pesquisa acadêmica sobre o ensino de ciências no nível fundamental**. 1999. 365p. Tese (Doutorado). Faculdade de Educação. Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

NEVES, M. C. Danhoni. A causalidade e a perspectiva fenomenológica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v. 8, n. 1, p. 20 - 36, abr. 1991.

\_\_\_\_\_. O resgate de uma história para o ensino de física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n. 3, p. 215 - 224, dez. 1992.

\_\_\_\_\_. **Lições da escuridão ou revisitando velhos fantasmas do fazer e do ensinar ciências**. Campinas, SP: Mercado de Letras, 2002.

NEVES, M. C. Danhoni. **O que é isto, a ciência? Um olhar fenomenológico**. Maringá: Eduem, 2005.

OLIVEIRA, Mauricio, P. P; POGIBIN, A; ANDRADE, R. de; ROMERO, T. R. **Física em contexto**. Volume 3. São Paulo: FTD, 2010. 528 p.

PAGLIARINI, C. R. **Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de física para o ensino médio**. 2007. 115 p. Dissertação (Mestrado em ensino de Física). Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PELLOSO, M. G. **Investigando a utilização de gráficos cartesianos como ferramenta para compreensão do conceito de movimento na 1ª série do ensino médio**. 2007, 183 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

PENA, F. L. A. Sobre a presença do Projeto Havard no sistema educacional brasileiro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 1701 (1-4).

PEREIRA, C. L. N.; SILVA, R. R. A história da ciência e o ensino de ciências. **Revista Virtual de Gestão de Iniciativas Sociais**. Edição especial. mar. 2009.

PERINI, L.; FERREIRA, G. K.; CLEMENT, L. Projeto de Ensino PSSC: uma análise dos exercícios/problemas. (trabalho apresentado no **XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física**, Vitória-ES, 20-30 jan. 2009). Disponível em:  
<[www.cienciamao.usp.br/.../snef/\\_projetoensinopsscumaan.trabalho.pdf](http://www.cienciamao.usp.br/.../snef/_projetoensinopsscumaan.trabalho.pdf)>. Acesso

em 15/01/2014.

PERRENOUD, P. Construir as Competências deste a escola. In: RICARDO, E. C., FREIRE, J. C. A. A concepção dos alunos sobre a física no ensino médio: um estudo exploratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 20, n. 2, p. 251-266, 2007.

PIETROCOLA, M. A matemática como estruturante do conhecimento físico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v. 19, n. 1, p. 88-108, ago. 2002.

PRAIA, J; GIL-PÉREZ, D; VILCHES; A. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. **Ciência & Educação**. v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

PRESTES, M. E. B. O whiggismo proposto por Herbert Butterfield. **Boletim de História e Filosofia da Biologia**, v.4, n.3, p. 2-4, set.2010. Versão online disponível em: <[www.abfhib.org/Boletim/Boletim-HFB-04-n3-set-2009.pdf](http://www.abfhib.org/Boletim/Boletim-HFB-04-n3-set-2009.pdf)>. Acesso em 09/07/2014.

RICARDO, E. C.; FREIRE, J. C. A. A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. V. 29, n. 2, p. 251-266, 2007.

SAMPAIO, J. L; CALÇADA, C. S. **Universo da Física**. 2ª edição. Volume 3. São Paulo: Saraiva, 2005. 500 p.

SILVA, O. H. M. **Um estudo sobre a estruturação e aplicação de uma estratégia de ensino de física inspirada em Lakatos com a reconstrução racional didática para auxiliar a preparar os estudantes para debates racionais entre teorias e/ou concepções rivais**. 2008. 281 f. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Campus de Bauru, Bauru.

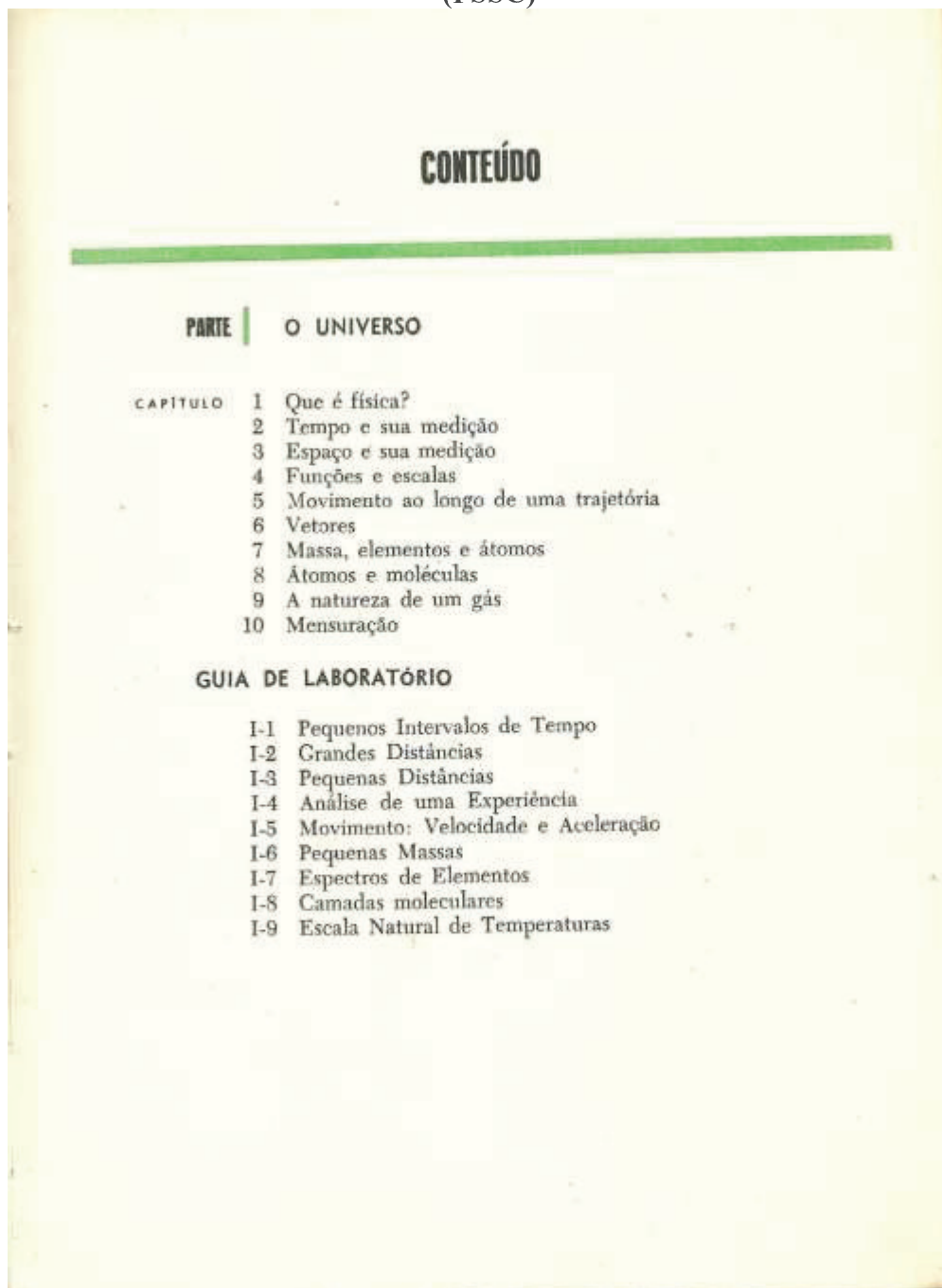
SILVA, BONIEK V. da C. Um debate na escola: a história e a filosofia da ciência em foco. **Física na escola**, v. 11, n.2, 2010.

SILVA, Clarete P. da *et al.* Subsídios para o uso da história das ciências no ensino: exemplos extraídos das geociências. **Ciência & Educação**. v. 14, n. 3, p. 497 - 517, 2008.

SILVA, C. P. **Grandezas, funções e escalas** - uma relação entre a Física e a Matemática. 2013. 203p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências. Universidade de Brasília. Brasília, DF.

WHITAKER, M. A. B. History and quasi-history in Physics Education - Part I & II. **Physics Education**, v. 14, p. 108 - 112 e p. 239 - 242, 1979.

## ANEXO A

ÍNDICES DOS CONTEÚDOS DO PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE  
(PSSC)

**CONTEÚDO**

---

**PARTE I O UNIVERSO**

**CAPÍTULO**

- 1 Que é física?
- 2 Tempo e sua medição
- 3 Espaço e sua medição
- 4 Funções e escalas
- 5 Movimento ao longo de uma trajetória
- 6 Vetores
- 7 Massa, elementos e átomos
- 8 Átomos e moléculas
- 9 A natureza de um gás
- 10 Mensuração

**GUIA DE LABORATÓRIO**

- I-1 Pequenos Intervalos de Tempo
- I-2 Grandes Distâncias
- I-3 Pequenas Distâncias
- I-4 Análise de uma Experiência
- I-5 Movimento: Velocidade e Aceleração
- I-6 Pequenas Massas
- I-7 Espectros de Elementos
- I-8 Camadas moleculares
- I-9 Escala Natural de Temperaturas

FIGURA 26 – Índice da parte I do PSSC.



## CONTEÚDO

### PARTE II ÓPTICA E ONDAS

- CAPÍTULO
- 11 Comportamento da luz
  - 12 Reflexão e imagens
  - 13 Refração
  - 14 Lentes e instrumentos ópticos
  - 15 Modelo corpuscular da luz
  - 16 Introdução às ondas
  - 17 Ondas e luz
  - 18 Interferência
  - 19 Ondas luminosas

### GUIA DE LABORATÓRIO

- II- 1 Reflexão em um Espelho Plano
- II- 2 Imagens Formadas por um Espelho Côncavo
- II- 3 Refração
- II- 4 Imagens Produzidas por uma Lente Convergente
- II- 5 A "Refração" de Partículas
- II- 6 A Intensidade de Iluminação em Função da Distância
- II- 7 Ondas numa Mola Espiral
- II- 8 Pulsos em uma Cuba de Ondas
- II- 9 Ondas Periódicas
- II-10 Refração de Ondas
- II-11 Ondas e Obstáculos
- II-12 Ondas de Duas Fontes Pontuais
- II-13 Interferência e Fase
- II-14 Experiência de Young
- II-15 Difração da Luz por uma Fenda Simples
- II-16 Resolução
- II-17 Medida de Pequenas Distâncias por Interferência

FIGURA 27 - Índice da parte II do PSSC.

## CONTEÚDO

### PARTE III MECÂNICA

CAPÍTULO	20	A Lei do Movimento de Newton
	21	Movimento na Superfície da Terra
	22	Gravitação Universal e o Sistema Solar
	23	A Quantidade de Movimento e sua Conservação
	24	Trabalho e Energia Cinética
	25	Energia Potencial
	26	Calor, Movimento Molecular e a Conservação da Energia

### GUIA DE LABORATÓRIO

III – 1	Uma Variante da Experiência de Galileu
III – 2	Variações de Velocidade por uma Fôrça Constante
III – 3	Como Depende a Aceleração da Fôrça e da Massa
III – 4	Massa Inercial e Massa Gravitacional
III – 5	Fôrças Exercidas por uma Bola no Espaço
III – 6	Fôrça Centrípeta
III – 7	Lei das Áreas Iguais
III – 8	Variações da Quantidade de Movimento numa Explosão
III – 9	O Carrinho e o Tijolo
III – 11	Colisões Lentas
III – 10	Uma Colisão em Duas Dimensões
III – 12	Variações na Energia Potencial
III – 13	A Energia de um Pêndulo Simples
III – 14	Uma Colisão Frontal

FIGURA 28 – Índice da parte III do PSSC.

## CONTEÚDO

---

### PARTE IV ELETRICIDADE E ESTRUTURA ATÔMICA

CAPÍTULO	27 Alguns fatos qualitativos sobre a eletricidade .....	9
	28 A lei de Coulomb e a carga elétrica elementar .....	31
	29 Energia e movimento de cargas em campos elétricos...	59
	30 O campo magnético .....	98
	31 Indução e ondas eletromagnéticas .....	128
	32 Explorando o átomo .....	156
	33 Fótons e ondas associadas à matéria .....	174
	34 Sistemas Quânticos e a estrutura dos átomos .....	204

#### GUIA DE LABORATÓRIO

	IV – 1 Objetos eletrizados .....	230
	IV – 2 Indução eletrostática .....	230
	IV – 3 A força entre duas esferas carregadas .....	231
	IV – 4 A soma de forças elétricas .....	233
	IV – 5 Diferença de potencial .....	234
	IV – 6 A carga transportada por íons em solução .....	235
	IV – 7 O campo magnético de uma corrente .....	237
	IV – 8 O campo magnético nas proximidades de um fio longo retilíneo .....	239
	IV – 9 Medida de um campo magnético em unidades fundamentais .....	240
	IV – 10 A massa do elétron .....	241
	IV – 11 O acaso na desintegração radiotiva .....	246
	IV – 12 Colisões nucleares simuladas .....	246

FIGURA 29 – Índice da parte IV do PSSC.

## ANEXO B

## ÍNDICES DOS CAPÍTULOS E DOS MANUAIS DO HAVARD PROJECT PHYSICS

**ÍNDICE DO TEXTO**

Prólogo 1

Capítulo 1 A Linguagem do Movimento

O movimento dos objectos 9  
 Uma experiência frustrada sobre movimento 11  
 Uma experiência mais satisfatória 13  
 Os "50 metros" de Leslie e o significado de velocidade média 16  
 O gráfico do movimento e a obtenção do declive 19  
 Altura apropriada para um aviso 23  
 Velocidade instantânea 25  
 Aceleração — por comparação 27

Capítulo 2 A Queda Livre — Galileu Descreve o Movimento

A teoria aristotélica do movimento 39  
 Galileu e o seu tempo 45  
 A: *Dois Novas Ciências*, de Galileu 45  
 Porque se estuda o movimento de queda livre dos corpos? 49  
 Galileu escolhe uma definição de aceleração uniforme 50  
 Galileu não consegue verificar directamente a sua hipótese 52  
 Procurando as consequências lógicas da hipótese de Galileu 52  
 Galileu escolhe uma verificação indirecta 55  
 Dúvidas sobre o procedimento de Galileu 59  
 Consequências do trabalho de Galileu sobre o movimento 60

Capítulo 3 O Nascimento da Dinâmica — Newton Explica o Movimento

A "explicação" e as leis do movimento 69  
 A explicação aristotélica do movimento 72  
 Forças em equilíbrio 73  
 Vectores 76  
 A primeira lei do movimento de Newton 78  
 O significado da primeira lei 81  
 A segunda lei do movimento de Newton 82  
 Massa, peso e queda livre 87  
 A terceira lei do movimento de Newton 89  
 Utilização das leis do movimento de Newton 92  
 As forças básicas da Natureza 94

Capítulo 4 A Compreensão do Movimento

Uma viagem à Lua 103  
 Movimento de um projectil 105  
 Qual a trajectória de um projectil? 107  
 Sistemas de referência em movimento 109  
 Movimento circular 110  
 Aceleração centrípeta e força centrípeta 114  
 O movimento dos satélites terrestres 118  
 E a respeito de outros movimentos? 121

Epílogo 124

FIGURA 30 – Índice da Unidade 1 do Havard Project Physics.

## ÍNDICE DO MANUAL

### Introdução

- A realização dos registos 135
- A utilização da câmara polaróide 135
- Leituras relacionados com os conceitos sobre o movimento 139

### Experiências

- 1-1. Astronomia a olho nu 140
- 1-2. Regularidade e tempo 147
- 1-3. As variações nos dados 149
- 1-4. A medição do movimento uniforme 150
- 1-5. Uma experiência do Sec. XVII 155
- 1-6. A versão do sec. XX da experiência de Galileu 158
- 1-7. A medição da aceleração da gravidade 159
- 1-8. A segunda lei de Newton 165
- 1-9. Massa e peso 169
- 1-10. Trajectórias 171
- 1-11. Previsão das trajectórias 174
- 1-12. A força centrípeta 176
- 1-13. A força centrípeta num prato de um giradiscos 177

### Actividades

- Uma pilha de dadas 179
- Uma taca e um maço de 179
- Passões e sações 179
- Experimentando a Segunda Lei de Newton 179
- Construa um acelerómetro 179
- Demonstração do movimento de um projectil 184
- A velocidade de um jacto de água 184
- A fotografia da parábola descrita por uma gota de água 184
- Projecteis de carrinhos balísticos 185
- Movimento num sistema de referência em rotação 185
- Uma moeda e um cabide 186
- A medição de frequências desconhecidas 187

### Notas sobre Filmes Sem-Fim

- Filme Sem-Fim L1 A aceleração devido à gravidade — I 188
- Filme Sem-Fim L2 A aceleração devido à gravidade — II 189
- Filme Sem-Fim L3 Soma de vectores — A velocidade de um barco 190
- Filme Sem-Fim L4 Uma questão de movimento relativo 192
- Filme Sem-Fim L5 A relatividade de Galileu — Uma bola deixada cair do mastro de um barco 193
- Filme Sem-Fim L6 A Relatividade de Galileu — Um objecto deixado cair de um avião 194
- Filme Sem-Fim L7 A Relatividade de Galileu — Um projectil disparado verticalmente 195
- Filme Sem-Fim L8 Análise de uma corrida de barreiras — I 195
- Filme Sem-Fim L9 Análise de uma corrida de barreiras — II 196

Respostas às perguntas de Fim-de-Secção 198

Respostas às perguntas do Guia de Estudo 200

Índice alfabético do teste 201

Índice alfabético do manual 203

FIGURA 31 – Índice do manual da Unidade 1 do Havard Project Physics.

## ÍNDICE DO TEXTO

### Prólogo 1

#### Capítulo 5. Onde Está a Terra? — As Respostas dos Gregos

- Movimentos do Sol e das estrelas 9
- Movimentos da Lua 13
- As "estrelas vagabundas" 15
- O problema de Plínio 18
- O conceito grego de "explicação" 19
- A primeira solução com centro na Terra 20
- Uma solução com centro no Sol 22
- O sistema geocêntrico de Ptolomeu 24
- Sucessos e limitações do modelo de Ptolomeu 29

#### Capítulo 6. Onde Está a Terra? — A Ópera de Copérnico e de Tycho

- O sistema de Copérnico 33
- Novas conclusões 37
- Argumentos a favor do sistema de Copérnico 39
- Argumentos contra o sistema de Copérnico 43
- Construções históricas 48
- Tycho Brahe 51
- As observações de Tycho 52
- O sistema de compromisso de Tycho 54

#### Capítulo 7. Surge um Novo Universo — A Ópera de Kepler e de Galileu

- O abandono do movimento circular uniforme 61
- A lei das áreas de Kepler 63
- A lei das órbitas elípticas de Kepler 65
- A lei dos períodos de Kepler 70
- O novo conceito de lei física 74
- Galileu e Kepler 76
- A evidência telescópica 77
- Galileu concentra a controvérsia 80
- Ciência e liberdade 83

#### Capítulo 8. A Unidade da Terra e do Céu — A Ópera de Newton

- Newton e a ciência do século XVII 91
- Os *Principia* de Newton 95
- A lei do inverso do quadrado da força planetária 98
- A lei da gravitação universal 100
- Newton e as hipóteses 105
- A intensidade da força planetária 107
- O movimento planetário e a constante gravitacional 111
- O valor de  $G$  e as massas reais dos planetas 113
- Outros sucessos 116
- Alguns êxitos e limitações da obra de Newton 122

#### Epílogo 126

#### Respostas às Perguntas de Fim-de-Secção 135

#### Breves Respostas às Perguntas do Guia de Estudo 137

FIGURA 32 – Índice da Unidade 2 do Harvard Project Physics.

## ÍNDICE DO MANUAL

### Experiências

- 2.1 Autonomia e olho nu 142
- 2.2 A distância da Terra 146
- 2.3 Distância da Terra à Lua 148
- 2.4 A altura de Pítem, uma montanha da Lua 150
- 2.5 Movimento retrógrado 150
- 2.6 A forma da órbita da Terra 154
- 2.7 Como usar lentes para fazer um telescópio 157
- 2.8 A órbita de Marte 164
- 2.9 Inclinação da órbita de Marte 165
- 2.10 A órbita de Mercúrio 168
- 2.11 Determinação da órbita por aproximações sucessivas 170
- 2.12 Modelo da órbita do cometa Halley 175

### Atividades

- Como fazer medições angulares 179
- Epsíclo e movimento retrógrado 180
- Modelo da esfera celeste 181
- Qual a duração de um dia sideral? 184
- Modelo do sistema solar 184
- Construção de um relógio de sol 185
- Desenho dum analema 185
- Sinóclero 185
- Nomes das crateras lunares 185
- Literatura 185
- Sistema de referência 186
- Demonstração das órbitas de satélites 186
- Galileu 187
- Modelos de seções cônicas 187
- Problema: Determine a distância Terra-Sol a partir de fotografias de Vênus 188
- Como medir áreas irregulares 188
- Outras órbitas de cometas 188
- Como desenhar uma órbita parabólica 188
- Forças exercidas sobre um pêndulo 189
- O julgamento de Copérnico 190
- Descoberta de Neptuno e Plutão 190
- Háiku 191
- Fontes adicionais SI-1 sobre Cinema e Literatura 192

### Filmes-sem-Fim

- L10 Movimento retrógrado — modelo geocêntrico 196
- L11 Movimento retrógrado — modelo heliocêntrico 196
- L12 Órbita dum satélite de Júpiter 197
- L13 Programa órbita I 199
- L14 Programa órbita II 200
- L15 Forças centrais — impulsos repetidos 201
- L16 Leis de Kepler 203
- L17 Órbitas não usuais 204

Índice Alfabético de Textos 207

Índice Alfabético do Manual 209

FIGURA 33 – Índice do manual da Unidade 2 do Harvard Project Physics.

## ÍNDICE DO TEXTO

Prólogo 1

Capítulo 9. Conservação da Massa e do Momento Linear

- Conservação da massa 5
- Colisões 9
- Conservação do momento linear 13
- Momento linear e as leis de Newton do movimento 18
- Sistemas isolados 20
- Colisões elásticas 21
- Leibniz e a lei de conservação 23

Capítulo 10. Energia

- Trabalho e energia cinética 33
- Energia potencial 35
- Conservação de energia mecânica 38
- Forças que não utilizam trabalho 41
- Calor e a máquina a vapor 43
- James Watt e a Revolução Industrial 48
- As experiências de Joule 54
- Energia em sistemas biológicos 56
- Formulação de uma lei geral 61
- Um enunciado preciso e geral da lei de conservação da energia 66
- Vé na conservação da energia 68

Capítulo 11. Teoria Cinética dos Gases

- Programa do capítulo 75
- Um modelo para o estado gasoso 77
- Velocidades das moléculas 80
- Dimensões das moléculas 84
- Previsão do comportamento dos gases a partir da teoria cinética 86
- A segunda lei da termodinâmica e a dissipação de energia 92
- O demônio de Maxwell e a interpretação estatística da segunda lei da termodinâmica 96
- A seta do tempo e o paradoxo da recerência 98

Capítulo 12. Ondas

- Introdução 109
- Propriedades das ondas 110
- Propagação das ondas 113
- Ondas periódicas 115
- Quando as ondas se encontram: o princípio da superposição 117
- Figuras de interferência de duas fendas 119
- Ondas estacionárias 124
- Frentes de onda e difração 128
- Reflexão 132
- Refração 136
- Ondas sísmicas 138

Epílogo 144

FIGURA 34 – Índice da Unidade 3 do Harvard Project Physics.



## ÍNDICE DO MANUAL

### Experiências

- 3.1 Colisões a Uma Dimensão I 154
- 3.2 Colisões a Uma Dimensão II 155
- 3.3 Colisões a Duas Dimensões I 165
- 3.4 Colisões a Duas Dimensões II 166
- 3.5 Conservação de Energia I 172
- 3.6 Conservação de Energia II 175
- 3.7 Medição da Velocidade de uma Bola 176
- 3.8 Análise da Energia de um Pêndulo Oscilante 178
- 3.9 Energia Mútua 179
- 3.10 Temperatura e Termômetros 181
- 3.11 Calorimetria 184
- 3.12 Calorimetria do Gelo 187
- 3.13 Experiência de Monte-Carlo, sobre Colisões Moleculares 188
- 3.14 Comportamento dos Gases 194
- 3.15 Propriedades das Ondas 198
- 3.16 Ondas num Tiro de Ondas 199
- 3.17 Medição do Comprimento de Onda 201
- 3.18 Som 202
- 3.19 Vibrações 205

### Actividades

- A Massa Conserva-se? 208
- Dispositivos de Troca de Momento Linear 208
- Potência de um Estudante 209
- Banco Movido a Vapor 210
- Problemas de Crescimento Exponencial e Tecnológico 210
- Previsão do Alcance de uma Flecha 211
- Pato Bebedor 212
- Equivalente Mecânico do Calor 212
- Um Molibdénio numa Garrafa 212
- Como Pesou um Carro com um Medidor de Pressão de Pneus 214
- Máquinas com Movimento Perpetuo? 214
- Ondas Estacionárias num Tambor ou num Violino 216

### Figuras de Motte 217

- Actividades Muscular e Oratórias 218
- Medição da Velocidade do Som 218
- Máquinas de Ondas Mecânicas 219

### Notas sobre os Filmes Sem-Fim

- 1.15 Colisões a Uma Dimensão I 221
- 1.19 Colisões a Uma Dimensão II 222
- 1.20 Colisões Inelásticas a Uma Dimensão 222
- 1.21 Colisões a Duas Dimensões I 222
- 1.22 Colisões a Duas Dimensões II 223
- 1.23 Colisões Inelásticas a Duas Dimensões 224
- 1.24 Dispersão de um Grupo de Objectos 224
- 1.25 Explosão de um Grupo de Objectos 225
- 1.26 Cálculo da Velocidade de uma Bola de Espingarda I 226
- 1.27 Cálculo da Velocidade de uma Bola de Espingarda II 227
- 1.28 Recuo 228
- 1.29 Colisão de Vagões de Mercadorias 229
- 1.30 Dinâmica de uma Bola de Biliár 230
- 1.31 Um Método de Avaliação de Energia — Introdução de Pregos em Madeira 230
- 1.32 Energia Potencial Gravitacional 231
- 1.33 Energia Cinética 232
- 1.34 Conservação de Energia — Salto à Vara 233
- 1.35 Conservação de Energia — Descolagem de um Avião 234
- 1.36 Responsabilidade do Tempo 235
- 1.37 Sobreposição 236
- 1.38 Ondas Estacionárias numa Corda 237
- 1.39 Ondas Estacionárias num Gás 238
- 1.40 Vibrações de um Arame 239
- 1.41 Vibrações de uma Mangonha de Borracha 240
- 1.42 Vibrações de um Tambor 241
- 1.43 Vibrações de uma Placa Metálica 241

FIGURA 35 - Índice do manual da Unidade 3 do Harvard Project Physics.

<b>ÍNDICE DO TEXTO</b>	
<b>Prólogo</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 13 Luz</b>	
Introdução	5
Propagação da luz	8
Reflexão e Refracção	11
Interferência e Difracção	14
Cor	16
Porque é que o céu é azul?	20
Polarização	22
Ótica	24
<b>Capítulo 14 Campos eléctricos e magnéticos</b>	
Introdução	31
As várias propriedades da magnetite e do amber: O Livro De Magnetis de Gilbert	31
Cargas eléctricas e forças eléctricas	35
Forças e campos	42
A carga eléctrica de menor valor	48
Lei da conservação da carga eléctrica	52
Correntes eléctricas	54
Diferença de potencial eléctrico e intensidade de corrente eléctrica	59
Diferença de potencial eléctrico e potência eléctrica	60
Acção das correntes eléctricas sobre os ímãs	61
Acção mútua entre correntes eléctricas	64
Campos magnéticos e cargas em movimento	65
<b>Capítulo 15 Faraday e a era da electricidade</b>	
Problema a resolver: levar energia de um local para outro	77
O primeiro motor eléctrico de Faraday	78
A descoberta da indução electromagnética	79
Produção de electricidade utilizando campos magnéticos: o dínamo	84
O motor eléctrico	86
A lâmpada eléctrica	89
Corrente alternada, corrente contínua e a central eléctrica das cataratas do Niagara	93
A electricidade e a sociedade	97
<b>Capítulo 16 A radiação electromagnética</b>	
Introdução	107
A formulação de Maxwell dos princípios do electromagnetismo	108
A propagação das ondas electromagnéticas	111
As experiências de Hertz	115
O espectro electromagnético	119
E quanto ao ether?	126
<b>Epílogo</b>	<b>130</b>



FIGURA 36 – Índice da Unidade 4 do Harvard Project Physics.

## ÍNDICE DO MANUAL

**Experiências**

4.1. Refracção de um Feixe Luminoso 138

4.2. Experiência de Young — O comprimento de onda da luz 140

4.3. Forças Eléctricas I 143

4.4. Forças Eléctricas II — Lei de Coulomb 145

4.5. Forças que actuam nas correntes eléctricas 148

4.6. Correntes, Imãs e Forças 153

4.7. Tubo de Raios Catódicos I 157

4.8. Tubo de Raios Catódicos II 160

4.9. Ondas e Comunicação 163

**Actividades**

Interferência numa película de ar 169

Um lenço como rede de difracção 169

Fotografando figuras de difracção 169

Mancha de Poisson 170

Actividades fotográficas 170

Cer 171

Luz Polarizada 171

Como fazer uma lente de gelo 173

Detectando campos eléctricos 173

Pilha de Volta 174

Uma bateria de 11 céntimos (moeda americana) 174

Medindo a intensidade de um campo magnético 174

Mais máquinas de movimento perpétuo 175

Transistor amplificador 176

No interior de uma válvula de rádio 176

Um pólo norte magnético isolado? 178

Dinamo de disco de Faraday 178

Uma corda de saltar como gerador 179

Aparelhos de medida e motores simples 179

Demonstração simples com um motor-gerador 181

Colagens em Física 182

Um gerador de bicicleta 182

Lápis Polariz. Magnés 182

Sistemas de transmissão por micro-ondas 182

A Ciência e o Artista — A história de um seto científico 183

Estudos científicos da Bell Company 184

**Notas sobre o Filme-sem-fim L44**

Ondas electromagnéticas estacionárias 187

FIGURA 37 – Índice do manual da Unidade 4 do Havard Project Physics.