

**UM TEXTO DE MECÂNICA EM NÍVEL UNIVERSITÁRIO BÁSICO:
CONTEÚDO PROGRAMÁTICO E RECEPTIVIDADE
À SEU USO EM SALA DE AULA**
(An introductory college textbook on mechanics: programmatic content and classroom
receptivity)

Luiz O.Q. Peduzzi

Departamento de Física / Centro de Ciências Físicas e Matemáticas
Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências Naturais / Centro de Ciências da Educação
Universidade Federal de Santa Catarina
88040-900 - Florianópolis, SC, Brasil

Resumo

Este trabalho descreve, em linhas gerais, o conteúdo programático de um texto de mecânica utilizado por alunos da disciplina Física Geral I do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina durante o primeiro semestre de 1997. Uma avaliação preliminar de três dos quatro livros que o compõem, centrada em observações realizadas em sala de aula durante o curso e nas respostas dos alunos a um opiniário, indica uma boa receptividade ao texto e a viabilidade de seu uso em sala de aula.

Palavras-chave: resolução de problemas, historia e filosofia da ciência, mecânica, concepções alternativas.

Abstract

This paper outlines the programmatic content of a text book on mechanics used by students taking the Physics I course offered by the Physics Department of the Federal University of Santa Catarina, Brazil, during the first semester of 1997. A preliminary evaluation of three of the four volumes that form such a textbook, based on classroom observations and on students' opinions, suggests that it was well received and that it is instructionally viable.

Key-words: problem solving, history and philosophy of science, mechanics, misconceptions.

Introdução

Por razões diversas, e que não cabem aqui analisar, há, ainda, uma lacuna muito grande entre os resultados da pesquisa em ensino de física e a prática da sala de aula. Quando, contrariando a regra geral, isto não ocorre, processam-se discussões que usualmente ficam restritas a estratégias centradas na interação direta entre professor e aluno. Neste caso, a inexistência de materiais específicos para o estudo e a reflexão individual do estudante sobre os temas abordados acaba não ensejando o complemento desejável e indispensável às ações desencadeadas em classe.

Este trabalho descreve o conteúdo programático de um texto de mecânica que estabelece, na prática, uma articulação concreta entre conteúdos específicos de um curso de física geral e resultados de pesquisas na área das concepções alternativas, da resolução de problemas e da utilização didática da história (e filosofia) da ciência.

Com o objetivo de promover uma aprendizagem significativa de conceitos e princípios, fomentando a evolução conceitual, a resolução significativa de problemas e uma concepção não empirista do desenvolvimento científico, entre estudantes universitários de física, o texto **As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história e filosofia da ciência em um curso de mecânica:**

? leva explicitamente em consideração as concepções que os estudantes trazem para a sala de aula relacionadas aos assuntos que devem aprender;

? apresenta uma ampla discussão sobre a resolução de problemas de lápis e papel, em física, visando estimular o aluno a desenvolver uma postura mais crítica em relação a esta importante área de sua aprendizagem;

? considera o desenvolvimento histórico da mecânica como uma estratégia para:

- ? estabelecer possíveis paralelismos entre algumas concepções espontâneas dos estudantes e importantes idéias mantidas no passado;
- ? mostrar ao estudante a dinamicidade do conhecimento científico;
- ? desmistificar a idéia, que muitos livros de texto acabam transmitindo a seus leitores, de que a ciência é construída através de uma seqüência de fatos e descobertas realizadas apenas por cientistas infalíveis;
- ? explorar aspectos relacionados ao papel que a observação, a experimentação, a razão e a intuição têm na produção do conhecimento científico.

O conteúdo programático do material instrucional, dividido em quatro livros, é o seguinte:

Livro 1 : Introdução ao estudo de vetores, à cinemática unidimensional e à resolução de problemas em física

Introdução. 1. Vetores; 2. Cinemática unidimensional; 3. Sobre a resolução de problemas no ensino da física; 4. Exemplos ilustrativos da cinemática linear.

Livro 2 : Força e movimento: de Thales a Galileu

Introdução. 1. De Thales a Ptolomeu; 2. A física aristotélica; 3. A física da força impressa e do impetus; 4. As novas concepções do mundo; 5. Galileu e a teoria copernicana; 6. A física de Galileu; 7. As leis de Kepler do movimento planetário.

Livro 3 : Força e movimento: de Descartes a Newton

Introdução. 1. O mecanicismo cartesiano; 2. Sobre a questão da conservação da quantidade de movimento e da 'força viva' em colisões frontais e a emergência de uma nova dinâmica; 3. Uma introdução didática às leis de Newton; 4. O atrito; 5. O movimento de projéteis; 6. O movimento circular; 7. A gravitação universal newtoniana.

Livro 4 : A teoria da relatividade especial: contexto histórico e conceitos básicos

Introdução. 1. Sobre o referencial absoluto newtoniano; 2. Sobre a transformação de Galileu, a adição galileana de velocidades e a invariância da aceleração para observadores inerciais; 3. A emergência de uma nova teoria científica; 4. Sobre o éter; 5. Os fundamentos da teoria da relatividade restrita; 6. A relatividade da simultaneidade; 7. A transformação de Lorentz e a adição relativística de velocidades; 8. Sobre revoluções científicas, programas de pesquisa e a evolução do conhecimento. 9. As bases teóricas do texto, em termos de aprendizagem.

O texto, desenvolvido pelo autor deste trabalho como tema central de sua tese de doutoramento, é o resultado de uma ampla reformulação (de conteúdo e de idéias) em uma espécie de versão inicial do mesmo (bastante simplificada e fragmentada em relação à atual), constituída por parte do que hoje se estrutura como Livro 1, parte do Livro 2 (testado com boa receptividade, por parte dos alunos ⁽¹⁾) e o capítulo 3 do Livro 3. As suas bases teóricas, em termos de aprendizagem, são apresentadas e discutidas em um outro artigo⁽²⁾.

Uma avaliação preliminar de três dos quatro livros que o estruturam, centrada em observações realizadas em sala de aula durante o curso e nas respostas dos alunos a um opiniário, indicou uma boa receptividade ao texto e a viabilidade de seu uso em sala de aula.

2 - Descrição sucinta do conteúdo programático do material instrucional

2.1 - Sobre o Livro 1: Introdução ao estudo de vetores, à cinemática unidimensional e à resolução de problemas em física (98p.)

Os capítulos 1 e 2 do Livro 1 procedem, respectivamente, a uma introdução à álgebra vetorial e à cinemática unidimensional. O domínio das propriedades básicas dos vetores resulta pré-requisito indispensável para a compreensão significativa não apenas dos conceitos relativos à velocidade e aceleração, da cinemática, mas das grandezas físicas que possuem caráter vetorial, na física.

Ao contrário do que se poderia inicialmente esperar, a queda livre não é discutida no capítulo 2. A razão disso é que as respostas dadas pelo aluno a algumas questões de grande relevância no estudo deste assunto (como, por exemplo, por que um objeto projetado verticalmente para cima diminui de velocidade) extrapolam os domínios da cinemática, fazendo uso do conceito de força. E é exatamente quando o estudante raciocina em termos dinâmicos que se explicitam as suas idéias intuitivas sobre a relação força e movimento. Assim, parece claro que o aluno necessita, primeiro, saber o que é realmente uma força para depois utilizar corretamente este conceito em suas explicações. Por outro lado, a ênfase dada neste capítulo tanto a aspectos relativos à análise qualitativa quanto quantitativa de gráficos $x \times t$ e $v \times t$ visa mostrar ao estudante a potencialidade desta forma de representação.

O conteúdo do capítulo 2 é, fundamentalmente, conceitual. É somente no capítulo 4 que o aluno encontra exemplos de situações-problema relativos à cinemática unidimensional. Isto ocorre porque o capítulo 3, do texto, reserva ao estudante uma ampla discussão sobre a resolução de problemas no ensino da física. Como se caracteriza uma situação-problema; a distinção entre problema e exercício; a identificação de fases ou estágios na resolução de problemas; a contribuição do especialista no delineamento de estratégias para a resolução de problemas de lápis e papel; a discussão dos elementos de uma estratégia específica como 'fonte' de possíveis subsídios e inspiração para que o estudante desenvolva estratégias próprias para a resolução de problemas; a caracterização de um problema de enunciado aberto e sua importância para o ensino da física ... toda esta discussão, enfim, objetiva minimizar a lacuna que usualmente se estabelece no aprendizado do aluno quando não se dá a certos aspectos da resolução de problemas a importância que lhe é devida.

2.2 - Sobre o Livro 2: Força e movimento: de Thales a Galileu (160 p.)

No primeiro capítulo do Livro 2, "De Thales a Ptolomeu", discute-se a constituição da matéria, segundo alguns filósofos gregos, e algumas idéias no campo da astronomia que acabam colocando a Terra como corpo central no universo e elegendo o movimento circular uniforme como um movimento 'perfeito'. Nesta trajetória, chega-se ao universo aristotélico. Vendo de um lado a Terra, em constante mudança, e de outro o céu, que exceto pelo movimento dos astros não é objeto de qualquer alteração, Aristóteles (384-322 a.C.) atribui realidades físicas diferentes a estes dois 'mundos', com reflexos diretos na forma com que irá estruturar as suas concepções em mecânica. O sistema de Ptolomeu (? 100 - 170 a.D.), compatível com a doutrina aristotélica de uma Terra imóvel e referencial para todos os movimentos, mas dela divergindo por não centrar na Terra todos os

movimentos circulares, suscita uma interessante contenda entre astronomia matemática e astronomia física, examinada ao final do capítulo.

O capítulo 2 introduz os conceitos de lugar natural e de movimento natural, ambos diretamente associados à estrutura logicamente ordenada do universo aristotélico. Através da ‘lei de força’ de Aristóteles fica clara a proporcionalidade entre força aplicada e velocidade adquirida, bem como a impossibilidade de movimento no vazio. Na dinâmica aristotélica, o que move e o que se movimenta devem estar em permanente contato, não sendo possível, desta forma, a manutenção de um movimento sem uma força constantemente aplicada ao móvel. Isto acaba acarretando problemas na forma como Aristóteles explica o movimento de um projétil após o seu arremesso, devido ao duplo caráter que ele atribui ao meio: o de sustentar o movimento e o de opor uma resistência a ele.

A idéia básica da dinâmica aristotélica, de que é necessário associar uma força a um objeto em movimento, continua presente nos trabalhos de Hiparco (130 a.C.) e Filoponos (século VI a.D.), mas de uma forma diferente. Para eles, o movimento de um projétil se dá por meio de uma força transmitida ao projétil pelo lançador (ao contrário de Aristóteles, para o qual a força provinha do próprio meio). As primeiras seções do capítulo 3 mostram como esta idéia se insere dentro da perspectiva de um universo finito que exige que qualquer movimento seja limitado em extensão. A noção de força impressa de Hiparco e Filoponos serviu de referencial para que, no século XIV, estudiosos da escola parisiense desenvolvessem a teoria do impetus, que originou uma série de novas críticas às considerações de Aristóteles sobre força e movimento. O impetus é uma ‘qualidade’, ‘força’, ‘impressão’, ‘potência’, ‘virtude motriz’ que passa do movente ao móvel nos movimentos violentos e de que um corpo em movimento natural também fica impregnado. É através deste conceito, sugerido como explicação para a rotação da Terra ou da esfera das estrelas, que aparece, pela primeira vez, mesmo que de forma incipiente, a idéia de uma única física para explicar eventos terrestres e celestes.

Contudo, para que uma nova física possa encontrar terreno fértil para o seu desenvolvimento faz-se necessário abalar toda uma estrutura rigidamente estabelecida ao longo dos séculos, em que se acham interligados componentes de ciência, filosofia e religião. No capítulo 4, “As novas concepções do mundo”, procura-se mostrar como se deram os primeiros passos nesta direção, comentando o pensamento de Nicolau de Cusa sobre a relatividade dos movimentos e a sua idéia de um universo sem limites; discutindo o heliocentrismo de Copérnico e os problemas de ordem física (entre outros) que os aristotélicos levantavam para a sua rejeição; apresentando a argumentação de Giordano Bruno em favor de um universo infinito que passa não pelo testemunho dos sentidos mas sim pela força do intelecto, pelos olhos da razão; fazendo referência à prática de observação sistemática do céu desenvolvida por Tycho Brahe e o espírito de precisão que sempre norteou o seu trabalho que acabaram propiciando dados a Kepler para romper com o mito do movimento circular na astronomia.

Quando surge o telescópio, sentimentos de repulsa de um lado e de adesão de outro dividem o julgamento dos expectadores em relação ao que vêem através das lentes deste novo e revolucionário instrumento. É a imutabilidade do céu, e com ela toda uma concepção de mundo, que está em jogo quando se argumenta existirem estrelas que nunca se viu, irregularidades na superfície lunar, satélites em Júpiter, ‘protuberâncias’ em Saturno, manchas no Sol e fases em Vênus. O fato de dois observadores com concepções de mundo bem definidas e antagônicas, como aristotélicos e copernicanos, dirigirem o telescópio à Júpiter e admitirem coisas tão distintas como a existência de satélites orbitando em torno deste planeta ou associarem os pontos luminosos a meros borrões/defeitos em suas lentes levanta a pertinente questão do papel da interpretação das observações na defesa e na construção de teorias científicas. O capítulo 5, “Galileu e a teoria copernicana”, termina com a defesa de Galileu à liberdade científica, à autonomia da ciência em relação à teologia, em resposta aos que pretendem se valer da Bíblia para resolver disputas filo-

sóficas. Mantendo-se fiel aos 'princípios realistas' da doutrina copernicana, Galileu é proibido, pela Inquisição, de sustentar ou defender as teses do heliocentrismo.

O capítulo 6, "A física de Galileu", apresenta as primeiras idéias deste sábio italiano sobre força e movimento e a influência de Arquimedes em seu trabalho. A seguir, mostra-se como Galileu obtém a lei da queda dos corpos, introduzindo, definitivamente, uma física quantitativa, inteiramente diferente da física das qualidades de Aristóteles e de seus seguidores, e da física do impetus, bastante confusa e vaga. Finalmente, discute-se o movimento de projéteis e a inércia galileana, chamando a atenção para que esta última seria, no limite, uma inércia circular.

O capítulo 7 é sobre Kepler. Com este estudioso tem início o fim do divórcio entre a física e a astronomia. Universalizando o conceito de força, isto é, aplicando ao 'domínio celeste' um conceito extraído da mecânica terrestre, e procurando entendê-lo tanto qualitativa quanto quantitativamente, Kepler inaugura o estudo da física do sistema solar. Ao fazer isso ele vai contra a praxe secular de explicar assuntos de astronomia de acordo com os métodos da astronomia, que se situavam no campo da geometria e da aritmética, nada tendo a ver com causas e hipóteses físicas. Mas é, sem dúvida, por suas três leis que Kepler ganha notoriedade. É através de sua primeira lei que, definitivamente, começa a ruir o mito do movimento circular na astronomia.

2.3 - Sobre o Livro 3 : Força e movimento: de Descartes a Newton (201 p.)

Através do "Philosophiae naturalis principia mathematica" ("Princípios matemáticos de filosofia natural"), usualmente conhecido como "Principia", publicado pela primeira vez em 1687, Newton protagoniza um dos mais importantes capítulos na história da física ao promover a grande transformação intelectual que dá origem à ciência moderna.

O "Principia" emerge em uma ciência 'agitada' por uma nova postura filosófica. As hierarquias e qualidades finalísticas e ocultas da filosofia natural aristotélica não fazem mais sentido à discussão. É nas leis da matéria em movimento e do choque mecânico que se supõe residir a chave para a compreensão de todos os fenômenos.

O artífice maior desta nova corrente de pensamento é o filósofo e matemático francês René Descartes (1596-1650). O capítulo 1 do Livro 3 explora, sucintamente, o mecanicismo cartesiano, mostrando como Descartes estabelece o princípio da inércia (linear, 'newtoniana', e não circular, galileana) e chega à primeira explicação mecânica para a gravidade a partir do delineamento de uma teoria especulativa sobre a formação progressiva dos astros⁺.

Mas é a lei da conservação da quantidade de movimento, enunciada por Descartes a partir do seu entendimento sobre como se deve investigar a ciência, não o princípio da inércia, que atrai o interesse dos cientistas do século XVII.

O que, afinal, se conserva em uma colisão é a tônica dos assuntos explorados no capítulo 2. Os estudos de alguns cientistas, nesta direção, terminam por estabelecer noções precursoras do moderno princípio da transformação e conservação da energia. A falta, ainda, de uma noção clara do conceito de força é, em última instância, o que precipita estas idéias.

⁺ É interessante observar que para Aristóteles o universo é eterno, sempre existiu e sempre existirá na forma em que atualmente se encontra. Sua filosofia não admite a criação do cosmos. Já Newton, fiel 'à letra das Escrituras judaico-cristãs', acredita na configuração definitiva do universo, desde o instante da sua criação (por Deus). Evidentemente, "tal crença não o impediu de apresentar ao público uma das mais sólidas explicações racionais que se conhece dessa ordem"⁽³⁾.

Aceitando como válido o princípio da inércia, Newton ponderou que *“devia haver uma rigorosa correlação entre uma causa externa e a mudança que ela produz. Ali estava uma nova abordagem da força, na qual os corpos eram tratados como objetos passivos de forças externas incidentes sobre eles, não como um veículo ativo de força incidindo sobre outros”*⁽⁴⁾. Para o filósofo e matemático alemão Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), por exemplo, um objeto em movimento possuía uma ‘força’ dependente de sua massa e do quadrado de sua velocidade - um conceito bastante próximo daquele que mais tarde viria a ser conhecido como a energia cinética de um corpo.

Demonstrando, experimentalmente, em que condições ocorre a conservação da quantidade de movimento em uma colisão, Newton identifica uma força com a variação temporal da quantidade de movimento de um corpo (segunda lei) e conclui que as forças envolvidas num choque mecânico possuem a mesma intensidade, a mesma direção e sentidos opostos (terceira lei).

O capítulo 3 faz uma abordagem essencialmente didática às leis de Newton, estabelecendo o princípio da inércia a partir dos estudos de Galileu sobre o movimento neutro, contrastando alguns aspectos da física newtoniana com a teoria do impetus, de Buridan, promovendo uma ampla discussão sobre a física do senso comum e as dificuldades conceituais de estudantes à dinâmica newtoniana e exemplificando a aplicação das leis de Newton a diversas situações-problema, entre outras coisas.

O capítulo 4 examina como surgem e o que representam as forças de atrito entre dois corpos. Estuda-se e aplica-se, em várias situações-problema, a lei de força para o atrito de deslizamento a seco e a lei de força para o atrito estático que aparece entre duas superfícies em repouso relativo quando uma delas é forçada a deslizar sobre a outra.

O movimento de projéteis, tanto em uma quanto em duas dimensões, é o tema tratado no capítulo 5. Os conceitos básicos da cinemática linear, desenvolvidos no capítulo 2 do Livro 1, fazem-se pré-requisitos indispensáveis à descrição matemática destes movimentos. Quanto a sua análise dinâmica, parece relevante incursionar novamente junto a física intuitiva do aluno para superar, de vez, possíveis concepções alternativas ainda existentes sobre a relação força e movimento.

No capítulo 6 matematiza-se o movimento circular, enfatizando, particularmente, o movimento circular uniforme. O processo de resolução de duas situações-problema por um observador inercial e um observador acelerado caracteriza, fisicamente, as diferenças existentes entre eles.

O capítulo 7 aborda, em linhas gerais, o contexto de surgimento da gravitação universal newtoniana: as concepções iniciais de Newton sobre o movimento circular; o ‘legado’ de Hooke a Newton (isto é, a hipótese de compor os movimentos dos planetas em um movimento direto segundo a tangente e em um movimento de atração em direção ao corpo central), resultante da correspondência que se estabelece entre ambos; o significado dinâmico que Newton confere à segunda lei de Kepler; a queda da maçã e a implausibilidade teórica de uma ligação direta deste episódio à descoberta da gravitação; a breve correspondência de Newton com Flamsteed; o famoso encontro de Newton com Halley; a aceitação do “Principia”, depois de publicado.

Não sendo o objetivo do texto apresentar a trajetória matemática de Newton à gravitação universal (tendo em vista as complexidades deste empreendimento), procede-se à uma discussão didático-matemática deste tema, fazendo uso do movimento circular e de conceitos introduzidos no capítulo 6. Obtém-se, assim, a lei da gravitação universal, discutindo-a e exemplificando-a.

O capítulo 7 ainda contempla uma discussão que salienta, contrariamente a tese empirista-indutivista, que a lei da gravitação universal não pode ser derivada por generalização e indução a partir das leis de Kepler.

2.4 - Sobre o Livro 4 : A teoria da relatividade especial: contexto histórico e conceitos básicos (103 p.)

Os dois primeiros capítulos do Livro 4 aprofundam o estudo teórico da mecânica newtoniana.

No capítulo 1, procede-se a uma ampla discussão sobre a questão do referencial absoluto newtoniano. Indagando sobre o referencial que vai conferir validade às duas primeiras leis de Newton chega-se a uma definição operacional de sistema de referência inercial e ao princípio da relatividade de Galileu.

A transformação de Galileu, a adição galileana de velocidades e a invariância da aceleração para dois observadores inerciais são assuntos abordados no Capítulo 2, que ainda mostra que as leis da mecânica são as mesmas em todos os sistemas de referência inerciais.

O caminho que leva desde os gregos antigos até Descartes, Galileu, Newton, Leibniz e Huyghens, entre outros, ressalta a dinamicidade do conhecimento científico, a ausência de verdades absolutas. Paradoxalmente, no entanto, com o contínuo desenvolvimento da mecânica no século XVIII e na primeira metade do século XIX, a física newtoniana ou física clássica (como veio a ser conhecida) acabou adquirindo o status de dogma filosófico, transformando-se em uma estrutura conceitual com pretensões de dar respostas a questões não apenas do domínio da mecânica mas também de outras áreas da física, como a termologia, a hidrodinâmica, a eletricidade, o magnetismo e a ótica. Para o célebre matemático J. L. Lagrange (1736-1813), por exemplo, Newton tinha sido o maior de todos os cientistas porque a ciência do nosso mundo só podia ser criada uma vez e havia sido Newton o seu criador⁽⁵⁾.

O ideal da explicação mecânica de qualquer fenômeno, compartilhado por newtonianos e cartesianos, sofre, contudo, duro e decisivo golpe com o estabelecimento das equações de Maxwell, na segunda metade do século XIX. Com elas estrutura-se uma nova teoria científica, com amplo poder explicativo e preditivo, que torna possível a abordagem de fenômenos no campo da eletricidade e do magnetismo com elegância e 'simplicidade'. O capítulo 3 trata especificamente deste assunto, mostrando o contexto de surgimento do eletromagnetismo.

Como era de se esperar, a idéia de uma 'segunda física', de um modo alternativo de pensamento que nascia com o conceito de campo (elétrico, magnético, eletromagnético), para lidar com os fenômenos naturais encontrou forte resistência entre aqueles que defendiam a continuidade da hegemonia do conceito mecânico. Havia, ainda, o fato das equações de Maxwell não serem invariantes frente a transformação de Galileu, o que colocava em cheque a equivalência física dos observadores inerciais, trazendo novamente à discussão a questão do referencial absoluto na física.

A existência ou não de um meio material para a propagação das ondas eletromagnéticas; a incompatibilidade da regra clássica da adição de velocidades com a constância da velocidade da luz, que independe do movimento da fonte e/ou do observador; o confronto entre o princípio da relatividade de Galileu e a idéia da existência de um referencial absoluto, entre outras coisas, estavam a exigir uma reordenação de conceitos e princípios na física do começo do século XX, mostrando serem muito mais extensos e complexos os caminhos que conduzem à compreensão do

mundo físico do que os imaginados por Lagrange. É neste importante contexto que se encontram as raízes da teoria da relatividade especial de Einstein, publicada no volume XVII da revista *Annalen der Physik*, em junho de 1905.

O capítulo 4 descreve, didaticamente, a experiência de Michelson-Morley e a relevância e conseqüências teóricas do resultado desta experiência no contexto das discussões sobre a existência ou não do éter. Por exemplo, é contestando o seu resultado que FitzGerald e Lorentz, por caminhos independentes, concluem que o braço do interferômetro cuja direção coincide com a do movimento da Terra contraí-se na direção deste movimento. A invariância das equações de Maxwell frente a transformação de Lorentz constitui-se, igualmente, em um importante resultado teórico, mas é somente com Einstein que transparece, em toda a sua essência, o seu significado.

O capítulo 5 introduz os postulados da relatividade especial, inserindo-os dentro de uma discussão que enfatiza que para Einstein os conceitos científicos e princípios gerais de uma teoria são ‘livres criações do espírito’. É com uma argumentação neste sentido que se conclui o capítulo mostrando que a concepção empirista-indutivista da ciência, que ainda hoje se encontra fortemente disseminada no meio acadêmico, e que concebe, fundamentalmente, a teoria da relatividade especial como uma resposta objetiva e correta ao experimento de Michelson-Morley, não tem sustentação.

O capítulo 6 faz um breve ‘confronto’ entre o caráter absoluto da simultaneidade na mecânica newtoniana e o seu caráter relativo na teoria da relatividade especial.

A transformação de Lorentz, a contração de Lorentz-FitzGerald, a dilatação temporal e a adição relativística de velocidades são matérias abordadas no capítulo 7, que também as ilustra em várias situações-problema.

O capítulo 8, “Sobre revoluções científicas, programas de pesquisa e a evolução do conhecimento”, propicia ao estudante um primeiro contato com as concepções kuhniana e lakatosiana do desenvolvimento científico.

No último capítulo, discute-se as bases teóricas do texto **As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história e filosofia da ciência em um curso de mecânica**, em termos de aprendizagem, mostrando a articulação de uma versão didática do referencial lakatosiano com o conceito central da teoria da aprendizagem de David Ausubel.

Nas próximas seções descreve-se como o texto **As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história e a filosofia da ciência em um curso de mecânica** foi utilizado em sala de aula e os resultados desta aplicação, em termos de observações feitas pelo professor (o autor) e das respostas dos alunos a um opiniário.

É importante ressaltar que, com exceção da unidade “Trabalho e Energia”, todos os assuntos que estruturam o texto constam no programa da disciplina Física Geral I, do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina.

3 - Metodologia

O volumoso material constituído pelos Livros 1, 2, 3 e 4 e o custo elevado para a sua aquisição, por parte do aluno, fizeram com que o autor submetesse o projeto “As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história e filosofia da ciência em um texto de mecânica a nível universitário básico” ao programa FUNGRAD/96, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Com a aprovação deste projeto, na íntegra, foi possível oferecer aos alunos matriculados na disciplina Física Geral I os quatro livros, encadernados e com fotocópias de muito boa qualidade, por um custo de menos da metade de seu valor real. Através do projeto, adquiriu-se, também, bibliografia suplementar⁺, encaminhada à biblioteca do Centro de Ciências Físicas e Matemáticas da UFSC para uso temporário e exclusivo dos alunos da disciplina durante o período do curso.

Para a utilização do texto, com os 39 alunos que efetivamente se fizeram presentes no início do semestre, desenvolveu-se uma metodologia bastante diversificada.

Os dois primeiros capítulos do Livro 1 foram ministrados da forma tradicional: exposição teórica dos conteúdos, pelo professor-pesquisador, e exemplos de aplicação da álgebra vetorial.

O capítulo 3, “Sobre a resolução de problemas no ensino da física”, foi objeto de uma ampla discussão, com os alunos, após a leitura que (supostamente) fizeram do mesmo, dentro de uma atividade extra-classe que lhes foi proposta. Após esta tarefa, encaminhou-se aos estudantes o primeiro problema de cinemática do curso: um problema aberto, nos moldes de Gil-Pérez⁽⁶⁾.

A abordagem aos sete capítulos do Livro 2 e aos dois primeiros do Livro 3 foi feita através de seminários, sob a responsabilidade dos alunos, que se agruparam segundo suas preferências. A escolha dos assuntos foi tranquila, não gerando insatisfações. Por sugestão do professor, para não haver repetição de temas, coube a dois grupos a apresentação de biografias, de Galileu e de Newton, centradas, respectivamente, nas obras “Galileu, uma vida”⁽⁷⁾ e “A vida de Isaac Newton”⁽⁸⁾.

Como estratégia de ensino, para a fixação dos conteúdos e integração da matéria, procedia-se, usualmente, antes da ‘apresentação do dia’, a um apanhado geral dos temas já discutidos, incentivando a participação ativa de todos os alunos neste ‘sumário de idéias’.

Depois de todas as apresentações (exceto a de Newton, que por razões sequenciais foi feita mais tarde), cada grupo elaborou um trabalho escrito que compreendeu um resumo dos conteúdos relativos aos capítulos estudados e a resposta às questões constantes no texto.

Os capítulos 3, 4, 5 e 6, do Livro 3, abordam conteúdos específicos da dinâmica newtoniana, deixando de lado a exposição histórica da mecânica.

⁺ CHALMERS, A. O que é ciência, afinal? São Paulo, Brasiliense, 1993; CHALMERS, A. A fabricação da ciência. São Paulo, Editora da Universidade Estadual Paulista, 1994; EINSTEIN, A. Escritos da maturidade: artigos sobre ciência, religião, racismo, educação e relações sociais. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1994; EVORA, F.R.R. A revolução copernicano-galileana. Campinas, UNICAMP, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, 1993. v.1: Astronomia e cosmologia pré-galileana; EVORA, F.R.R. A revolução copernicano-galileana. Campinas, UNICAMP, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, 1993. v.2 : A revolução galileana; GAMA, R. (org.) Ciência e técnica: antologia de textos históricos. São Paulo, T.A. Queiroz, 1992; GHINS, M. A inércia e o espaço-tempo absoluto: de Newton a Einstein. Campinas, UNICAMP, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, 1991; KOESTLER, A. O homem e o universo: como a concepção do universo se modificou através dos tempos. São Paulo, IBRASA, 1989; KOYRÉ, A. Estudos de história do pensamento científico. Rio de Janeiro, Forense Universitária, 1991; NASCIMENTO, C.A. De Tomás de Aquino a Galileu. São Paulo, UNICAMP, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, 1995; PAIS, A. Sutil é o Senhor ... : a ciência e a vida de Albert Einstein. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1995; THUILLIER, P. De Arquimedes a Einstein: a face oculta da investigação científica. Rio de Janeiro, Jorge Zahar, 1994. **E ainda, em fotocópia** BALIBAR, F. Einstein: uma leitura de Galileu e Newton. Lisboa, Edições 70, 1984; RESTON, J. Galileu, uma vida. Rio de Janeiro, José Olympio, 1995; WESTFALL, R.S. A vida de Isaac Newton. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1995; ZANETIC, J. Física também é cultura. Tese de doutoramento. São Paulo, 1989.

Uma seção dedicada à análise da física intuitiva e das dificuldades conceituais dos estudantes às leis de Newton, no capítulo 3, e outra que mostra os resultados de dois estudos desenvolvidos em nível universitário básico sobre idéias intuitivas relacionadas ao movimento de projéteis^(9,10), no capítulo 5, subsidiaram discussões em sala de aula sobre a temática das concepções alternativas. Com este procedimento, ensejou-se aos alunos refletirem sobre as suas concepções não científicas, fazendo-os ver, com o auxílio da história da mecânica, que as idéias que conflitam com a dinâmica newtoniana, afinal de contas, não são pura e simplesmente ‘estúpidas’, ou fora de propósito.

Com o reaparecimento da resolução de problemas, no texto, tanto nos exemplos de aplicação das leis de Newton, no capítulo 3, quanto em situações-problema envolvendo o atrito, o movimento de projéteis e o movimento circular, nos capítulos 4, 5 e 6, sugeriu-se aos alunos uma nova leitura do capítulo 3 do Livro 1. Individualmente, ou em grupo, os estudantes foram estimulados, entre outras coisas, a resolver problemas abertos, a proceder a resolução literal de problemas, a formular, ao menos, uma questão depois de terem solucionado uma dada situação-problema (de acordo com a hipótese de que o estudo de uma - ou mais - variante do problema recém resolvido pode levar o solucionador à uma compreensão mais abrangente do quadro teórico em que ele se situa. Neste caso, quando dar realmente por finalizado um problema é uma interessante questão que se coloca ao solucionador.⁽¹¹⁾), a analisar fisicamente os resultados encontrados etc. Importa registrar que a resolução de problemas, no quadro-negro, pelos alunos, foi amplamente utilizada no curso.

Antes do capítulo 7, relativo à gravitação universal (que foi objeto de exposição, pelo professor, na forma de seminário), foi exposta, pelo último grupo de alunos, a obra “A vida de Isaac Newton”.

A unidade “Trabalho e Energia” foi ministrada de maneira tradicional, com farto uso do quadro-negro e o mais didaticamente possível, como forma de ‘amenizar’ a lacuna deixada pelo material instrucional que não aborda este assunto (por uma questão de tempo, entre estruturar esta grande unidade e o conteúdo pertinente à relatividade especial optou-se por este último, que é matéria do Livro 4).

Tendo em vista todo o quadro teórico em que se situam os Livros 1, 2, 3 e 4, e a primeira aplicação dos mesmos em sala de aula, acabou havendo pouco tempo para a disseminação das idéias constantes no Livro 4, na forma inicialmente planejada. Sendo assim, e de modo a contornar o melhor possível esta deficiência, optou-se por dar aos alunos uma visão panorâmica do contexto de surgimento da teoria da relatividade especial e de seus conceitos básicos. Isto foi feito em dois seminários de três horas-aula, cada um.

Vale destacar que esta parte da matéria é de bastante importância para que se cumpra um dos objetivos teóricos do material instrucional, como um todo, que é o de combater a visão empirista da ciência (o que se procurou fazer com Galileu, especialmente). Neste sentido, presta-se bastante bem, à discussão, contrapor à concepção empirista-indutivista da ciência, que ainda é muito acentuada no meio acadêmico, argumentos que mostram que não é correto vincular a experiência de Michelson-Morley à gênese das idéias de Einstein sobre a teoria da relatividade especial.

Do ponto de vista da competição de programas de pesquisa, que fundamenta a proposta teórica do material instrucional, merece destaque o declínio do conceito mecânico com o surgimento do eletromagnetismo e o fim do domínio absoluto da mecânica newtoniana com a re-

latividade einsteiniana. De qualquer modo, procurou-se constantemente enfatizar para o aluno que o conhecimento científico não é definitivo.

A avaliação do desempenho dos alunos, na disciplina, foi feita através de quatro provas escritas, com problemas e questões teóricas, e das atividades relacionadas ao Livro 2 e aos dois primeiros capítulos do Livro 3 (seminário + trabalho escrito), que tiveram o mesmo peso que as demais provas, no cálculo da média final. Houve, ainda, uma prova de recuperação, opcional, ao final do curso, abrangendo apenas aqueles conteúdos relativos à verificação de menor aproveitamento do aluno, para a composição de sua nota final.

4 - A avaliação do texto

A seguir, procede-se a uma avaliação geral do material instrucional utilizado em sala de aula, primeiro em termos das observações realizadas pelo professor durante o curso e, posteriormente, em função das respostas dadas pelos alunos a um opiniário com questões relativas à resolução de problemas, às concepções alternativas, à história da ciência e sobre ao conhecimento científico.

Vinte e dois alunos, entre aprovados (14) e reprovados com frequência suficiente (8), responderam ao opiniário. Para a análise das respostas geradas com este instrumento utilizou-se a Escala Likert⁽¹²⁾, a qual atribui escores que variam de 5 para CF (concordo fortemente) até 1 para DF (discordo fortemente) quando a afirmação é favorável e escores de 1 para CF até 5 para DF, no caso de afirmações desfavoráveis.

A escala Likert fornece uma idéia geral aproximada da opinião do respondente, pois os números atribuídos às respostas são arbitrários e é possível que a resposta C (concordo) para uma questão favorável, por exemplo, não seja semelhante a uma resposta D (discordo) para uma questão desfavorável.

5 - Resultados das observações (impressões pessoais) do professor-pesquisador:

a) sobre a resolução de problemas:

A aula na qual se procedeu à uma ampla discussão sobre os conteúdos abordados no capítulo 3 do Livro 1 evidenciou, bem cedo, o quanto se faz necessário tratar a resolução de problemas como uma área específica da aprendizagem do aluno.

Mudar hábitos fortemente arraigados, adquiridos a partir de um ensino em geral bastante questionável, como é o da física no segundo grau, calcado na 'resolução de problemas', (quase que totalmente mecânica, isto é, com pouco ou nenhum significado para o aluno) não é tarefa fácil. Contudo, a estratégia de fazer constantes referências ao capítulo 3 do Livro 1 em situações-problema resolvidas pelo professor (exemplos ilustrativos, esclarecimento de dúvidas etc.) e pelo próprio aluno (em soluções individualizadas ou no quadro-negro) e o papel desempenhado pelo texto quanto à forma de propor problemas (do tipo fechado, com e sem dados numéricos, ou de enunciado aberto) e de encaminhar soluções, parecem ter, em conjunto (enfatizando a importância da interação professor-aluno e aluno-texto), cumprido a 'missão' de mostrar ao estudante que há o que aprender em relação à resolução de problemas. Ao menos, tornou-se perceptível, à observação,

entre outras coisas, que:

- a) a resolução literal de problemas foi muito bem aceita pelos alunos que logo se aperceberam das vantagens deste procedimento sobre a prática usual de substituição imediata, nas equações, de dados numéricos disponíveis (exame de casos particulares, de casos limites, menor probabilidade de erro aritmético etc.);
- b) não houve uma única reclamação quanto à utilização de problemas abertos no curso. Evidentemente, os alunos ficaram surpresos quando lhes foi proposto o primeiro deles em sala de aula. De fato, os estudantes não apenas não se mostraram aversos à emissão de hipóteses, elaboração de estratégias de solução etc, como demonstraram interesse em solucionar problemas que exigiam o seu envolvimento em tarefas desta natureza;
- c) com freqüência, muitos alunos iam além das situações-problema propostas, formulando novas perguntas que os conduziam a novos problemas. Este procedimento assegura um envolvimento não mecânico no processo de solução;
- d) vários alunos consideraram importante o conhecimento de estratégias de resolução de problemas utilizadas por bons solucionadores. Mesmo assim, alguns fizeram questão de frisar que eles não as viam como 'receitas' a serem seguidas, o que, diga-se de passagem, é muito bom.

Houve, também, dificuldades não resolvidas (em que pese instruções específicas) que parecem demandar soluções que exigem um tempo bem maior do que o disponível em um semestre de estudo (admitindo-se como suficientes as discussões realizadas no capítulo 3 do Livro1). A análise crítica do resultado de um problema (especialmente naqueles casos onde há mais de uma resposta) é um exemplo. O 'desprezo' à teoria é uma outra 'herança' do segundo grau que faz com que muitos estudantes se lancem à resolução de problemas sem estarem minimamente preparados para tal.

b) sobre as concepções alternativas:

A existência de concepções alternativas sobre força e movimento em todos os sete alunos (entre eles o melhor da classe) que participavam de uma conversa informal com o professor da disciplina, antes do começo de uma das aulas de cinemática, caracterizou bem a importância de se levar explicitamente em consideração esta dificuldade do aluno no seu aprendizado das leis de Newton.

Mesmo com uma seção dedicada especificamente à discussão da física intuitiva do estudante no capítulo 3 do Livro 3 e com o encaminhamento de novas discussões realizadas em sala de aula (e fora dela) sobre este assunto, que sugeriam visíveis progressos dos alunos em direção a tão almejada mudança conceitual, esta parece ter ocorrido somente em parte. Ao menos foi isto que se observou nas respostas dos estudantes a duas questões teóricas da prova relativa às leis de Newton: em uma delas (Apêndice, questão 4) os alunos tiveram um desempenho muito bom; na outra (Apêndice, questão 5), sem dúvida bem mais difícil, do ponto de vista conceitual, o escore de acerto foi muito baixo (inferior a 20%).

De qualquer modo, uma nova investida contra as concepções alternativas foi feita, em aula, quando da correção desta verificação de aproveitamento. O capítulo 5 do Livro 3, que aborda o movimento de projéteis em uma e em duas dimensões, também subsidiou, mais adiante, produtivas discussões sobre a problemática das concepções alternativas.

É importante ressaltar que não houve uma preocupação específica em avaliar, nos alunos, a evolução conceitual (isto será objeto de um outro estudo). O que seguramente se pode afirmar é que, na opinião do professor-pesquisador, o texto e o curso conscientizaram, plenamente, o aluno que ele traz (ou pode trazer) consigo, para a sala de aula, idéias que conflitam com conceitos que ele tem de aprender, e que é necessário um grande esforço de sua parte para que ele proceda às reformulações necessárias de modo a realmente entender os conceitos aceitos pela ciência de hoje.

c) sobre a história da ciência:

Os conteúdos de natureza histórica (Livro 2 e parte do Livro 3) foram muito bem aceitos pelos alunos. De fato, mesmo havendo visíveis dificuldades da parte de vários estudantes para a compreensão de alguns assuntos (como os relativos a certos conteúdos do capítulo 1 do Livro 2 e do primeiro capítulo do Livro 3), o que, aliás, é perfeitamente natural em qualquer situação de aprendizagem, não foi registrada nenhuma rejeição à utilização da história na estruturação das idéias ao longo do texto. Bem ao contrário!

Há clara evidência ‘observacional’ de que a utilização da história da ciência, no texto/curso:

- a) motivou os alunos ao estudo da disciplina. Os três estudantes encarregados da exposição da vida e obra de Galileu, por exemplo, valeram-se da ‘dramatização teatral’ para a apresentação deste tema. O acesso ao Museu de História da Ciência, em Florença, através da Internet - uma iniciativa original e espontânea destes estudantes - possibilitou a confecção de diversas transparências coloridas com imagens que enriqueceram o seu trabalho.
- b) contribuiu para estabelecer um ótimo relacionamento entre o professor da disciplina e os alunos;
- c) foi bastante útil para lidar com as concepções alternativas dos alunos sobre a relação força e movimento;
- d) ensinou aos alunos entender que o conhecimento científico não é definitivo.

Ela também motivou o próprio professor no desenvolvimento da disciplina, gerando, inclusive, novas idéias para uma melhor articulação do texto com um dos grandes interesses do estudante de hoje - a Internet. Assim, já se encontra em desenvolvimento um ‘site’ com imagens relativas ao material instrucional utilizado no curso e ‘links’ com Instituições de Ensino, Institutos de Pesquisa, Museus e projetos na área do ensino da física. Ele foi concebido a partir do vivo interesse que os alunos demonstraram pelas imagens conseguidas pelos estudantes do “Grupo Galileu” junto a Internet.

A seguir, passa-se ao opiniário, cujos resultados confirmam impressões pessoais do professor-pesquisador quanto à receptividade dos alunos em relação ao texto.

6 - O opiniário respondido pelos alunos⁺

OPINIÁRIO

UFSC - CFM
DEPTO DE FÍSICA - DISCIPLINA FSC 5109

NOME :

INSTRUÇÕES

Este é um opiniário que deverá refletir o seu pensamento sobre diversos aspectos relativos ao curso de Física Geral I do primeiro semestre de 1997. Posicione-se frente a cada uma das afirmações feitas assinalando o seu grau de concordância ou discordância conforme a seguinte escala:

CF - Concordo fortemente

C - Concordo

SO - Prefiro não opinar

D - Discordo

DF - Discordo fortemente

Sobre a resolução de problemas

1. Houve uma mudança significativa na forma como eu concebia a resolução de problemas no começo do semestre e na maneira como eu agora vejo e entendo esta atividade.

(9) CF (11) C (1) SO (0) D (1) DF

ET = 93 ; EM = 4,2

2. Os problemas abertos são de pouca utilidade para a aprendizagem do aluno.

(1) CF (0) C (2) SO (7) D (12) DF

ET = 95 ; EM = 4,3

3. Todos os problemas utilizados no curso de Física Geral I deveriam ser do tipo fechado.

(0) CF (0) C (1) SO (10) D (11) DF

ET = 98 ; EM = 4,5

⁺ Apresenta-se, em cada item, a frequência de respostas (o número entre parênteses ao lado das opções CF, C, SO, D e DF), o escore total, ET (de um máximo de 110), e o escore médio, EM (de valor máximo 5,0).

4. É perda de tempo resolver problemas mecanicamente.

(5) CF (8) C (3) SO (4) D (2) DF

ET = 76 ; EM = 3,5

5. Procuo desenvolver um problema literalmente, substituindo, usualmente, os valores numéricos apenas ao final do problema (ou ao final de cada etapa, no caso do problema ter mais de uma etapa).

(13) CF (8) C (0) SO (0) D (1) DF

ET = 98 ; EM = 4,5

6. Todos os problemas utilizados no curso de Física Geral I deveriam conter dados numéricos.

(0) CF (1) C (1) SO (15) D (5) DF

ET = 90 ; EM = 4,1

7. A utilização apenas de problemas fechados em um curso de física básica pode induzir o estudante a considerar o conhecimento como resultado de um processo indutivo de inferência a partir de dados conhecidos, isto é, a uma visão empirista da ciência

(2) CF (7) C (12) SO (0) D (1) DF

ET = 75 ; EM = 3,4

8. O capítulo 3 do Livro 1, “Sobre a resolução de problemas no ensino da física”, é de pouca utilidade para o aluno

(0) CF (0) C (1) SO (13) D (8) DF

ET = 95 ; EM = 4,3

9. Não é relevante, para o aluno, a análise crítica de possíveis estratégias utilizadas por bons solucionadores de problemas de lápis e papel em física .

(0) CF (2) C (6) SO (9) D (5) DF

ET = 83 ; EM = 3,8

10. A resolução de problemas deve ser vista, pelo professor, como uma área da aprendizagem do aluno, que requerer discussões específicas para que o estudante nela se envolva de uma forma consciente e responsável.

(10) CF (11) C (1) SO (0) D (0) DF

ET = 97 ; EM = 4,4

Sobre as concepções intuitivas

11. Há conceitos ou idéias intuitivas do aluno que conflitam com os conceitos leis e teorias que ele deve aprender.

(14) CF (7) C (1) SO (0) D (0) DF

ET = 101 ; EM = 4,6

12. Durante o curso de Física Geral I constatei que possuía idéias intuitivas sobre a relação força e movimento.

(10) CF (10) C (2) SO (0) D (0) DF

ET = 96 ; EM = 4,4

13. Não superei minhas idéias intuitivas sobre força e movimento após o curso de Física Geral I.

(0) CF (2) C (3) SO (6) D (11) DF

ET = 92 ; EM = 4,2

14. Os conteúdos históricos do curso pouco contribuíram para esclarecer as minhas concepções intuitivas sobre a relação força e movimento.

(0) CF (2) C (3) SO (10) D (7) DF

ET = 88 ; EM = 4,0

15. As situações-problema propostas no curso foram úteis para a superação de minhas idéias intuitivas em mecânica.

(7) CF (12) C (3) SO (0) D (0) DF

ET = 92 ; EM = 4,2

Sobre a história da ciência

16. A história da ciência motiva o aluno a estudar física.

(12) CF (7) C (3) SO (0) D (0) DF

ET = 97 ; EM = 4,4

17. A história da mecânica em nada contribui para a compreensão dos conceitos físicos da disciplina Física Geral I.

(0) CF (0) C (0) SO (11) D (11) DF

ET = 99 ; EM = 4,5

18. A história da ciência ilustra o caráter provisório das teorias científicas.

(8) CF (12) C (2) SO (0) D (0) DF

ET = 94 ; EM = 4,3

19. Se eu fosse professor não faria uso da história da ciência com meus alunos.

(0) CF (0) C (2) SO (8) D (12) DF

ET = 98 ; EM = 4,5

20. Há um valor intrínseco (próprio) em se compreender certos episódios fundamentais que ocorreram na história do pensamento científico.

(5) CF (8) C (8) SO (1) D (0) DF

ET = 83 ; EM = 3,8

21. A utilização da história da ciência no 2^o grau pode fazer com que mais estudantes se interessem pela Ciência/Física.

(11) CF (9) C (1) SO (1) D (0) DF

ET = 96 ; EM = 4,4

22. O que deve ser priorizado em um curso como o de Física Geral I é o produto final da mecânica e não o processo de construção de seus conceitos e teorias.

(0) CF (1) C (2) SO (13) D (6) DF

ET = 90 ; EM = 4,1

23. A história da ciência não contribui para desmistificar a imagem do cientista como um ser infalível, sempre bem sucedido em seu trabalho.

(2) CF (1) C (3) SO (9) D (7) DF

ET = 84 ; EM = 3,8

Sobre o conhecimento científico

24. É a partir dos dados da experiência, e não de idéias pré-concebidas, que Galileu chega a relação $d \propto t^2$.

(1) CF (5) C (10) SO (3) D (3) DF

ET = 68 ; EM = 3,1

25. O conhecimento científico não é definitivo.

(12) CF (8) C (1) SO (1) D (0) DF

ET = 97 ; EM = 4,4

26. As observações e o relato experimental estão impregnados de teoria.

(6) CF (10) C (5) SO (1) D (0) DF

ET = 87 ; EM = 4,0

27. O método científico é constituído por uma seqüência rigorosa de etapas - observação, formulação de hipóteses, experimentação, medição, estabelecimento de relações, conclusões e estabelecimento de leis e teorias.

(7) CF (8) C (2) SO (3) D (2) DF

ET = 51 ; EM = 2,3

28. As teorias científicas são obtidas a partir dos dados da experiência, adquiridos por observação e experimento, ou seja, a experiência é a fonte do conhecimento.

(2) CF (7) C (4) SO (5) D (4) DF

ET = 68 ; EM = 3,1

29. A observação neutra, sem teoria, não existe.

(3) CF (4) C (5) SO (8) D (2) DF

ET = 64 ; EM = 2,9

7 - Resultados do opiniário:

a) sobre a resolução de problemas:

Os elevados escores às questões 2 [4,3] e 3 [4,5] do opiniário indicam, de forma bastante clara, que o aluno considera útil e relevante, a seu aprendizado de física, a resolução de problemas abertos.

O 'gosto' do estudante pela resolução literal de problemas fica explicitamente evidenciado no escore de 4,5 à questão 5 e, também, no escore de 4,1 à questão 6.

Os alunos também não rejeitam a análise crítica de possíveis estratégias utilizadas por bons solucionadores de problemas. A maioria, inclusive, acha isto relevante [Questão 9, escore 3,8].

Estes resultados, juntamente com os expressivos escores de 4,2 à questão 1 e de 4,3 à questão 8, sugerem que o capítulo 3 do Livro 1 foi, particularmente, de grande utilidade para o aluno. De fato, "*A resolução de problemas deve ser vista, pelo professor, como uma área da aprendizagem do aluno, que requer discussões específicas para que o estudante nela se envolva de*

uma forma consciente e responsável". Esta afirmação, que consta como item 10 do opiniário, teve um escore de 4,4.

Como se vê, todos estes altos escores corroboram observações feitas na seção 5a. Dentro deste contexto, o fato de que mais da metade dos alunos optou por uma posição de neutralidade à questão 7 do opiniário parece mostrar que a maioria deles não entendeu bem a afirmação constante neste item (escore 3,4).

Uma outra questão que parece não ter sido formulada de forma clara, para o estudante, foi a de número 4 que, provavelmente, expressaria um escore muito superior ao 3,5 que obteve se a palavra mecanicamente tivesse o seu significado explicado (por exemplo, substituindo o ponto final da frase por uma vírgula e acrescentando "isto é, sem saber ao certo o que se faz.").

b) sobre as concepções alternativas:

O escore de 4,4 à questão 12 do opiniário, na qual 20 dos 22 alunos afirmam ter constatado que possuíam idéias intuitivas sobre a relação força e movimento durante o curso de Física Geral I, referenda totalmente a generalização feita a toda classe, sobre a existência destas concepções, a partir de uma amostra de 6 alunos (quando de uma conversa informal entre estes estudantes e o professor da disciplina, antes de uma das aulas de cinemática, como já se mencionou).

A certeza, proveniente da observação, de que o texto e o curso conscientizaram o aluno de que há conceitos ou idéias intuitivas, da parte do aprendiz, que conflitam com os conceitos aceitos pela ciência de hoje (e que têm um impacto altamente negativo em seu aprendizado de física), é corroborada, inequivocamente, a partir do elevado escore de 4,6 (o mais alto de todos) à questão 11.

Os estudantes também manifestaram a convicção de que:

- a) os conteúdos históricos do curso contribuíram para esclarecer as suas concepções intuitivas sobre a relação força e movimento [Item 14, escore 4,0];
- b) as situações-problema propostas no curso foram úteis para a superação de suas idéias intuitivas em mecânica [Questão 15, escore 4,2].

Por outro lado, é, no mínimo, gratificante constatar, através do escore de 4,2 conferido ao item 13 do opiniário, que os alunos acreditam ter superado às suas idéias intuitivas sobre força e movimento com o curso de Física Geral I.

c) sobre a história da ciência:

Os escores relativos aos itens 16 a 23 do opiniário parecem não deixar dúvida sobre o valor atribuído pelo aluno à inserção de conteúdos de natureza histórica em um curso de física. Eles não apenas corroboram as observações feitas na seção 5 c como as ampliam, consideravelmente.

Em resumo, pode-se supor que a história da ciência:

- a) motiva o aluno a estudar física [questão 16, escore 4,4];
- b) ilustra o caráter provisório das teorias científicas [questão 18, escore 4,3];
- c) contribui para desmitificar a imagem do cientista como um ser infalível, sempre bem sucedido em seu trabalho [questão 23, escore 3,8];

- d) pode fazer com que mais estudantes se interessem pela ciência/física, se for utilizada no ensino médio [questão 21, escore 4,4];
- e) tem 'valor' como cultura [questão 20, escore 3,8].

Os alunos também consideraram que a história da mecânica contribuiu para uma melhor compreensão dos conceitos físicos relativos à disciplina Física Geral I [questão 17, escore 4,5] e que o que deve ser priorizado nesta disciplina não é apenas o produto final da mecânica, mas o processo de construção de seus conceitos e teorias [questão 22, escore 4,1].

Coerentemente com este conjunto de respostas, os estudantes também afirmaram que fariam uso da história da ciência com seus alunos, caso fossem professores [questão 19, escore 4,5].

d) Sobre o conhecimento científico

Os baixos escores médios às questões 24 [3,1], 27 [2,3] e 28 [3,1], particularmente, sugerem que muitos alunos chegaram ao final do curso com uma clara visão empirista da ciência. Isto é, que:

- a) foi a partir dos dados da experiência, não de idéias pré-concebidas, que Galileu chegou a a relação $d \propto t^2$;
- b) o método científico é constituído por uma seqüência rigorosa de etapas - observação, formulação de hipóteses, experimentação, medição, estabelecimento de relações, conclusões e estabelecimento de leis e teorias;
- c) as teorias científicas são obtidas a partir dos dados da experiência, adquiridos por observação e experimento, ou seja, a experiência é a fonte do conhecimento.

Esta constatação, em parte, surpreende, principalmente no caso da questão 24, na qual 10 dos 22 alunos que responderam ao teste preferiram se omitir, assinalando SO (sem opinião), pois no capítulo 6 do Livro 2 procurou-se deixar claro que com os experimentos do plano inclinado Galileu objetivava, tão somente, inferir como correta a sua hipótese inicial de que a natureza se serve de um movimento com aceleração constante na queda dos corpos.

Em dois outros lugares, no texto, abordou-se, explicitamente, a questão do empirismo na ciência:

- a) no capítulo 7 do Livro 3, quando se enfatizou que a lei da gravitação universal não pode ser derivada por generalização e indução a partir das leis de Kepler e
- b) no capítulo 5 do Livro 4, quando se discutiu o papel que a experiência de Michelson-Morley teve na gênese da teoria da relatividade especial.

É importante ressaltar, contudo, que não se efetivou nenhuma discussão específica, nem no texto e tampouco em sala de aula, contestando o método científico entendido como uma seqüência rígida de etapas 'seguidas' pelo cientista em seu trabalho.

Esperava-se, talvez ingenuamente, ou mesmo supervalorizando certas ações contempladas no texto, que os alunos pudessem inferir como falsa a afirmação constante na questão 27.

O fato é que a concepção empirista-indutivista da ciência encontra-se largamente difundida nos materiais instrucionais, em geral, e o estudante de Física Geral I é proveniente de um ensino com uma característica marcante neste sentido.⁽¹³⁾

Sendo tão acentuada a concepção empirista do aluno e, ao que parece, resistente à mudança, faz-se necessário desenvolver-se novas estratégias, tanto ao nível do próprio texto quanto na metodologia que nele se centra, para se lidar com mais este problema no aprendizado do estudante.

Manifesta-se, de imediato, a premência de se fazer uma discussão específica sobre o método científico. Neste sentido, a riqueza e diversidade dos conteúdos abordados no texto (com as devidas reformulações) talvez se mostrem suficientes para munir o aluno da argumentação necessária à sua refutação. O engajamento ativo do estudante neste empreendimento certamente contribuirá para que se efetive uma maior integração dos conteúdos estudados.

Os altos escores às questões 25 e 26 sugerem, fortemente, que os alunos entenderam que o conhecimento científico não é definitivo e que as observações e o relato experimental estão impregnados de teoria. Neste último caso, o conflito de idéias na interpretação das manchas solares por parte de Galileu e Scheiner, um episódio marcante no capítulo 5 do Livro 2, pode ter sido muito importante para que isto ocorresse. Dentro desta argumentação, contudo, fica difícil de entender o baixo escore à questão 29.

Por outro lado, talvez se possa encontrar no empirismo dominante do aluno uma explicação para o baixo escore ao item 7 do questionário.

8 - Comentários finais

Uma avaliação preliminar do material instrucional **As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história e filosofia da ciência em um curso de mecânica** utilizado como livro de texto na disciplina Física Geral I do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, no primeiro semestre de 1997, indica resultados altamente satisfatórios em termos da aceitação deste material por parte do aluno e pelo potencial que apresenta para lidar com diversos problemas que geralmente se fazem presentes no ensino da mecânica.

Inovando na estruturação dos conteúdos, o texto leva explicitamente em consideração resultados consensuais da pesquisa em ensino de física na área das concepções alternativas e da resolução de problemas, além de fazer uso didático de uma história da ciência que se articula com uma filosofia da ciência da linha construtivista⁽¹⁴⁾ (Kuhn, Popper, Lakatos etc.).

Contrapondo-se a um ensino que prioriza somente este ou aquele segmento do aprendizado do aluno, o texto procura desenvolver ações gerais, mas efetivas, em diversas partes de um todo mais abrangente, de modo a lidar não apenas com o aprendizado de conceitos, leis e princípios, e suas aplicações, mas também com os processos e métodos da ciência.

O texto **As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história e filosofia da ciência em um curso de mecânica**, evidentemente, não é um produto acabado:

? A confecção de uma unidade relativa a “Trabalho e Conservação da Energia” impõe-se, de imediato, como uma das tarefas de maior prioridade para o autor, em novos estudos. A ausência deste assunto no texto causou transtornos ao estudante já acostumado com o ritmo e a filosofia do material instrucional.

? O empirismo do aluno, como se viu, precisa ser bem mais trabalhado, tanto ao nível do próprio texto quanto nas ações didáticas nele centradas.

? O número de estudantes aprovados na disciplina (17) não foi, em média, nem superior e nem inferior ao de outros semestres, é verdade. Mas, cabe a pergunta, seria o ‘perfil de saída’ dos alunos que passaram pelo texto o mesmo que o dos estudantes de um curso tradicional? Seguramente não, como sugerem, em geral, as observações em sala de aula e as respostas dos alunos ao opiniário.

? Uma melhor otimização e adequação do tempo destinado a exploração dos conteúdos de cada unidade do curso faz-se, também, imprescindível, para o cumprimento integral do programa, nos moldes desejáveis.

Um conjunto de entrevistas com uma amostra de alunos que participaram do curso deverá complementar os dados já obtidos, elucidando algumas respostas constantes no opiniário e colhendo a impressão geral dos estudantes sobre o curso (críticas e sugestões).

Ao professor, o texto sugere fortemente que não é preciso conceber, necessária e dicotomicamente, duas distintas realidades no ensino da física: a ‘tradicional’, ‘matemática’, que priorizando apenas o produto do conhecimento e orientando-se por extensas listas de problemas torna o ensino frio, distante e dogmático e ‘uma outra’, ‘conceitual’, ‘histórica’, distante de sua prática, que releva a matemática a um plano secundário e que, desta forma, se lhe afigura totalmente inaplicável em cursos de física, química, matemática e engenharias, por exemplo.

Sem descuidar do formalismo matemático e dos resultados da ciência, como está demonstrado no texto, é possível, também, atentar para os processos de produção do conhecimento. Ou seja, pode-se conceder à matemática “*o papel de instrumento fundamental, mas não o de fim último do conhecimento. Neste caso, a matemática é vista como a mão da física, com a qual ela toca a natureza. Sobre o uso dos dedos dessa mão, cabe o que foi dito em um provérbio chinês: ‘o dedo serve para apontar a lua; o sábio olha para a lua, o ignorante para o dedo’.*”⁽¹⁵⁾

Referências

PEDUZZI, L.O.Q., MOREIRA, M.A. & ZYLBERSZTAJN, A. (1992). As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história da ciência numa seqüência de conteúdos em mecânica: o referencial teórico e a receptividade de estudantes universitários à abordagem histórica da relação força e movimento. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 14 (4): 239-246.

PEDUZZI, L.O.Q. (1997). As bases teóricas de um texto de mecânica em nível universitário básico. “Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo”, Universidade de Burgos, Burgos (Espanha), 15-19 de setembro. Actas: 217-228.

ARAUJO, C.R.R. (1990). Verdade e interesse na cosmogonia de Descartes. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 2, número especial, p.9.

WESTFALL, R.S. (1995). *A vida de Isaac Newton*. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, p.47.

INFELD, L. *Albert Einstein: a sua obra e a sua influência no mundo contemporâneo*. Publicações Europa-América, 3ª edição.

GIL-PÉREZ, D. & MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1987). *La resolución de problemas de Física una didáctica alternativa*. Madrid/Barcelona, Ediciones Vicens-Vives, p.10.

- RESTON, J. (1995). *Galileu, uma vida*. Rio de Janeiro, José Olympio. Citação, p.142.
- WESTFALL, R.S. Referência 4.
- PEDUZZI, L.O.Q. (1984). O movimento de projéteis e a solução mecânica de problemas. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 1(1): 8-13.
- PEDUZZI, L.O.Q. & PEDUZZI, S.S. (1985). Força no movimento de projéteis. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 2(3): 114-127, 1985.
- BLAKESLEE, D. & WALKIEWICZ, T. A. (1991). When is a problem finished? *The Physics Teacher*, 29(7): 464-466, 1991.
- BEST, J.W. (1970). *Research in education*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall Inc.
- MOREIRA, M.A. & OSTERMANN, F. (1993). Sobre o ensino do método científico. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 10 (2): 108-117.
- NUSSBAUM, J. (1989). Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, 11, Special Issue: 530-540.
- ROBILOTTA, M.R.(1985). Construção e realidade no ensino de física. São Paulo, IFUSP, p.II-15.

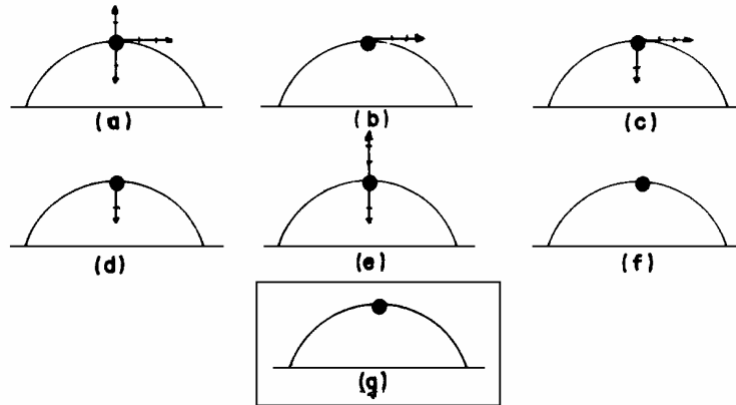
Recebido em 21.11.97

Aceito em 17.03.98

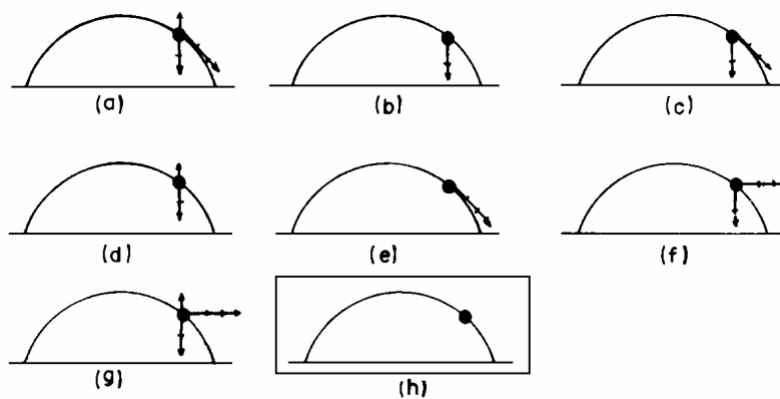
A P Ê N D I C E

QUESTÃO 4 DA AVALIAÇÃO RELATIVA ÀS LEIS DE NEWTON

a) Assinale qual a opção que representa corretamente a(s) força(s) que age(m) sobre uma bola chutada por um jogador de futebol quando ela se encontra no ponto mais alto da sua trajetória. Despreze a resistência do ar. Caso você não concorde com nenhum dos diagramas mostrados, represente a(s) força(s) que agem na bola no quadro que aparece na última opção. Justifique a sua resposta.



b) Assinale, agora, qual das opções abaixo apresenta corretamente a(s) força(s) que age(m) sobre a bola chutada pelo jogador de futebol, quando ela está em trajetória descendente. Despreze a resistência do ar. Caso você não concorde com nenhum dos diagramas mostrados, represente a(s) força(s) que age(m) sobre a bola no quadro que aparece na última opção. Justifique a sua resposta.

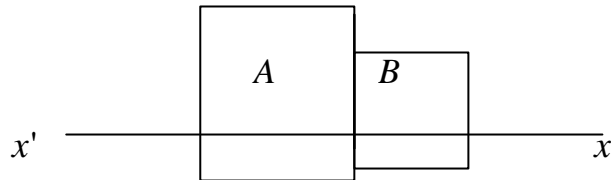


QUESTÃO 5 DA AVALIAÇÃO RELATIVA ÀS LEIS DE NEWTON

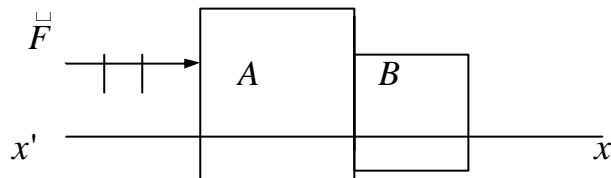
Em cada uma das situações abaixo você deverá representar a(s) força(s) que age(m) sobre os blocos *A* e *B*, utilizando, obrigatoriamente, vetores com divisões para indicar quando uma força é maior ou menor do que a outra.



a) Os blocos *A* e *B* movimentam-se de x' para x com velocidade constante, deslizando sem atrito ao longo de uma superfície horizontal.



b) Os blocos *A* e *B* movimentam-se de x' para x , sob a ação de uma força horizontal constante, \vec{F} , aplicada ao bloco *A*. Despreze o atrito.



c) Os blocos *A* e *B* movimentam-se de x' para x , com velocidade constante, sob a ação de uma força horizontal constante, \vec{F} , aplicada ao bloco *A*.

