
LEIS DE NEWTON: UMA FORMA DE ENSINÁ-LAS¹

Sônia S. Peduzzi
Luiz O. Q. Peduzzi
Departamento de Física – UFSC
Florianópolis – SC

I. Introdução

As idéias que os alunos trazem para a sala de aula e que se relacionam com os conceitos e princípios físicos a serem estudados têm sido objetos de extensa investigação nos últimos dez anos. Estas concepções, conceitos ou idéias intuitivas^(1,2,3):

- a) são encontradas em um grande número de estudantes, em qualquer nível de escolaridade;
- b) constituem um esquema conceitual coerente, com amplo poder explicativo;
- c) diferem das idéias expressas através dos conceitos, leis e teorias que os alunos têm que aprender;
- d) são muito persistentes e resistem ao ensino de conceitos que conflitam com elas;
- e) interferem no aprendizado da Física, sendo responsáveis, em parte, pelas dificuldades que os alunos encontram em disciplinas desta matéria, acarretando nessas um baixo rendimento quando comparado com disciplinas de outras áreas;
- f) apresentam semelhanças com esquemas de pensamento historicamente superados.

Estes fatos não deixam dúvida de que para haver um ensino efetivo:

[...] não é produtivo ignorar a bagagem cultural do aluno e todo o conjunto de noções espontâneas que ele carrega ao se deparar com o ensino formal na escola. Se não se cuidar adequadamente da 'física

¹ Trabalho apresentado no II Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, São Paulo, 8 e 9 de julho de 1988 e na 40ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, São Paulo, 10 a 16 de julho de 1988.

espontânea' dos alunos, sobrarão duas estruturas superpostas, entre as quais eles escolherão uma, dependendo do contexto; em geral quando o problema envolver muitos elementos formais usarão a aprendizagem formal; quando o problema envolver elementos do dia-a-dia e com características bem figurativas ou capazes de estimular a percepção, usarão o esquema espontâneo⁽⁴⁾.

Cabe, assim, ao professor a difícil tarefa de promover a mudança de um conjunto de idéias fortemente arraigado nos pensamentos dos alunos e fruto, basicamente, das suas observações e experiências com o mundo em que vive, para um outro conjunto de noções, aquele aceito pela ciência.

Têm sido apontadas diversas sugestões como forma de favorecer esta mudança conceitual. Entre outras, encontram-se:

a) O uso de experiências de laboratório, tanto em nível qualitativo quanto quantitativo^(5,6);

b) a apresentação de exemplos e contra-exemplo⁽⁷⁾;

c) a utilização da resolução de problemas não de formas como normalmente são propostas aos alunos, como nas tradicionais listas de problemas com simples exercícios de aplicação de teorias, que freqüentemente não são entendidas por eles, mas sim com um meio através do qual os alunos possam discutir mais a situação física envolvida e suas possíveis idéias intuitivas a respeito do que estão estudando^(8,9);

d) a discussão de aspectos ligados à História da Ciência como estratégia para estabelecer um paralelismo entre algumas concepções espontâneas dos estudantes e importantes idéias mantidas no passado. Isso também funciona como forma dos alunos perceberem a evolução dos conceitos e os desenvolvimentos das teorias que estudam^(10,11,12).

Posner e outros⁽¹³⁾, tomando por base que a aprendizagem é um processo que envolve compreender e aceitar idéias que sejam inteligíveis e racionais, postularam quatro condições necessárias a uma mudança conceitual:

a) deve haver descontentamento com as concepções existentes;

b) uma idéia ou conceito novo deve ser inteligível;

c) uma idéia ou conceito novo deve parecer inicialmente plausível;

d) uma idéia ou conceito novo deve ser útil.

Utilizando o modelo proposto por Posner, Solis Villa⁽³⁾ justifica a relutância de estudantes, tanto de 2º grau como universitários, em abandonar o esquema intuitivo ($V = 0$, se $F = 0$; $F = kV$) e substituí-lo, integralmente, pelo esquema newtoniano ($V = cte$, se $F = 0$; $F = ka$). Isso ocorre porque é difícil para o aluno considerar o esquema newtoniano inteligível, verossímil e mais útil que o anterior na interpretação de eventos e situações-problema. Assim, na análise de Solis Villa, a lei da inércia pode ser inteligível, mas resulta pouco plausível para

os estudantes, devido à existência do atrito. Já em relação à 2ª lei, os alunos podem encontrar dificuldades para reunir todas as condições exigidas.

O fracasso do enfoque usual dado às leis de Newton justifica, por si só, a introdução de estratégias alternativas de ensino neste tópico que levem em consideração as concepções dos alunos em relação a este tema e as sugestões apontadas nos diversos estudos efetuados nesta área, os quais têm se concentrado, principalmente, na identificação e na classificação das concepções encontradas. É nesta direção que o presente trabalho sugere uma seqüência de ações a serem desenvolvidas pelo professor em sala de aula – como a apresentação, para os alunos, de aspectos históricos da relação entre força e movimento, o uso de exemplos e contra-exemplos, a demonstração de experiências qualitativas e a análise e discussão de conceitos intuitivos evidenciados pelos alunos – que visa a promover um ensino mais efetivo das leis de Newton.

Com o objetivo de testar o procedimento sugerido, desenvolveu-se um experimento no segundo semestre de 1987 e dele participaram alunos do 1º ano dos cursos de Matemática e Química da Universidade Federal de Santa Catarina.

II. Descrição do experimento

A unidade leis de Newton foi estruturada na forma como mostra a Fig. 1. As atividades desenvolvidas com os alunos, em cada uma das etapas, são descritas a seguir.

II.1 Pré-teste de conhecimento

Para o aluno egresso do 2º grau, as leis de Newton não se constituem em novidade, já que este é um assunto tradicionalmente abordado na escola secundária. No entanto, por motivos diversos, as concepções espontâneas do aluno em relação a este tema ainda não têm recebido a devida atenção por parte do professor de física do Ensino Médio (isso também ocorre com alunos universitários), de modo que não há nenhuma surpresa em encontrá-las, ainda “intactas”, nos alunos que chegam à Universidade.

A primeira etapa da unidade leis de Newton, sugerida neste trabalho, consistiu na aplicação de um pré-teste de conhecimento ao grupo de alunos envolvidos no experimento. O teste foi construído com questões de múltipla escolha extraídas da literatura existente sobre concepções espontâneas relativas ao tema força e movimento e teve um triplo propósito:

a) como instrumento capaz de detectar a existência de possíveis idéias intuitivas ligadas ao tema em questão;

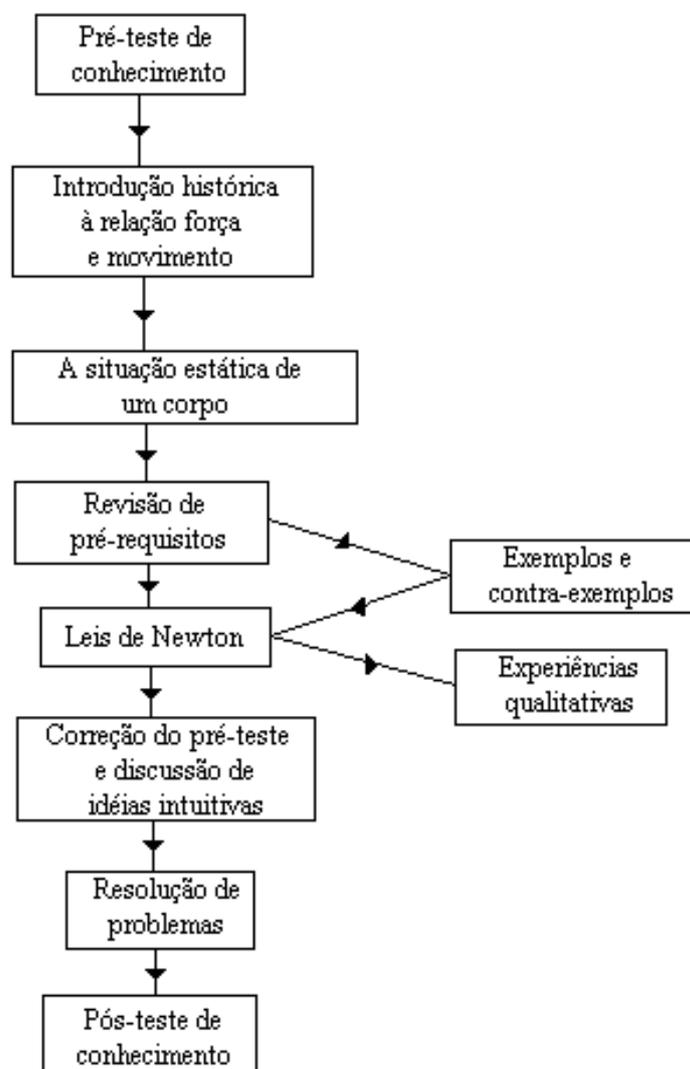


Fig. 1

b) como veículo de motivação para o estudo da unidade, na medida em que procura, ao levantar questões sobre situações familiares ao aluno, despertar a sua curiosidade para o assunto;

c) como meio de promover a conscientização, por parte dos estudantes, dos seus próprios conceitos intuitivos, de modo a fazê-los refletir sobre eles.

A correção do teste, como era de se esperar, evidenciou a existência de conceitos intuitivos entre os alunos, justificando, assim, a abordagem usada no presente estudo.

II.2 Introdução histórica à relação força e movimento

Geralmente, em cursos de mecânica, o tratamento da relação força e movimento recai diretamente nas leis de Newton. Espera-se que, com o enunciado destas leis e alguns exemplos de aplicação, o aluno esteja apto para resolver uma série de problemas e questões. Esse procedimento, no entanto, tem-se mostrado deficiente na medida em que se constata que um grande número de estudantes não utiliza o formalismo newtoniano como referencial para as suas respostas. Em detrimento da teoria física aprendida, prevalece o senso comum do aluno e toda uma classe de respostas intuitivas emerge. Nesta física alternativa, vê-se ressurgir algumas das concepções mantidas pelos gregos antigos e por filósofos da Idade Média sobre o movimento dos corpos, como a proporcionalidade entre força e velocidade na física aristotélica e a idéia de força impressa de Hiparco e Filoponos, mais tarde ampliada por Buridan na sua teoria do *impetus*. Há, assim, um certo relacionamento entre as idéias que hoje mantêm muitos estudantes e antigas concepções sobre o movimento dos corpos. O senso comum, como assinala Koyré⁽¹⁴⁾, “é – e sempre foi – medieval e aristotélico”. Dentro desse contexto, e como forma do aluno ter uma visão mais abrangente sobre o tema força e movimento e, quem sabe, a partir daí repensar algumas das suas idéias, iniciou-se a unidade de Dinâmica adotando-se uma abordagem histórica para esse assunto.

Começou-se discutindo Aristóteles (384-322 a.C.): a sua visão de um mundo finito e hierarquicamente organizado; o seu conceito de movimento, em particular o de um movimento natural, parte fundamental da sua cosmologia; a distinção física que faz entre eventos celestes e terrestres, dotando cada um deles de uma realidade física diferente; a idéia básica da física aristotélica de que é necessário uma força constantemente aplicada a um corpo para mantê-lo em movimento; a sua “lei de força” $V \propto \frac{F}{R}$, para $F > R$, que sintetiza modernamente o

pensamento de Aristóteles sobre os efeitos, na velocidade de um corpo, decorrentes do meio no qual ele se movimenta e de variações nas forças a ele aplicadas; o movimento de um projétil e a explicação da antiperistasis.

A física aristotélica é falsa, bem o sabemos. Irremediavelmente prescrita. Mas é, todavia, uma física, isto é, uma teoria altamente elaborada, ainda que não o seja matematicamente. Não é nem um prolongamento grosseiro e verbal do senso comum, nem uma fantasia infantil, mas sim uma teoria, isto é, uma doutrina que, partindo, bem entendido, dos dados do senso comum, os submete a uma elaboração sistemática extremamente coerente e severa⁽¹⁵⁾.

No entanto, a explicação de Aristóteles para o movimento de um projétil – que para os antigos parecia evidenciar um movimento sem a ação de um motor permanente – contradiz o senso comum. É difícil conceber ao meio o duplo papel que Aristóteles lhe atribuiu, ou seja, o de sustentar e ao mesmo tempo o de opor resistência ao movimento de um corpo. A partir daí, a dinâmica aristotélica (e o próprio sistema filosófico natural de Aristóteles) passou a sofrer contestações.

Com Hiparco (150 a.C.), aparece uma explicação alternativa para o movimento persistente de um corpo não mais em contato com o seu motor. Uma explicação que, novamente, procura refletir uma idéia que esteja de acordo com o senso comum, com a experiência quotidiana das pessoas. Assim, passou-se a comentar com os alunos o pensamento de Hiparco sobre o movimento vertical de um projétil arremessado para cima. Para Hiparco, no momento do lançamento, o projetor imprime ao projétil uma força que é absorvida pelo mesmo. Essa força, que vai se extinguindo à medida que o projétil se desloca, leva-o para cima enquanto for maior do que a tendência natural do corpo para baixo. A idéia básica aqui envolvida é a de que o esforço dispendido para arremessar o corpo permanece com o mesmo por algum tempo, do mesmo modo que um corpo ainda mantém-se aquecido por algum tempo, após deixar o contato com o fogo. A força transmitida ao corpo vai diminuindo, da mesma forma que o “calor no corpo” vai arrefecendo.

O movimento natural de um corpo deixado cair de uma certa altura e a sua aceleração também foi discutido com os alunos à luz das idéias de Hiparco.

A noção de força impressa, que divide com a física aristotélica a idéia de que um movimento deve ter uma causa, traz consigo um elemento novo nas considerações sobre força e movimento. Enquanto para os aristotélicos a força responsável por um movimento é externa ao objeto que se desloca, para Hiparco ela é uma força interna, que o movente adquire a partir do movedor⁽¹²⁾.

A idéia de Hiparco foi adotada por J. Filoponos no século VI e se constituiu na base da teoria do *impetus* (desenvolvida por J. Buridan e outros, no século XIV).

A teoria do *impetus* originou-se a partir de novas críticas às considerações de Aristóteles sobre o movimento de um corpo após cessado o seu contato

com o projetor. É novamente com base na experiência sensível cotidiana que os partidários dessa teoria buscam a explicação para o movimento persistente de um corpo separado do seu motor. De acordo com Buridan:

quando um movedor coloca um corpo em movimento, ele implanta nele um certo impetus, isto é, uma certa força que possibilita ao corpo se mover na direção na qual o movedor começou a movimentá-lo, seja ela para cima, para baixo, para o lado ou em círculo. É por causa deste impetus que uma pedra se movimenta depois que o lançador cessou de movê-la⁽¹⁶⁾.

Com base nessa noção, discutiu-se com os alunos as conseqüências da permanência e da dissipação deste *impetus* no movimento de um corpo; a aplicabilidade desse conceito tanto para um movimento retilíneo como para um movimento circular; a trajetória de um projétil lançado horizontalmente e também obliquamente de acordo com a concepção de Alberto da Saxônia (1316-1390).

Discutiu-se, por fim, Galileu e a sua contribuição para a formação da ciência moderna: as suas primeiras idéias sobre o movimento dos corpos e o uso que fez da dinâmica do *impetus* nas suas explicações sobre o movimento vertical de subida e de descida de um corpo sob a ação da gravidade; o seu rompimento com a tradição reinante de explicar qualquer movimento através das suas causas; o plano inclinado e a inferência, a partir de experimentos com bolas de bronze nele realizados, da hipótese de Galileu sobre a queda dos corpos com aceleração constante; o movimento neutro e a lei da inércia (circular) de Galileu.

II.3 A situação estática de um corpo

No estudo da Dinâmica, em nível de terceiro grau, casos bastante simples envolvendo a situação estática de um corpo, tais como a de um livro parado sobre uma mesa ou apoiado sobre uma mão estendida horizontalmente, recebem, geralmente, pouca ênfase em sala de aula. Um professor tipicamente diz que como as forças que agem sobre o corpo têm mesmo módulo e sentidos opostos, a sua resultante é nula e passa, a seguir, a considerar a situação dinâmica, assumindo a anterior como entendida. O enfoque dado por vários livros de texto^(17,18,19) e o fato dos alunos já terem estudado Dinâmica no segundo grau contribuem para o professor adotar essa atitude.

Minstrell⁽²⁰⁾, no entanto, através de discussões com um grupo de alunos, constatou que mesmo situações de repouso simples como as mencionadas causavam bastantes dificuldades a seus alunos. Essas mesmas dificuldades foram encontradas entre estudantes de Engenharia da UFSC, calouros e repetentes na disciplina Física I⁽²¹⁾.

Assim, tomando-se o cuidado de não considerar a situação estática como já dominada pelo aluno proveniente do ensino médio, passou-se a exemplificá-la em diversas situações.

Nos exemplos apresentados, discutiu-se:

- a) o fato de que um corpo inanimado pode, tanto quanto um animado, exercer força sobre um outro (Fig. 2(a) e (b))⁽²²⁾;
- b) situações em que as forças podem ser de contato (como as exercidas por superfícies e cordas sobre um corpo) ou não (como as forças peso e elétrica);
- c) a decomposição das forças que atuam sobre um corpo num plano horizontal e num plano inclinado (Fig. 3(a), (b), (c)) e num pêndulo (Fig. 4).

Em todos os casos procurou-se enfatizar a identificação das forças envolvidas (salientando quem as exerce) e o uso da relação $\Sigma \vec{F} = 0$.

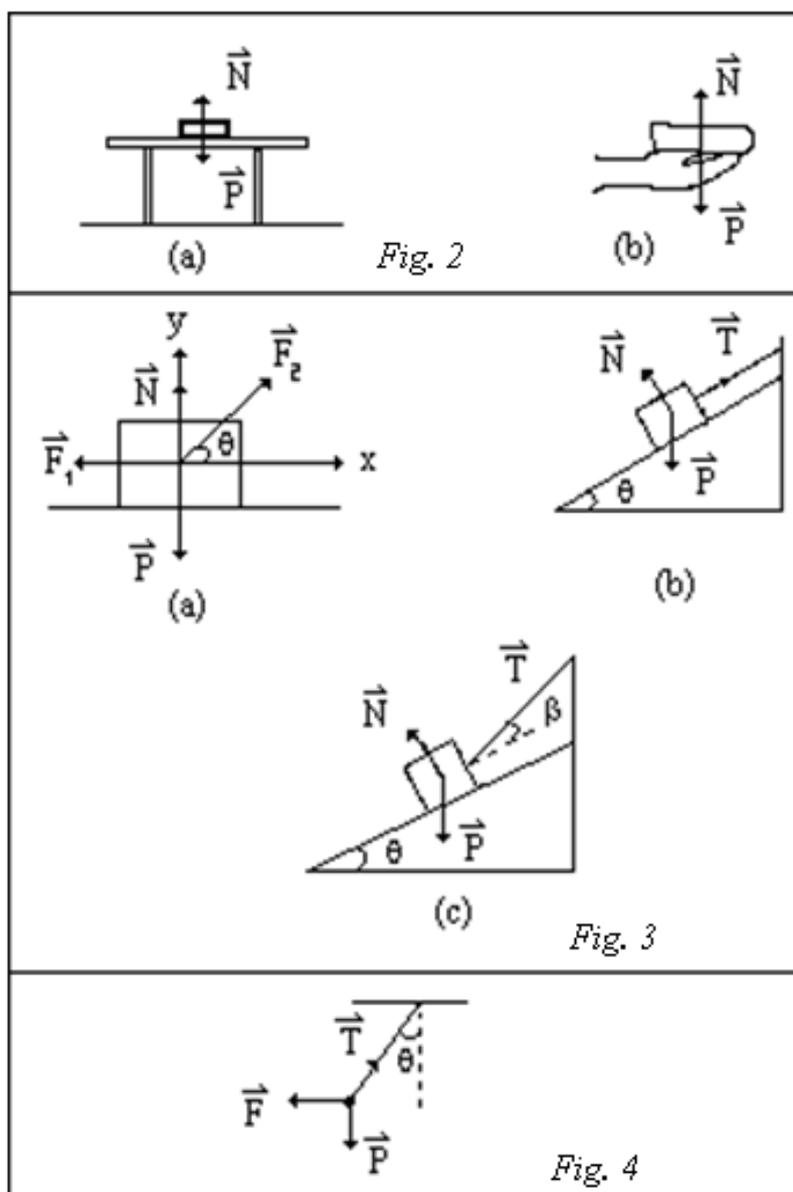
II.4 Revisão de pré-requisitos

O uso de contra-exemplos, já comentado por diversos autores, tem sido objeto de divergência quanto a sua efetividade. Zylbersztajn⁽²³⁾, em um trabalho de revisão sobre concepções espontâneas e suas implicações para o ensino, afirma que “[...] a simples apresentação de contra-exemplos (sejam eles experimentais ou teóricos), que ofereçam pontos de ruptura com os limites explicativos das noções espontâneas, pode ser de pouca efetividade no que tange à superação destas noções por parte do aluno”. No entanto, para outros, esse enfoque tem fornecido bons resultados, na medida em que parece enfraquecer a confiança dos alunos em seus conceitos prévios.

Optou-se aqui por seguir a orientação dos que, como Miguel⁽⁷⁾, defendem o uso dos contra-exemplos. Para esse autor, “identificar ou aprender um conceito consiste em generalizar entre a classe de exemplos do mesmo e discriminar entre exemplos e não-exemplos”. Segundo ele, a identificação de um conceito se realiza submetendo-se o aluno a estímulos, ou seja, apresentando exemplos ou pares de exemplos e contra-exemplos até que ele possa determinar os atributos comuns a todos os exemplos.

Um importante pré-requisito para estudar as leis de Newton é o conceito de aceleração. Como a aceleração de um corpo consiste na variação com o tempo da sua velocidade, antes de iniciar o estudo das leis de Newton, apresentouse alguns contra-exemplos do conceito de velocidade constante, para fixar as suas características. As situações discutidas com os alunos, entre outras, foram:

- a) um motorista acionando os freios de um carro em movimento em uma estrada sem curvas e horizontal;
- b) uma pedra amarrada numa corda posta a girar num plano horizontal, efetuando um movimento circular uniforme;



c) uma bola que incide perpendicularmente contra uma parede e volta na mesma direção com velocidade, em módulo, igual à incidente.

Em todas as situações apresentadas, perguntou-se aos alunos se a velocidade do corpo em questão era constante ou não. Desse modo, ressaltou-se o fato da velocidade não ser constante em cada um dos casos porque o módulo (1º caso), a direção (2º caso) e o sentido (3º caso) variavam.

A seguir, os alunos foram solicitados a se posicionar quanto à aceleração do corpo em cada uma das situações. Assim, os contra-exemplos do conceito de velocidade constante foram usados como exemplos do conceito de aceleração, de forma a enfatizar a relação entre variação de velocidade e aceleração.

II.5 Leis de Newton

1ª Lei de Newton

Na introdução histórica anteriormente realizada, os alunos tiveram a oportunidade de se deparar com aspectos de um tema que despertou a curiosidade e o interesse do espírito humano por séculos: a relação entre força e movimento.

O princípio da inércia ainda hoje é um assunto que se mostra complexo para quem estuda Física, pois a sua compreensão envolve uma importante abstração que é a desconsideração do atrito. No entanto, a presença constante do atrito nas situações do cotidiano faz com que as pessoas concluam que “o movimento de um corpo resulta da aplicação constante de força sobre ele”. Assim, quando um estudante se depara com o estudo formal da 1ª lei de Newton, ele já traz uma concepção intuitiva sobre a relação força e movimento conflitante com esta lei. Mudar essa visão não é tarefa simples e mesmo evidências experimentais (demonstrações de movimentos em massas e trilhos de ar) muitas vezes não são suficientes para que isso aconteça.

Levando-se em conta essas dificuldades e explorando noções já comentadas nas duas primeiras aulas da unidade, como a idéia de força impressa e a lei da inércia circular de Galileu, argumentou-se com os alunos que:

a) no caso de um corpo arremessado ao longo de uma superfície horizontal, depois de cessado o seu contato com o lançador, não existe nenhuma força no sentido do movimento agindo sobre o mesmo e que a força resultante sobre o corpo (o atrito) é responsável pelo término do seu movimento e não pela sua manutenção;

b) se o atrito entre o corpo e a superfície (e corpo-ar) pudesse ser totalmente eliminado, e considerando uma superfície infinita, não haveria diminuição na velocidade de lançamento do corpo e ele seguiria em linha reta, com aquela velocidade para sempre.

A atenção dada à 1ª Lei de Newton não pára aqui. Ela continua sendo discutida ao longo do procedimento experimental da unidade.

2ª Lei de Newton

A 2ª lei de Newton relaciona a força aplicada a um corpo com a aceleração nele imprimida pela ação dessa força.

Como a relação entre variação de velocidade e aceleração já foi bastante explorada anteriormente com os estudantes, coube, então, neste momento do curso, comentar-se a relação entre força e variação de velocidade. Para isso, foram aproveitadas as situações fornecidas como contra-exemplos de velocidade constante (seção 2.4). Questionou-se os alunos quanto à existência ou não de força resultante atuando em cada um dos casos. Após uma ampla discussão dos mesmos, concluiu-se que essa força é responsável pela mudança de módulo (ex. 1), direção (ex. 2) e sentido (ex. 3) da velocidade. O segundo exemplo mencionado serviu como um bom contra-exemplo para a idéia intuitiva de que “a força resultante tem mesma direção e sentido que a velocidade do corpo”.

Outro fato comentado, e que geralmente provoca muitas dúvidas entre os estudantes, diz respeito a situações em que a velocidade de um objeto é nula e a sua aceleração é diferente de zero. Esse aspecto foi abordado através dos seguintes exemplos:

- a) uma bola atirada verticalmente para cima, no ponto mais alto da sua trajetória;
- b) uma mola vertical oscilando, nos pontos de elongação máxima;
- c) um pêndulo oscilando nos pontos extremos do movimento.

Alunos que responderam na primeira situação, por exemplo, que no ponto mais alto da trajetória a aceleração era nula, foram solicitados a explicar porque o corpo não continuava parado naquele ponto. Chamou-se a atenção para o fato de que a velocidade variava em módulo desde valores positivos (supondo para cima positivo) até valores negativos, passando instantaneamente por zero, no seu ponto de inversão do movimento. Isso fez com que eles se dessem conta de que o movimento era acelerado e essa aceleração foi então relacionada à constante atuação de uma força na bola (a força peso). Discussões semelhantes foram feitas com os outros dois casos.

Com essas e outras situações, a 2ª lei de Newton foi efetuada só posteriormente (após a discussão das três leis de Newton e de conceitos intuitivos a elas associados).

3ª Lei de Newton

A 3ª lei de Newton se refere à interação mútua entre dois corpos. Ao estudá-la, enfatizou-se, através de uma série de exemplos, que as forças de ação e reação atuam sempre em corpos diferentes; desse modo, em um par ação-e-reação, há sempre dois corpos envolvidos, sendo impossível existir, na natureza, uma única força isolada (para observadores inerciais). Além disso, não há uma relação de causa e efeito entre as forças de ação e reação; ocorre apenas uma interação simultânea entre os corpos do par.

Também foi discutido que o efeito das forças de ação e reação sobre cada um dos corpos em questão pode ser diferente, dependendo das suas massas. Sob a ação dessas forças, um corpo pode entrar em movimento e o outro não, ambos se movimentarem ou ambos permanecerem parados. As seguintes situações, entre outras, permitiram exemplificar estes fatos:

a) um homem dentro de um barco, em repouso, na água e, próximo ao cais, o empurra horizontalmente com um remo. O barco, então, se movimenta afastando-se do cais. (A explicação que muitos alunos inicialmente davam a isto era que as duas forças não eram iguais em módulo, ou seja, a força no barqueiro era maior do que a no cais, visto que o barqueiro se deslocava e o cais não.)

b) dois patinadores estão de frente um para o outro com a palma das mãos encostadas. Um dos patinadores empurra o outro e, em consequência disso, eles deslizam em sentidos contrários.

c) Um homem faz uma força sobre uma parede vertical. A força de reação que a parede exerce sobre ele, no entanto, não o coloca em movimento.

Foram também discutidas situações onde a interação entre os corpos ocorre à distância; por exemplo, a atração entre a Terra e um corpo próximo à sua superfície, porém não em contato com ela (o fato de muitos livros de texto, principalmente de Ensino Médio, introduzirem força como um puxão ou um empurrão parece favorecer a idéia de que só há força quando existe contato). Chamou-se também a atenção para o fato de que as forças podem ser atrativas ou repulsivas, tais como forças entre corpos carregados com cargas de sinais contrários ou de mesmo sinal.

II.6 Discussão das idéias intuitivas

Durante as atividades em sala de aula, sempre se incentivou uma participação ativa dos estudantes na medida em que eram solicitados a expressar verbalmente as suas idéias frente a uma situação problema para somente depois debatê-las, corrigindo-as se necessário. Dessa forma, os conceitos intuitivos dos alunos já vinham sendo abordados ao longo das aulas ministradas; porém, até

então, não se tinha chamado a atenção para as características dessas concepções. Nesse estágio, colocou-se para os estudantes o que são conceitos intuitivos, como se formam, a sua frequência em um grande número de alunos das mais variadas procedências, a sua persistência frente ao ensino formal e os principais modelos intuitivos relacionados ao conceito de força. Comentou-se também com eles os resultados de algumas pesquisas de identificação de conceitos intuitivos² realizadas em anos anteriores com alunos desta mesma disciplina (Física A, para estudantes dos cursos de Química e Matemática)^(24,25) ou de disciplina semelhante (Física I, para estudantes do curso de Engenharia)⁽²⁶⁾ e também com vestibulandos da UFRG⁽⁶⁾.

Após isso, corrigiu-se o pré-teste, rediscutindo-se idéias intuitivas ainda persistentes⁽²⁷⁾. Depois da apresentação de cada questão e da frequência de respostas por eles dadas a cada item, os alunos foram solicitados, novamente, a se posicionar quanto às alternativas propostas, agora oralmente, e a justificar as suas respostas. Em algumas das questões propostas, mostrou-se o dispositivo experimental pertinente à situação-problema, de forma que o aluno previsse, ao responder à questão, o que aconteceria se uma determinada ação fosse realizada. A seguir, a experiência era feita, de modo que o aluno podia constatar se a sua previsão estava ou não correta. Observou-se, através das respostas dos alunos às questões do pré-teste e outras apresentadas, que diminuiu visivelmente a frequência de respostas a itens que evidenciavam a existência de conceitos intuitivos.

Nas duas aulas seguintes da unidade, resolveu-se problemas ilustrando a aplicação das leis de Newton.

II.7 Pós-teste de conhecimento

A unidade leis de Newton, na forma como foi estruturada no presente estudo, finaliza com a realização, pelo aluno, de um pós-teste com questões de múltipla escolha sobre conceitos intuitivos relativos ao tema estudado.

As questões do pós-teste foram inseridas na prova de avaliação da disciplina, relativa ao assunto leis de Newton.

III. Avaliação do procedimento experimental

Para efeitos de avaliação do procedimento experimental utilizado, considerou-se:

² Colocou-se à disposição, para os alunos que tivessem interesse em ler sobre o assunto, cópias de alguns artigos sobre conceitos intuitivos.

- a) o desempenho dos alunos no pré e no pós-teste;
- b) a opinião dos estudantes a respeito da maneira como o conteúdo foi ministrado;
- c) as observações realizadas em sala de aula, ao longo do experimento, feitas por um dos autores do trabalho.

III.1 Desempenho dos alunos no pré e no pós-teste

A tabela 1 mostra a média de acertos no pré e no pós-teste dos 23 alunos que participaram do experimento.³

Percentagem de acertos	
Pré-teste	19,8%
Pós-teste	68,0%

Com estes dados não se tem, obviamente, a pretensão de se estar apresentando o produto de uma análise quantitativa mais apurada sobre o efeito do tratamento experimental. Este não se constituiu, de fato, no objetivo do trabalho. Todavia, eles mostram uma sensível melhora no desempenho dos estudantes frente a questões envolvendo conceitos intuitivos. Cabe ressaltar que, no pré-teste, os alunos deveriam apenas assinalar a alternativa escolhida, enquanto que no pós-teste a questão só era considerada correta se, além de optar pelo item certo, ele também justificasse de forma correta a sua escolha.

III.2 Opinião dos estudantes

Ao final da unidade, solicitou-se aos estudantes que manifestassem a sua opinião sobre a maneira como foi abordado o assunto leis de Newton. Pediu-se a eles que se posicionassem de forma escrita, dissertativa e sem se identificar.

Os comentários feitos pelos alunos indicaram que 20/23 dos alunos gostaram do método empregado, ressaltando o uso de alguns recursos empregados, tais como transparências, experiências e textos, bem como as discussões qualitativas sobre o assunto, como bastante eficazes para a aprendizagem. Destes,

³ Computou-se apenas os estudantes que assistiram a, pelo menos, 80% das aulas da unidade.

mesmo sendo favoráveis ao método, 6/20 argumentaram que deveria se ter resolvido mais problemas como exemplos em sala de aula (é bom salientar que a quantidade desses foi igual a que teria sido feita em aulas “normais” da disciplina, nesta unidade) e 2/20, que deveria se ter discutido mais questões qualitativas. Por outro lado 3/23 não gostaram do método empregado, por achá-lo cansativo.

III.3 Observações em sala de aula

Nas aulas ministradas, os alunos foram fortemente incentivados a expressarem suas idéias sobre cada situação-problema apresentada. No início, eles demonstraram um certo constrangimento, pois suas respostas freqüentemente mostravam-se em desacordo com a mecânica newtoniana. Foi-lhes chamado a atenção, no entanto, para a importância de verbalizarem as suas concepções, mesmo que elas não fossem corretas, para que pudessem ser discutidas por todos. Ao fazerem isso, eles se deram conta de que as suas “respostas intuitivas” às questões formuladas eram compartilhadas por outros colegas. Isso contribuiu para dissipar inibições, de modo que as aulas ocorreram num ambiente bastante informal, com os alunos mais confiantes para enunciarem as suas idéias.

A participação ativa dos estudantes nas discussões realizadas colaborou para que muitos conceitos errados emergissem e, assim, se pudesse refletir mais sobre eles. Este fato certamente resultou em um maior debate das idéias e conceitos envolvidos nas leis de Newton, do que teria ocorrido se o conteúdo fosse ministrado de forma tradicional.

Durante a realização de experiências qualitativas em sala de aula, verificou-se que alguns alunos apresentaram conceitos intuitivos tão arraigados que, mesmo frente a evidências experimentais, ainda tentaram argumentar contra elas. Essa constatação é idêntica à obtida por Gunstone⁽²⁸⁾ com seus alunos ao testar a compreensão do conceito de gravidade e de outros a ele relacionados.

A introdução de aspectos históricos sobre o tema força e movimento, mostrou-se útil como ponto de referência para muitos alunos que perceberam semelhanças entre algumas das suas respostas e aspectos da teoria do *impetus* e da relação força e movimento, na física aristotélica.

IV. Considerações gerais

A forma como a unidade leis de Newton foi estruturada, enfatizando a discussão de conceitos e o debate das idéias dos estudantes, promoveu um maior aprofundamento conceitual de inúmeros aspectos relacionados a essas leis. Mostrou-se, também, bastante motivadora, haja visto que provocou uma participação maior e mais ativa dos alunos às aulas do que nas unidades restantes da disciplina (ministradas de forma tradicional).

O fato de muitos alunos compararem as suas concepções com aspectos da teoria do *impetus* e da física aristotélica, indica uma importante contribuição que a História da Ciência tem a oferecer ao ensino, na medida em que possibilita ao aluno repensar algumas de suas idéias quando constata que determinadas crenças que possui, conflitam com o que é aceito atualmente pela Ciência.

A realização de experiências qualitativas em sala de aula, provocando muitas vezes o “conflito cognitivo”, na medida em que as previsões dos alunos não concordavam com as suas observações, bem como o uso de exemplos e contra-exemplos, que tinham por finalidade enfraquecer a confiança dos alunos nos seus conceitos prévios, foram componentes relevantes dentro da estratégia desenvolvida para favorecer a mudança conceitual.

Outra variável considerada no delineamento do presente estudo foi o tempo disponível para desenvolver as atividades previstas. As dez aulas utilizadas excederam às seis normalmente empregadas para o tratamento desta unidade em um curso tradicional⁴. Com isso, não foi incluído nenhum enfoque especial em relação ao item resolução de problemas. As dificuldades dos alunos nesta área, como era de se esperar, foram constatadas nas aulas de problemas e na prova da disciplina. Ao manifestarem a sua opinião sobre o curso ministrado, alguns alunos apontaram a necessidade de uma ênfase maior à resolução de problemas. Isso parece mostrar que eles sentiram falta de que fosse dado, também a esta área, um tratamento especial. Cabe ressaltar que o estudo de inúmeros aspectos ligados à resolução de problemas em Física tem aberto uma fértil, e ainda pouco explorada, área de pesquisa. A investigação e o ensino de habilidades necessárias à compreensão de uma equação⁽²⁹⁾; o estabelecimento e sugestões de estratégias com a finalidade de orientar o aluno em relação a algumas importantes etapas envolvidas na solução de problemas^(29,30); a decomposição de problemas em sub-problemas como forma de abordagem a problemas complexos⁽³¹⁾; a reformulação de problemas que normalmente se encontram nos livros de texto, com a finalidade de fazer o aluno discutir mais a situação física envolvida⁽⁸⁾, etc., exemplificam a potencialidade e a complexidade desta área de investigação.

V. Conclusões

O presente estudo partiu das concepções espontâneas dos alunos ao delinear um conjunto de atividades que teve por objetivo favorecer a mudança de um conjunto de conceitos (intuitivos) para outro (o aceito pela Ciência). A abordagem de aspectos relativos à História da Ciência, a introdução de experiências

⁴ Na unidade experimental, o atrito foi discutido somente de forma qualitativa. As equações pertinentes foram abordadas na unidade seguinte.

qualitativas, o uso de contra-exemplos, a discussão com os alunos de seus conceitos intuitivos e do papel que eles desempenham na aprendizagem formal, juntamente com o estímulo à participação ativa do estudante em sala de aula, incentivado a exprimir o seu pensamento num ambiente informal, foram componentes de uma estratégia de ensino que visou promover a aprendizagem dos conceitos e princípios estudados. A retomada cíclica às discussões dos conceitos mais fundamentais foi outro importante elemento considerado nesse contexto como ressalta Driver⁽²⁾ “[...] não se pode pensar que as pessoas modifiquem, em uma ou duas horas, idéias que desenvolveram ao longo da sua existência”.

O melhor desempenho dos estudantes no pós-teste em relação ao pré-teste, a opinião amplamente favorável dos alunos em relação à unidade experimental e as observações em sala de aula durante o experimento apontaram favoravelmente em relação ao procedimento adotado.

Uma maior ênfase à parte conceitual deve, no entanto, ser complementada com uma especial atenção a outra importante área – a resolução de problemas. Entretanto, os currículos de cursos com disciplinas de Física básica prevêem um tempo bem aquém do exigido para que se possam efetuar mudanças mais aprofundadas em relação ao ensino usual. Faz-se, assim, necessário repensar o número de créditos de disciplinas introdutórias de Física para que sejam viáveis modificações que certamente contribuam para diminuir as repetências, motivar os alunos, minimizar suas frustrações e ensiná-los de maneira mais efetiva.

VI. Agradecimento

Os autores agradecem ao professor Rolando Axt pela leitura e sugestões apresentadas.

VII. Notas e Referências Bibliográficas

1. VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. **Eur. J. Sci. Educ.**, v. 1, n. 2, p. 205-21, 1979.
2. DRIVER, R. Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. **Enseñanza de las Ciências**, v. 4, p. 3-15, 1980.
3. SOLIS VILLA, R. Ideas intuitivas y aprendizaje de las ciencias. **Enseñanza de las Ciências**, v. 2, n. 2, p. 83-9, 1984.

4. VILLANI, A.; PACCA, J. L. A.; KISHINAMI, R. I.; HOSOUME, Y. Analizando o ensino de física: contribuições de pesquisas com enfoques diferentes. **Rev. Ens. Fis.**, v. 38, n. 3, p. 24-51, 1982.
5. CLEMENT, J. Student's preconceptions in introductory mechanics. **Am. J. Phys.**, v. 4, n. 1, p. 66-71, 1982.
6. AXT, R. Conceitos intuitivos em questões objetivas aplicadas no concurso vestibular unificado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Ciênc. e Cult.**, v. 38, n. 3, p. 444-52, 1986.
7. MIGUEL, O. Analisis comportamental de las leyes de Newton. **Enseñanza de las Ciências**, v. 4, n. 1, p. 51-5, 1986.
8. GIL PÉREZ, D.; TORREGROSA, M. J. A. A model for problem solving in accordance with scientific methodology. **Eur. J. Sci. Educ.**, v. 5, n. 4, p. 447-55, 1983.
9. PEDUZZI, L. O. Q. Solução de problemas e conceitos intuitivos. **Cad. Cat. Ens. Fis.**, v. 4, n. 1, p. 17-24, 1987.
10. GILBERT, J. K.; ZYLBERSZTAJN, A. A conceptual framework for science education: the case study of force and movement. **Eur. J. Sci. Educ.**, v. 7, n. 2, p. 107-20, 1985.
11. DRIVER, R. **The pupil as a scientist** (Trabalho apresentado na conferência GIREP, Rehovot – Israel, 1979.)
12. PEDUZZI, L. O. Q. **Força e movimento: das idéias de Aristóteles a Galileu**. Florianópolis, UFSC, 1988. (Texto mimeografado em versão preliminar.)
13. POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W.; GERTZOG, W. A. Accomodation of a scientific conception: toward a theory of a conceptual change. **Sci. Educ.**, v. 66, n. 2, p. 211-7, 1982.
14. KOYRÉ, A. **Estudos de história do pensamento científico**. Brasília, Universidade de Brasília, 1982.
15. KOYRÉ, A. **Estudos galilaicos**. Lisboa: publicações Dom Quixote, 1986.
16. McCLOSKEY, M. Intuitive physics. **Sci. Amer.**, v. 248, n. 4, p. 114-22, 1983.

17. HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Física**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e científicos, 1984. v. 1.
18. SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W. **Física**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. v. 1.
19. McKELVEY, J. P.; GROTCHE, H. **Física**. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1979. v. 1.
20. MINTRELL, J. Explaining the “at rest” condition of an object. **Phys. Teach.**, v. 20, n. 1, p. 10-4, 1982.
21. PEDUZZI, S. S.; PEDUZZI, L. O. Q. O repouso de um objeto. (Comunicação apresentada na 36ª Reunião Anual da SBPC, São Paulo – SP, julho de 1984.)
22. Estudos, como os citados nas referências 2 e 20, mostram que muitos alunos acreditam que objetos imóveis não podem exercer força sobre outros.
23. ZYLBERSZTAJN, A. Concepções espontâneas em física: exemplos em dinâmica e implicações para o ensino. **Rev. Ens. Fis.**, v. 5, n. 2, p. 3-16, 1983.
24. PEDUZZI, L. O. Q.; PEDUZZI, S. S. O conceito intuitivo de força no movimento e as duas primeiras leis de Newton. **Cad. Cat. Ens. Fis.**, v. 2, n. 1, p. 6-15, 1985.
25. PEDUZZI, L. O. Q.; PEDUZZI, S. S. Força no movimento de projéteis. **Cad. Cat. Ens. Fis.**, v. 2, n. 3, p. 114-27, 1985.
26. PEDUZZI, S. S.; PEDUZZI, L. O. Q. Movimento em um plano inclinado: forças e idéias intuitivas. (Comunicação apresentada na 38ª Reunião anual da SBPC, Curitiba-PR, julho de 1986.)
27. Retomar ciclicamente a discussão de alguns conceitos, segundo Posner e colaboradores⁽¹³⁾, favorece a acomodação dos mesmos. A acomodação é um processo radical de mudança conceitual. No entanto, isto não quer dizer que este processo seja abrupto; ele se dá pouco a pouco, de forma gradual.
28. GUNSTONE, R. F.; WHITE, R. T. Understanding of gravity. **Science Education**, v. 65, n. 3, p. 291-9, 1981.

29. REIF, F.; LARKIN, J. H.; BRACKETT, G. C. Teaching general learning and problem-solving skills. **Am. J. Phys.**, v. 44, n. 3, p. 212-7, 1976.

30. PEDUZZI, L. O. Q.; MOREIRA, M. A. Solução de problemas em Física: um estudo sobre o efeito de uma estratégia. **Rev. Bras. Fis.**, v. 11, n. 4, p. 1067-83, 1981.

31. REIF, F. Teaching problem solving: a scientific approach. **Phys. Teach.**, Maio, 1981.

PENSE E RESPONDA!

Como podemos determinar o coeficiente de atrito estático entre um bloco de madeira e a superfície sobre a qual ele está apoiado, utilizando apenas uma régua? Suponha que o bloco de madeira tem a forma de um paralelepípedo, com uma das dimensões bem maior que as outras duas, conforme figura.

