

Representações Mentais e Experimentos Qualitativos

(Mental representations and qualitative experiments)

Alberto Villani*

*Instituto de Física, Universidade de São Paulo
Caixa Postal 20516, 01498-970 São Paulo, SP, Brasil*

L. Orquiza de Carvalho†

*Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista
Campus Ilha Solteira, SP, Brasil*

Recebido em 15 de Janeiro de 1993; Aceito em 08 de Outubro de 1993

Resumo

O artigo relata os resultados de uma pesquisa de tipo qualitativo com estudantes de segundo grau referente às relações entre representações espontâneas e experimentos simples sobre colisões em mecânica. Chama-se atenção para a ambiguidade do comportamento dos estudantes frente aos experimentos propostos; em algumas situações, os estudantes descreviam as colisões com pouca precisão, salientavam aspectos perceptíveis cientificamente pouco significativos ou atribuíam pouca relevância aos eventos mais significativos. Em outras situações a familiarização com a experimentação e com a observação dos resultados e a surpresa frente a casos inesperados provocaram o aprofundamento da reflexão e o crescimento intelectual dos estudantes. Tratamos aqui de interpretar esta diferença de comportamento.

Abstract

The article reports the results of a qualitative research with secondary students related to the relations between spontaneous representations and simple experiments about collisions in mechanics. We pay attention to the students' ambiguous behaviour in their explanations about experiments. Sometimes they described collisions with little precision, they focussed aspects with little scientific meaning or neglected meaningful events. Sometimes the familiarity with the experiments and the surprise element in some results provoked the deepening of their reflexion and the growth of their understanding. We propose an interpretation of the difference in these students' behaviours.

I. Introdução

As pesquisas sobre as concepções alternativas já têm duas décadas de tradição (Driver, 1973; Malgrange et al., 1973); seus resultados publicados fornecem informações sobre as concepções alternativas dos estudantes de todos os níveis, e até de professores, numa grande variedade de áreas científicas. Nesta linha de pesquisa a educação científica é concebida como um desenvolvimento ou uma mudança conceitual, que tem como

ponto de partida as concepções iniciais dos aprendizes, e como ponto de chegada, as concepções científicas pretendidas. O levantamento dos caminhos cognitivos dos estudantes e dos mecanismos intelectuais de mudança conceitual bem como a elaboração de estratégias adequadas de ensino constituem, para os pesquisadores da área, uma tarefa fundamental ainda bem longe do esgotamento. Um dos pontos que têm gerado discussões e até polemicas, é o papel do laboratório na promoção das mudanças pretendidas, e mais em geral, no incentivo da educação em ciência.

*Com auxílio parcial do CNPq.

†Com auxílio parcial da CAPES.

Muitos pesquisadores tem chamado atenção sobre a necessidade de promover o envolvimento dos estudantes com os experimentos, alegando razões de vária natureza: a capacidade de tornar plausíveis, mediante exemplos experimentais, princípios teóricos pouco intuitivos; a possibilidades de promover conflitos cognitivos mais significativos para os estudantes; a necessidade de construir conhecimentos a partir de situações concretas; a possibilidade de encontrar situações mais complexas do que os problemas simplificados propostos nas aulas de teoria; a necessidade de estabelecer uma relação correta entre teoria e laboratório introduzindo a idéia de incerteza experimental, etc.. Num congresso recentemente realizado na Alemanha sobre formação de professores de Física (Nachtigall, 1992), a grande maioria dos participantes sublinhou o esforço realizado em seus países para que os professores utilizem abundantemente o laboratório em suas aulas. Por exemplo, uma das idéias básicas que nortearam a proposta de Zollman (1992) é de que "os estudantes deveriam enfrentar suas concepções mediante atividade manuais"; Talisayon (1992) sugeriu que "experimentos e demonstrações sejam feitas pelos estudantes antes da apresentação dos conceitos e das leis físicas"; Bransky (1992), na mesma linha, afirmou que as aulas para professores de primeiro grau "iniciam com uma instrução escrita direcionada para como realizar um experimento e colocando questões que orientem os professores a analisar seus resultados corretamente"; Dediwalage (1992), para organizar o currículo no Zimbábwe partiu do lema, altamente significativo: "Escuto = Esqueço :: Vejo = Posso Lembrar :: Faço = Posso Entender".

Apesar de estarem convencidos da importância das atividades experimentais, os docentes que as utilizam abundantemente em sua prática didática tem consciência de que a experimentação está longe de constituir a panacéia para o ensino de física; a aprendizagem dos estudantes parece sujeita a limitações e ambiguidades, que tornam o problema digno de ser analisado mais cuidadosamente. Vários autores (Buckwald, 1977; Reif & St John, 1979; Hofstein & Lunetta, 1982; Hodson, 1985; etc.) têm chamado a atenção sobre o fato de que os resultados das classes de laboratório são habi-

tualmente pouco satisfatórios, tanto do ponto de vista dos estudantes como da perspectiva do professor. Nersessian (1989) sugere que a crença entorno das necessidade de maiores experimentos de laboratório para os estudantes é baseada na hipótese implícita de que "o método científico implica primariamente indução dos dados" e de que "se os estudantes tiverem os dados corretos, eles reconhecerão quando esses conflitam com suas concepções"; para ela ambas essas hipóteses foram severamente desafiadas pela filosofia da ciência contemporânea e pelos resultados das pesquisas sobre mudança conceitual, e conseqüentemente a função dos experimentos deve ser reanalisada. Dois pontos parecem implícitos em toda essa discussão: de um lado, ninguém questiona que os estudantes de primeiro e segundo grau tenham que se confrontar de alguma maneira com atividades experimentais; de outro lado, existem poucos dados empíricos sobre os mecanismos intelectuais utilizados pelos estudantes quando são convidados a realizar ou observar e a explicar os resultados de uma determinada experiência.

Numa pesquisa por nós realizada na Universidade de São Paulo e na Universidade Estadual Paulista, que constitui parte de um projeto de elaboração de estratégias para fomentar a mudança conceitual de estudantes de segundo grau sobre os princípios de conservação em mecânica, procuramos focalizar a influência dos experimentos na aprendizagem dos estudantes, e as maneiras destes enfrentarem ou evitarem os conflitos ao lidar com informações empíricas novas. Neste trabalho apresentaremos e discutiremos os resultados da análise das primeiras duas entrevistas realizadas com seis estudantes, focalizando suas perspectivas e suas reações frente a experimentos qualitativos simples sobre colisões. Comparando os comportamentos dos estudantes, salientaremos dois aspectos: a representação inicial de cada estudante referente aos experimentos propostos e seu envolvimento intelectual a partir das atividades experimentais e dos questionamentos da entrevistadora (L.O.C.).

A Pesquisa

A pesquisa relatada neste trabalho consistiu de duas

entrevistas com duração entre 60 e 90 minutos, em parte registradas em áudio (as primeiras quatro) e em parte em vídeo (as restantes), durante as quais a entrevistadora alternadamente mostrava experimentos simples sobre colisões, pedia previsões e possíveis explicações sobre os resultados, questionava as respostas e, às vezes, dava informações que considerava importantes para auxiliar o envolvimento intelectual dos estudantes.

A População

A população objeto de nossa pesquisa era composta de seis estudantes de segundo grau, escolhidos entre os conhecidos da entrevistadora, segundo um critério de comodidade e com o compromisso de realizar uma série de entrevistas sobre Física, para poder garantir uma certa continuidade do trabalho.

CE: Na época da entrevista tinha dezoito anos e era estudante do Colégio Técnico de Computação ligado à Universidade Estadual; ela já tinha estudado o conteúdo de Mecânica. Também já tinha observado na sala de aula ou na TV alguns dos experimentos apresentados. Seus pais tinham nível escolar de segundo grau. Suas entrevistas, que foram as primeiras a serem realizadas, foram gravada somente em áudio; além disso, uma parte relativamente pequena da gravação foi involuntariamente destruída.

THA: Tinha dezessete anos e também era estudante do último ano do Colégio Técnico de Computação vinculado à Universidade Estadual. Seus pais tinham nível escolar de segundo grau. Ela já tinha estudado o conteúdo de Mecânica, e, em particular, já tinha observado alguns dos experimentos apresentados. Os colegas a consideravam uma aluna muito estudiosa e inteligente. Também suas entrevistas foram gravadas em áudio.

NA: Era um estudante de dezessete anos que frequentava o último ano do segundo grau de uma escola particular; seus pais tinham nível universitário. Já tinha estudado o conteúdo de Mecânica, mas não tinha tido muita familiaridade com os experimentos. Ele era considerado pelos professores e colegas um aluno muito brilhante.

PA: Era um estudante de quinze anos que frequen-

tava o primeiro ano do curso de segundo grau numa escola particular. Seus pais tinham nível escolar universitário. Ele tinha acabado de estudar as Leis de Newton, mas não os Princípios de Conservação da Mecânica. Já tinha observado na sala de aula alguns dos experimentos apresentados na entrevista.

FE: Tinha vinte e dois anos e estava frequentando o cursinho para o vestibular. Anteriormente ele sempre tinha estudado numa escola pública de tipo técnico, na qual seu contato com a Física era nulo. Seus pais tinham nível escolar elementar. Seu interesse em discutir os experimentos e aprender sobre eles e sobre as fórmulas correspondentes era muito grande.

DA: Tinha dezenove anos e estava tentando entrar na faculdade de Biologia. Tinha estudado física numa escola pública do interior, tinha terminado seus estudos de segundo grau há mais de um ano. Anteriormente não tinha visto nenhuma das experiências apresentadas durante a entrevista. Seus pais tinham nível escolar elementar. Durante sua segunda entrevista houve um erro de gravação tornando-a praticamente pouco utilizável.

Os Experimentos

A análise e o confronto dos comportamentos dos estudantes, que será o objeto deste trabalho, foi caracterizado pela relativa homogeneidade do roteiro utilizado pela entrevistadora durante as entrevistas; ela propôs os mesmos experimentos para serem analisados e comentados pelos estudantes, e, conseqüentemente, as reações dos estudantes referem-se praticamente às mesmas situações.

Durante as entrevistas foram utilizados vários aparatos experimentais, que cada estudante podia manipular, repetindo as experiências propostas ou modificando as situações a vontade.

O aparato experimental I consistia de um conjunto de pêndulos, constituídos de bolas de aço de 50g (M) ou 100g (G) suspensas na mesma estrutura (fig 1). As bolas podiam ser removidas deixando somente duas delas para interagirem no aparato. Isso possibilitava a realização de vários tipos de colisões: em p1 (M-M), p4 (M-G) e p-5 (G-M) o alvo estava inicialmente em repouso na vertical e o projétil era largado de uma de-

terminada altura; p-2 e p-3 eram colisões de bolas iguais largadas da mesma altura (p-2) ou de alturas diferentes (p-3).

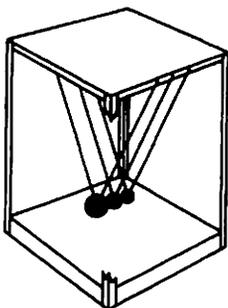


Figura 1. Aparato experimental I.

O aparato experimental II (fig 2) consistia de uma canaleta plana e de um conjunto de bolinhas de aço de 25g (P) 50g (M) e 100g (G). Vários experimentos podiam ser realizados, variando a massa do projétil ou do alvo, e variando a maneira de lançamento de modo que as bolas deslizassem ou rolassem sobre a canaleta: em c-1 (G-G), c-3 (G-M) e c-5 (M-G) o alvo estava inicialmente em repouso e o projétil era lançado contra ele deslizando; em c-2 (G-G), c-4 (G-M) e c-6 (M-G) as situações anteriores eram modificadas unicamente pelo movimento de rolamento do projétil; c-8 e c-9 correspondiam a choques frontais de bolas iguais (G-G) lançadas com mesma velocidades deslizando (c-8) ou rolando (c-9). Finalmente em c-7 o alvo era constituído de 6 bolinhas de 25g encostadas uma na outra em repouso e o projétil também era uma bolinha de 25 g.

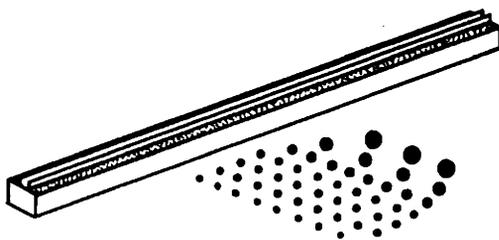


Figura 2. Aparato Experimental 2..

O aparato experimental III consistia de algumas bolas de massa de modelar, borracha maciça, borracha leve e aço e de plaquetas de massa de modelar, espuma e madeira. Com elas eram realizados choques elásticos e anelásticos.

Finalmente o aparato experimental IV era formado de dois carrinhos de massa 100 g com um disparador a mola, alguns blocos de 100 g e um guia com um suporte. Com eles era possível realizar exemplos de explosões (t-2 e t-3) ou um choque anelástico (t-1).

No Apêndice são apresentadas as figuras referentes a cada situação experimental e é fornecido o resultado de cada experimento a partir de uma análise teórica do mesmo.

Nesta primeira parte do trabalho mostraremos que os estudantes observavam e interpretavam os experimentos salientando os aspectos mais perceptíveis e elaborando modelos correspondentes; por isso, pareciam encontrar, em várias circunstâncias, muitas dificuldades em operar uma leitura cientificamente significativa dos mesmos e em atribuir-lhes um valor e uma função adequada para o crescimento de seu conhecimento; entretanto, paradoxalmente, em outras ocasiões, eles pareciam aceitar os resultados experimentais e se envolviam na suas tentativas de explicações, atribuindo aos experimentos um grande poder de questionamento dos seus conhecimentos ou das suas suposições teóricas. Assim, a relação estudante-experimento, pelo menos quando estão em jogo experimentos qualitativos, pode ser caracterizada como essencialmente ambígua, no sentido

que os resultados experimentais, pareceram, ou levar os estudantes a impasses no desenvolvimento de seu conhecimento científico, ou ser incorporados pelos estudantes como estímulo intelectual altamente desafiador e capaz de provocar uma reestruturação, pelo menos parcial, de seus conhecimentos.

Tentaremos também interpretar as dificuldades dos estudantes e seus impasses, assim como seus sucessos a partir de suas representações mentais e das características dos experimentos.

As dificuldades

Um primeiro aspecto que chamou nossa atenção ao analisar o comportamento e a perspectiva dos estudantes frente aos experimentos, foi sua dificuldade na escolha e na observação dos detalhes cientificamente importantes das experiências.

As Variáveis Significativas

O caso mais evidente, talvez extremo, de dificuldade na tarefa de observar o choque entre duas bolas de aço aconteceu quando a entrevistadora pediu para FE realizar o experimento p-4 e descrevê-lo em detalhe. O diálogo que transcrevemos é altamente revelativo do descompasso entre a expectativa da entrevistadora e o desempenho do estudante.

E. "Solta a bola pequena (no experimento p-4). O que aconteceu? Repete quantas vezes você sentir necessário para poder descrever o que aconteceu. Só olha o primeiro choque."

FE. "A incidente vai se chocar, quer dizer ela vai movimentar essa (o alvo), mas não vai ser (atingir) com a mesma altura... Vai ser uma altura menor. Ai ela vai bater aqui, bato nessa (Mostra a bola pequena). Essa (a grande) pára o essa daqui (a pequena) só fica chocando com a outra (faz gestos indicando batidas sucessivas da pequena na grande).

E. "Se precisar repetir, você repete. O que aconteceu com a incidente depois que ela empurrou a outra? Ela parou?"

FE. "Ela movimentou".

E. "Mas ela continuou ou voltou?"

FE. "Ela... (repetiu p-4). Não, ela não... Ela voltou novamente. A grande volta e ela (a incidente) bate e fica so batendo."

E. "Mas antes da grande voltar? Isso que eu estou perguntando."

FE. "Ela não vai sair daí".

FE não conseguiu distinguir em sua observação o que acontecia com a bola incidente depois do primeiro choque; provavelmente sua atenção era presa ao movimento do alvo. Este tipo de comportamento foi geral para este estudante durante a primeira entrevista; suas respostas eram sempre mais globais e menos precisas do que o esperado e muitas vezes ele chamou atenção para detalhes que tinham uma relação muito pouco relevante com o objeto em discussão.

Uma outra situação na qual a observação de determinadas variáveis tornou-se obstáculo para a compreensão do experimento apresentado ocorreu nas experiências que envolviam a canaleta, quando os estudantes eram convidados a diferenciar e repetir os experimentos com a bolas incidente deslizando (c-1 ou c-5) e rolando (c-2 ou c-6). A atenção era atraída sistematicamente pelas condições de lançamento, em detrimento das características do movimento das bolas.

Para DA a diferença essencial entre c-1 e c-2 era a "força dada a bola incidente"; ela tinha reparado que em c-2 "o lançamento era fraco", em c-1 "era forte", mas ela não conseguia reproduzir os dois experimentos. Também para CE a diferença estava "em jogar com pouca força" ou em "colocar mais determinação na hora de empurrar a bola; ela também não conseguiu repetir os experimentos c-1 e c-5, até descobrir que o problema essencial era impedir o rolamento da bola incidente. Para THA a situação foi mais confortável; apesar de distinguir os dois casos como "jogar rápido" ou "jogar devagar" e considerar que os efeitos diferentes nos alvos eram devidos ao "atrito maior ou menor", ela conseguiu logo repetir os experimentos. Entretanto, a explicação que enveredou pelo lado da força de lançamento da bola incidente, ficou sem uma conclusão satisfatória. Também para NA a diferença entre c-1 e c-2 era uma questão de "velocidade de lançamento", que permitia à bola incidente

“passar a velocidade para a outra”, analogamente ao que acontecia em p-1. A descoberta da analogia entre c-1 e p-1 pareceu satisfazer o estudante; a razão pela qual no caso c-2 (lançamento com pouca velocidade) esta passagem total não acontecia não pareceu incomodar o estudante e ele não voltou ao assunto. PA identificou a diferença entre os dois tipos de experimentos “na intensidade do empurrão”, que provocava um “atrito menor”, mas percebeu que as explicações eram insatisfatórias. Finalmente, ao analisar c-5 identificou a volta da incidente como devida a presença de “uma força maior” do que em c-6, e pareceu satisfeito com a explicação; argumento idêntico foi utilizado por DA, que acoplou uma maior reação do alvo a uma maior força da incidente.

FE teve maiores dificuldades para localizar a diferença entre c-1 e c-2, pois no início ele confrontou ambas as experiências com p-1, diferenciando esta última e observando detalhes bem diferentes dos focalizados pela entrevistadora. Após observar várias vezes os dois experimentos, finalmente ele concluiu que em c-1 a entrevistadora “estava usando uma força maior” e conseguiu repetir c-1 e c-2. Em seguida ele observou que em c-2 “deixou a bola rolar” ao passo que em c-1 usou “um golpe violento” de modo que a bola veio “tipo uma bala de revólver que vai buscar o alvo”. Mas confessou que não entendia e não sabia explicar a diferença entre os dois processos.

De modo geral as explicações dadas pelos alunos sobre as diferenças entre c-1 e c-2 deixaram claro que, para eles, tratava-se de um mesmo tipo de experimento cujas características se reduziām a uma questão de mais ou menos velocidade ou força de lançamento. Ao contrário a diferença entre p-1 e c-1 chamou a atenção de todos, pois em p-1 acontecia um “choque-gravidade” e em c-1 “um choque-superfície”.

Para CE a presença da força da gravidade no pêndulo obrigava a bola a ir para baixo, num movimento diferente daquele na canaleta. Para NA a bola incidente parava no ponto mais baixo da trajetória

“porque ia ter uma força (da gravidade) sobre ela”. PA explicitou uma idéia análoga: a força da gravidade “que puxou a bola para cá foi a mesma que ela passou quando bateu na outra. Daí, ela subiu”. Inclusive a bola incidente, “ao chegar com mais peso do que a que estava parada” permitiu que esta atingisse a mesma altura. Para FE o experimento p-1 era diferente de c-1 “pois o choque vai ser maior, por causa da altura” em que foi solta e também por causa do “desgaste na canaleta”. Para DA a presença do peso explicava “a força crescente” da bola ao longo da trajetória e impedia que no pêndulo pudessem ser produzidos os dois tipos de movimentos experimentados na canaleta.

Uma outra característica observada nos choques do pêndulo era que as bolas saiam e voltavam por causa do cordão, ao passo que na canaleta elas se afastavam definitivamente. Quando era pedido aos estudantes descrever os movimentos das bolas antes e depois do choque, era natural para eles descrever todos os movimentos e os consequentes choques até as bolas pararem. Na primeira tentativa de explicação de DA sobre o resultado de p-1, ela disse que a ação da bola incidente fazia o alvo adquirir velocidade, e a reação deste na volta fazia o mesmo com a incidente. Também comentou o resultado de p-5 dizendo que a incidente voltava, após o choque, sem perceber que isso acontecia em ocasião do segundo choque. A multiplicidade das colisões parecia fazer parte essencial do “choque-gravidade”.

Ao caracterizar o “choque-superfície” PA chamou atenção imediatamente para o atrito com a canaleta, que, diferentemente do caso p-1, impediria à incidente de parar. THA também observou a existência de atrito com a superfície, mas principalmente no caso de c-2. FE localizou a presença de um espaço inicial entre as bolas, maior que no pêndulo; provavelmente ele estava relacionando este espaço com o desgaste do movimento na canaleta ou com os choques múltiplos nos pêndulos. Finalmente uma expectativa comum relacionada com o “choque-superfície” entre bolas iguais foi de que a bola

incidente iria continuar; CE, THA e PA fizeram esta previsão para c-1 com muita convicção.

Um outro confronto interessante realizado pelos estudantes foi entre os choques de bolas de diferentes materiais. Unanimemente eles reconheceram a existência de duas categorias: as bolas de massinha que, após o choque, permaneciam deformadas, impedindo inclusive o afastamento entre alvo e incidente, e as bolas de borracha que, apesar de deformarem, logo voltavam a forma normal devolvendo o movimento inicial as bolas. Todos os que analisaram a possível deformação das bolas de aço admitiram inicialmente que elas não deformavam. Para DA as bolas de aço não eram elásticas, pois não deformavam, mas elas voltavam após a colisão com a mesa "por causa do peso". Para CE em caso de deformação as bolas de aço não voltariam à forma normal, por isso as considerou do mesmo tipo das de massinha. NA reconheceu que as bolas de aço apesar de não deformarem, tinham uma "capacidade de transmitir o impacto" explicando dessa forma os experimentos p-2 e c-8. Enfim, para os estudantes não pareceu significativo, no início da entrevista, relacionar o movimento após o choque com o tipo de deformação.

Focalização do Choque

Um outro ponto muito delicado, que mostrou a diferença entre a visão espontânea dos estudantes e a visão disciplinar, foi constituído pela maneira de focalizar e caracterizar o choque.

Para FE, DA e CE descrever o choque do experimento p-1 significava falar de todos os choques e dos movimentos das bolas até o momento da parada de ambas. CE também não conseguiu entender o que queria dizer a entrevistadora quando se referia "ao que acontece durante o choque". E ficou um bom tempo sem entender. THA, que se referia com naturalidade às leis de Newton, achou estranho a entrevistadora perguntar sobre "as forças na hora da colisão"; também para ela a focalização do estado intermediário de duração muito curta (o da interação entre as bolas) parecia fazer pouco sentido.

Uma possível confirmação da dificuldade de focalizar o momento do choque pode ser dada pela tendência dos alunos em ver o choque de bolas de aço iguais como se fosse o movimento contínuo de uma única bola. Por exemplo, NA durante uma descrição sobre os comportamentos das bolas em p-1 trocou a bola incidente com o alvo e PA, pretendendo comparar o movimento dos projéteis após o choque em t-1 e c-1, acabou se referindo ao carrinho (o projétil) que diminuiu sua velocidade em t-1 e à bola (o alvo) que saía com a mesma velocidade do projétil em c-1.

Influência do Modelo Teórico

A ausência de um referencial teórico disciplinar pode explicar muito bem a dificuldades dos estudantes, durante a observação dos experimentos, em localizar as variáveis relevantes que diferenciavam os experimentos ou em privilegiar os eventos mais importantes, como o momento do choque. Mas isso não significa que os estudantes observassem os experimentos sem um referencial. Para CE a idéia de que durante um choque a energia nunca é passada totalmente era integradora e fundamental. Por isso ela focalizou detalhes considerados desprezíveis pela entrevistadora, como o pequeno movimento da bola incidente no experimento p-1; aliás a estudante revelou uma capacidade grande de evocar e unificar experimentos diferentes para confirmar sua idéia inicial. Para ela, no caso de p-1 a energia não passava totalmente do projétil para o alvo porque a bola incidente "voltava" um pouco ou "vibrava" ou ainda "balançava". No exemplo, por ela citado, de colisão de um carro com um poste a energia não passava porque o carro "amassava"; no caso de uma bolinha de gude, porque "a incidente era desviada de sua trajetória".

A idéia de que nem toda a energia passava para o alvo constituiu para CE um vínculo ainda mais pesado na observação do experimento p-2, quando ela negou decisivamente que as duas bolas após o choque voltassem à mesma altura; no início justificou que "a energia foi gasta no choque", depois, percebendo que não tinha

evidências para esta justificativa, apelou para a “resistência do ar”. THA também sofreu uma pressão do modelo elaborado (a transferência total da energia) ao observar o experimento p-5:

- E. “...E agora, no caso da grande na pequena, tem alguma explicação?”
 T. “Da grande na pequena? (Solta a bola grande novamente). Dá a impressão que passa a energia toda. Dessa vez ele bate e não volta (como em p-4). Ela não volta, ela pára. Se ela pára é porque ela perdeu toda a energia dela.”

Anteriormente ela tinha observado p-1 e explicado a parada da bola incidente mediante a transferência total da energia; em seguida tinha observado a volta da incidente em p-4, interpretando que ela passava toda a energia para o alvo maior, mas deixando como ponto inexplicado o mecanismo da volta. No caso de p-5 a expectativa de ver realizado o mesmo princípio distorceu sua observação. O caso de NA foi mais complexo. Ele tinha observado que em c-5 a bola incidente (menor) voltava com velocidade menor do que a de saída do alvo (maior). Ao tentar explicar mediante a lei de ação e reação ele raciocinou que forças iguais deviam provocar velocidades diferentes inversamente proporcionais as massas; conseqüentemente ele afirmou que a bola alvo tinha saído com velocidade menor; somente reconheceu seu erro após repetir o experimento duas vezes.

PA no início trabalhava com um modelo de ação e reação duplas: cada bola exercia uma ação sobre a outra provocando um movimento e uma reação sobre si própria mantendo seu movimento. O resultado final era o balanço destas quatro forças. Este modelo não somente estimulava uma série de previsões não confirmadas experimentalmente, mas também impedia ao estudante de perceber a analogia entre os choques no pêndulo e na canaleta. Por isso, apesar de já conhecer o resultado de p-1, ele errou na previsão sobre c-1, c-5, apesar de ter observado p-2, errou na previsão sobre c-8. Analogamente DA errou em todas as previsões

no pêndulo por causa da idéia de desgaste durante o choque e do modelo de ação e reação.

Um caso muito interessante aconteceu com NA, durante sua segunda entrevista; a entrevistadora orientou todas suas perguntas e sugestões de maneira que o estudante percebesse que o experimento c-8 com as bolas de aço podia ser imaginado como a união de um experimento c-8 totalmente anelástico (com bolas de massinha) e do experimento t-2 com os carrinhos iguais explodindo. O estudante não aceitava esta analogia e continuava a repetir que os experimentos eram diferentes; de fato o modelo de colisão implicitamente utilizado pelo estudante não incluía a deformação do aço, e conseqüentemente a aproximação proposta pela entrevistadora tornava-se para ele sem sentido.

As potencialidades da experimentação

A postura dos estudantes frente aos experimentos não revelou unicamente aspectos problemáticos em relação à aprendizagem e à mudança conceitual. A familiarização com os experimentos e o questionamento da entrevistadora ajudaram todos os alunos a perceber, até o final da entrevista, a analogia entre as colisões no pêndulo e uma parte das colisões na canaleta, apesar de terem sido considerados inicialmente como eventos bem diferentes. O caso mais significativo foi o de FE, que após diferenciar o choque da canaleta como mais fraco daquele do pêndulo por causa da perda de movimento por atrito, conseguiu finalmente localizar as semelhanças nos dois choques.

- E. “...Eu joguei ela tão forte (na canaleta), que descontando o que ela perdeu no caminho, ela chegou com o mesmo movimento com que chegaria lá (no pêndulo). No momento em que ela chega e choca, o que acontece nos dois casos?”
 FE. “Vai ser o mesmo. Uma pára e a outra segue. Vai ser a mesma coisa.”

Em seguida, o estudante, ao fazer previsões sobre c-8, espontaneamente associou o resultado ao de p-2.

Um outro caso interessante de recuperação de analogias deu-se com THA e DA, que inicialmente tinham

diferenciado as colisões com as bolas de aço, que não se deformavam, das restantes com bolas de borracha, espuma, e massinha. Ao largar as várias bolas de uma certa altura, perceberam que a de massinha não voltava, ao passo que todas as outras voltavam para cima, admitindo uma semelhança entre elas.

Em vários casos a insistência da entrevistadora em repetir os experimentos conseguiu modificar as descrições pouco precisas dos estudantes. Por exemplo, DA e THA, após observarem p-5, afirmaram respectivamente que a bola incidente voltava ou parava; a entrevistadora repetiu os experimentos e pediu para continuarem observando, e ambas reconheceram que inicialmente a bola incidente continuava ainda um pouco para frente.

Entretanto, em nossa opinião, o aspecto mais interessante da potencialidade da experimentação foi conseguir motivar intelectualmente os estudantes com seus resultados surpreendentes, provocar a correção de suas previsões e suas interpretações teóricas e se transformar em fonte de ulteriores observações mais refinadas. DA foi um caso exemplar em reconhecer rapidamente que suas previsões continham erros, apesar de que, às vezes, a diferença não fosse tão evidente, como no caso da altura atingida pelos alvos em p-1, p-2, p-3 e p-4. Esse reconhecimento foi o ponto de partida para a progressiva modificação da função do peso em seu modelo de ação e reação. Também para NA a aceitação da deformação (invisível) do aço permitiu uma observação mais cuidadosa dos experimentos c-8 e t-2 e a caracterização da elasticidade e anelasticidade.

Os Resultados Surpreendentes

CE, THA e PA confessaram que ficaram muito surpresos com a parada da bola incidente na canaleta no experimento c-1. Suas expectativas em relação ao "choque-superfície" era de continuidade do movimento. A surpresa para CE foi tanta que nem prestou atenção ao pequeno movimento da incidente, devido a dificuldade de eliminar totalmente seu rolamento; essa sua desatenção é significativa porque ela tinha observado

um movimento ainda menor no caso de p-1. Uma surpresa ainda maior apareceu com os experimentos p-4 e c-5, nos quais nenhum dos estudantes previu a volta da bola incidente. Para PA foram surpresas também os resultados de p-2 e c-8, nos quais ele tinha previsto que após o choque as bolas parariam.

Em alguns casos os resultados surpreendentes foram incorporados pelos estudantes como enigmáticos, sem dar-lhes aparentemente muito peso, como no caso da volta da bola incidente. Entretanto em várias circunstâncias a surpresa frente ao resultado experimental tornou-se uma fonte de questionamento do conhecimento teórico anterior.

O caso de CE foi de efeito imediato; após observar a parada da bola incidente em c-1 concluiu que sua teoria da impossibilidade de passar toda a energia para o alvo estava errada e que neste caso a transferência era total. O caso de THA foi mais complicado. A volta da bola incidente em p-4 criou um problema a ser resolvido, mas não derrubou a teoria da transferência total. Entretanto, quando frente a repetição de p-5 teve que admitir que a bola incidente continuava ainda um pouco, reconheceu a fragilidade e a parcialidade da teoria e foi procurar uma outra explicação dos eventos na idéia de ação e reação. Também para NA o resultado surpreendente de c-5 criou problemas de explicação à sua teoria da transferência; ele se apoiou na idéia de ação e reação, mas não conseguiu conciliar as velocidades finais de projétil e alvo com a igualdade das forças de ação e reação. Após repetir várias vezes p-4 ele concluiu que as forças não podiam ser iguais; apesar da conclusão ser inadequada do ponto de vista científico, o estudante tinha conseguido compatibilizar todos os seus conhecimentos a respeito. O caso de PA foi mais dramático, pois não conseguiu suportar o peso das contínuas surpresas e decepções do seu modelo de ação e reação; ele simplesmente abandonou o modelo sem ulteriores tentativas de reformulação e começou a explorar mais sistematicamente as dicas da entrevistadora. DA foi mais perseverante: após aproveitar uma dica inicial da entre-

vistadora sobre a simultaneidade de ação e reação, foi tentando incorporar os resultados não previstos dos experimentos com o pêndulo, para melhorar seu modelo, conseguindo dar uma explicação coerente para c-1, c-5 e c-6. Finalmente a atitude de FE pareceu um pouco diferente das demais. Algumas vezes ficou surpreso com o resultado das experiências, mas sobretudo ficou surpreso com as questões da entrevistadora, que o obrigavam a observar aspectos para ele pouco significativos. Como resultado, parece que efetivamente ele aprendeu a observar com mais cuidado e mais organizadamente, como mostrou no final da primeira entrevista ao analisar o movimento das bolas na canaleta. Entretanto durante a segunda entrevista a constatação da volta da bola incidente em c-8, p-2 e c-5 constituiu uma grande surpresa, que o levou a questionar o modelo de choque entre as bolas de aço e a aceitar, ao menos parcialmente, a idéia de uma deformação invisível).

O Aperfeiçoamento das Observações

Não foi somente FE que aproveitou das entrevistas para aprender a observar melhor. DA tinha começado considerando como evento significativo o conjunto de choques sucessivos no pêndulo; após os questionamentos da entrevistadora conseguiu observar que em p-3, após o primeiro choque, as bolas subiam com velocidades trocadas, apesar de ter previsto que subiriam com velocidades iguais. CE também, após o questionamento de sua teoria da passagem parcial da energia, conseguiu observar e interpretar mais facilmente o experimento p-3, observando que a altura maior atingida pela bola inicialmente largada do ponto mais baixo era devido a transferência da "energia de uma bola para a outra". O caso mais significativo de aperfeiçoamento da observação deu-se com THA. Sua descoberta de que a entrevistadora lançava a bola incidente em c-1 impedindo o rolamento não somente a habilitou a realizar as experiências c-1 e c-2, mas lhe permitiu também observar o choque com mais atenção; conseguiu perceber que em c-2 a bola incidente parava um pouco sua translação no instante do choque, mas continuava ro-

lando no mesmo lugar até continuar para frente. Conseguiu também analisar o experimento c-6 em detalhe, distinguindo novamente o movimento de translação daquele de rotação.

Comentários e Conclusões

A análise das entrevistas dos estudantes fornece evidências de que a relação entre o desenvolvimento do conhecimento científico e a observação de experimentos simples não é linear. De fato, em algumas situações, os estudantes manifestavam tendência a descrever as colisões com pouca precisão, a salientar aspectos perceptíveis cientificamente pouco significativos, a localizar de maneira superficial as diferenças entre os vários experimentos e a atribuir pouca relevância aos eventos mais significativos; tudo isso criou problemas para o desenvolvimento de uma visão disciplinar adequada. Entretanto, em outras situações, a familiarização com a experimentação e com a observação dos resultados, a surpresa frente a casos inesperados e o questionamento da entrevistadora pareceram desencadear um processo de busca de soluções altamente favorável ao envolvimento e ao crescimento intelectual do estudante, rumo a uma visão científica das colisões.

A suposição, às vezes implícita nas discussões sobre a função das atividades experimentais no ensino de Física, de que o contato com a experimentação e a apropriação cognitiva de seus resultados por parte do estudante possa ser realizado sem dificuldades e de uma maneira direta está longe de ser confirmada pelos resultados, mesmo que limitados, de nossa pesquisa. Estes, ao contrário, parecem indicar que a observação de experimentos não era sempre realizada pelos estudantes num contexto vinculado ao processo de conhecimento científico ou de evolução intelectual; ela assumiu esta conotação somente em determinadas circunstâncias, nas quais pareceu até tornar-se altamente eficiente.

A Ambiguidade Cognitiva dos Experimentos

Qual a razão da diferença do comportamento dos estudantes?

Nos parece que ela possa ser analisada de dois pontos de vista complementares e mutuamente condicionantes. De uma lado, a ambiguidade no comportamento dos estudantes pareceu depender da própria característica dos observáveis: experimentos simples e qualitativos, facilmente manipuláveis pelos próprios estudantes e às vezes surpreendentes. De outro lado, esta diferença pareceu depender essencialmente das concepções espontâneas ou adquiridas dos estudantes, que facilitavam ou bloqueavam a possibilidade de problematizar os experimentos.

A simplicidade e o aspecto meramente qualitativo dos experimentos parecem explicar a pouca valorização cognitiva manifestada pelos estudantes, que tendiam a não aprofundar a observação e a explicação das experiências ou a contentar-se com explicações parciais, muito localizadas. Às vezes, parecia que nenhum problema experimental merecesse, pelo menos inicialmente, um aprofundamento e um esforço continuado para ser resolvido. Entretanto, a possibilidade de repetir a vontade os experimentos, inclusive pelos próprios estudantes, parece ter sido uma parte do segredo do seu envolvimento em algumas circunstâncias: a repetição dos experimentos ofereceu aquele espaço de reflexão necessário para tomar seriamente em consideração os resultados experimentais e encontrar novos elementos interessantes. A outra parte do segredo, sem dúvida, deve ser atribuída ao caráter surpreendente de algumas observações, que contrariavam visivelmente e diretamente as previsões dos estudantes, iniciando um processo de perturbação e, conseqüentemente, de reflexão à procura de explicações.

As Concepções Espontâneas dos Estudantes

A interpretação dos experimentos como problemas meramente locais ou como desafios intelectuais e sua conseqüente contribuição para o desenvolvimento cognitivo dos estudantes pareceu depender também do conhecimento anterior dos estudantes e da atuação da entrevistadora. Dessa forma nos parece possível explicar tanto as dificuldades quanto os sucessos dos estudantes.

Para FE a Física que tinha estudado era a do vestibular que lhe ensinara (parcialmente) como resolver problemas de tipo idealizado para superar o exame. A relação com a experimentação era totalmente desconhecida. Por isso sua preocupação fundamental durante a observação era considerar todos os eventos, sem focalizar elementos específicos. Ele não tinha dicas, mesmo que parciais, que o ajudassem a selecionar eventos significativos de eventos desprezíveis. O único guia era o questionamento da entrevistadora; ele o utilizou da única maneira possível, procurando dar um sentido e se adequar às exigências de detalhes mesmo que o afastassem da sua preocupação em não perder o conjunto global. As questões da entrevistadora auxiliaram o estudante a ter um contato mais refinado com os experimentos, observando detalhes que nunca ele teria notado espontaneamente. Somente a partir da segunda entrevista ele conseguiu organizar seu conhecimento e perseguir seus problemas.

Para os outros estudantes o conhecimento adquirido na escola e adaptado de maneira a ser compatível com suas concepções alternativas, orientava suas expectativas, assim como sua visão experimental.

Trabalhos anteriores, sobre as representações espontâneas dos estudantes referentes as colisões têm chamado atenção para as previsões fenomenológicas dos estudantes elaboradas a partir de critérios variáveis (Ricci, 1987; Grimellini et al. 1988), para os modelos e os mecanismos de interação (Mariani, 1987), para os tipos de raciocínios simplificadores (Villani & Pacca, 1990) utilizados nas explicações e para as dificuldades dos estudantes ao interpretar as colisões mediante os princípios de conservação (Grimellini et al., 1993). Em nossas entrevistas podemos constatar o uso praticamente universal da relação espontânea entre força, velocidade e aceleração com a conseqüente interpretação não newtoniana do esquema de ação e reação, o acoplamento sistemático entre colisão e perda de "energia" (velocidade, força, movimento) das bolas que interagem, a preferência nas ex-

plicações em apelar para *variáveis perceptivas absolutas* como tamanho (massa) e velocidade, e finalmente a identificação de dois *mecanismos de interação*: a *transmissão* para o alvo de uma parte da velocidade (força, energia, movimento) que o projétil possuía antes da colisão e a *produção* de um novo movimento no alvo ou no projétil (via ação e/ou reação) sem a correspondente perda na outra bola.

Neste contexto são facilmente inteligíveis as tendências dos estudantes em operar uma leitura deformada dos eventos, quando esses discordavam dos modelos por eles construídos anteriormente, como já relatado. Analogamente, é possível compreender porque os efeitos diferentes em c-1 e c-2 não mereceram, pelo menos no início, uma explicação mais aprofundada. As variáveis utilizadas eram as significativas para o senso comum dos estudantes. A explicação da volta em c-5 mediante um aumento da reação do alvo devido ao aumento da força da bola incidente, em analogia ao choque contra uma parede, constituiu um avanço intelectual de DA; essa explicação não poderia ser estendida facilmente ao caso das bolas iguais, para PA e para THA muito mais interpretável em termos de transferência de força ou velocidade. O superamento da dicotomia entre transmissão e reação sem dúvida precisaria de uma intervenção externa muito mais ancorada à visão disciplinar.

A analogia entre as colisões sem rolamento na canaleta e as do pêndulo constituiu um sucesso geral na direção do conhecimento disciplinar, apesar de compatível com as concepções espontâneas sobre velocidade, força e peso. A semelhança dos efeitos dos choques permitiu aos estudantes superar a diferença inicial de contexto, que os levava a formarem uma representação inicial dos choques no pêndulo completamente diferente da representação das colisões na canaleta ou a considerarem as colisões das bolas de aço diferentes das de borracha ou espuma. Mais uma vez esta analogia foi alcançada graças a orientação implícita das questões da entrevistadora, que procurava focalizar e isolar os

efeitos. Também a dificuldade dos estudantes em relacionar a recuperação do movimento após o choque com a elasticidade da deformação encontrou um obstáculo grande na invisibilidade da deformação das bolas de aço. Mas não pode ser esquecido que quase todos os estudantes conseguiram fazer esta associação nos outros casos, reconhecendo a natureza da deformação elástica.

A dificuldade de CE e THA em focalizar o choque derivava, provavelmente, de sua representação causal da colisão, considerada como um evento em dois tempos: a vinda do projétil (causa) e a saída do alvo ou das duas bolas (efeito). Não restava espaço para o momento da interação, efetivamente muito rápido.

O aspecto surpreendente de alguns resultados experimentais para os estudantes apareceu em dois contextos diferentes. Em alguns casos os estudantes tinham elaborado uma previsão contrária com base num modelo explícito sobre o evento, como a parada da bola incidente em c-1 para CE ou as várias previsões iniciais de PA e de DA; em outros casos a expectativa dos estudantes era diferente dos resultados efetivos, porque nunca tinha sido prestada muita atenção ao evento, como no caso da volta da bola menor no choque com o alvo maior, para quase todos os estudantes. Na primeira situação a reação dos estudantes foi sempre a modificação parcial ou o abandono total do modelo. Na segunda situação somente a insistência da entrevistadora em discutir o evento parece tê-lo transformado em perturbação cognitiva. É interessante observar que o abandono do próprio modelo não constitui sempre um avanço intelectual do estudante, pois, no caso do PA, resultou no abandono de explicações coerentes com as próprias idéias e na utilização quase exclusiva das sugestões da entrevistadora. Infelizmente ela não percebeu a modificação da perspectiva do estudante e não conseguiu orientar com sucesso um desenvolvimento cognitivo coerente.

Se nossas considerações forem corretas, então as perspectivas intelectuais dos estudantes parecem ter variado entre duas situações extremas: a de alunos, em

algumas situações, prontos para incorporar os dados experimentais de maneira ativa, modificando suas concepções, como nos casos da idéia de ação e reação para NA e DA, e a de alunos, em outras situações, incapazes de avançar por causa da impossibilidade de problematizar adequadamente a experiência, como no caso das diferenças entre c-1 e c-2 para FE e NA ou entre os choque no pêndulo e na canaleta para DA. Entre esses casos extremos a atuação da entrevistadora, introduzindo questões novas ou focalizando efeitos mal observados, tem tornado, na maioria das vezes, os eventos experimentais mais compreensíveis e cognitivamente mais eficientes para os estudantes.

Nossas considerações parecem importantes para promover um diálogo significativo entre professor e estudantes deslocando a ação didática para a construção de uma mediação entre as concepções dos estudantes e os resultados dos experimentos, capaz de facilitar sua interação. Em particular, os esforços para tornar as observações experimentais eficientes deveriam ser concentrados na elaboração de atividades prévias que estimulem os estudantes a participarem da observação tendo conatruído ou tomado consciência de suas expectativas e na criação de espaço e motivação para os estudantes observarem com cuidado, até alcançarem um convencimento seguro sobre os resultados; a surpresa e o conflito mais facilmente serão motores de forte envolvimento intelectual quando os estudantes conseguirem localizar as razões de suas previsões diferentes.

Um outro ponto importante a ser considerado pelos docentes deveria ser a manutenção de um equilíbrio entre o desenvolvimento dos modelos dos estudantes e a introdução de informações novas, cientificamente mais válidas, para evitar de um lado os impasses devidos a incapacidade dos estudantes de alcançar conclusões gerais, e de outro lado o massacre dos modelos dos estudantes, que podem resultar facilmente na incapacidade de desenvolver um pensamento coerente.

Nossas conclusões parecem compatíveis com as considerações de Hodson (1988), que, na tentativa de cla-

rear o problema do uso do laboratório, chamou atenção sobre a diferença entre os experimentos em ciências e no ensino de ciências. Para ele os primeiros têm o objetivo de promover o desenvolvimento das teorias científicas, no passo que os segundos são usados, para "ensinar ciência, ensinar sobre ciência e ensinar as crianças como fazer ciência". No modelo em tres estágios por ele proposto as atividades didáticas deveriam se concentrar primeiro em "aprender a fazer observações e a elaborar questões apropriadas, a controlar as variáveis, usar instrumentos e fazer medidas, desenvolver habilidades de registro e de comunicação"; em seguida deveria prevalecer a "aquisição de novos conceitos, a investigação da adequação empírica das teorias e o teste de hipóteses"; finalmente, o terceiro estágio deveria ser dedicado ao estudo do desenvolvimento científico e seus condicionantes internos e externos. Nossas conclusões parecem dar pistas sobre os elementos importantes que devem ser considerados pelos professores durante a primeira fase de familiarização dos estudantes com a atividade experimental.

Referências Bibliográficas

- Bransky, J. (1992) Teaching Physics to Elementary School Teachers. Está em Nachtigall, D.K. (ed.) *Proceeding of The International Conference on Physics Teachers' Education*, Dortmund (Germany), 182-187.
- Buckwald, R.A. (1977) Physics teaching as a laboratory experiment, *American Journal of Physics*, 45, 893-895.
- Dediwalage, S.L. (1992) Low cost Equipment which can be used to teach Secondary School Physics in African Schools. Está em Nachtigall, D.K.(ed.) *Proceeding of The International Conference on Physics Teachers' Education*, Dortmund (Germany), 249-252.
- Driver, R. (1973) The representation of conceptual frameworks in young adolescent science stu-

- dents. Doctoral dissertation, University of Illinois, Urbana-Champaign.
- Grimellini, T.N.; Pecori, B.B.; Villani, A. & Casadio, C. (1988) Strategie di insegnamento e cambiamento concettuale: il caso degli urti in meccanica. *Atti del VII Convegno del G.N.D.F.*, Pavia (Italia) 111-142.
- Grimellini, T.N.; Pecori, B.B.; Pacca, J.L.A. & Villani, A. (1993) Understanding conservation laws in mechanics: Students' conceptual change in learning about collisions. *Science Education*, **77**(2), 169-189.
- Hodson, D. (1985) Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, **12**, 25-57.
- Hodson, D. (1988) Experiments in science and science teaching. *Educational Philosophy and Theory*, **20**(2), 53-66.
- Hofstein, A. & Lunetta, V.N. (1982) The role of laboratory in science teaching: neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, **52**(2), 201-217.
- Malgrange, J.L.; Saltiel, E.; & Viennot, L. (1973). Vecteurs, scalaire et grandeurs physiques. *Bulletin de la Société Française de Physique - Encart Pédagogiques*, **1**, 3-13
- Mariani, C. (1987) Evolução das concepções espontâneas sobre colisões, Dissertação de Mestrado, Universidade de S.Paulo.
- Nachtigall, D.K.(ed.) (1992) *Proceeding of The International Conference on Physics Teachers' Education*. Dortmund (Germany).
- Nersessian, N.J. (1989) Conceptual change in science and science education, *Synthese*, **80**, 163-183.
- Reif, F. & St John, M. (1979) Teaching physicists' thinking skills in the laboratory. *American Journal of Physics*, **47**(11), 950-957.
- Ricci, A. (1987) Uno studio sperimentale sulle rappresentazioni mentali degli studenti in meccanica: il caso degli urti, *Tesi di Laurea*, Università di Bologna.
- Talayson, V.M. (1992) Toward a Philosophy of Education in the Training of Physics Teachers. Está em Nachtigall, D.K.(ed.) *Proceeding of The International Conference on Physics Teachers' Education*. Dortmund (Germany), 221-226.
- Villani, A. & Pacca, J.L.A. (1990) Spontaneous reasoning of graduate students, *International Journal of Science Education*, **12**(5), 589-600.
- Zollman, D. (1992) Preparing Elementary School Teachers: A Cooperative Program between Schools and a University. Trabalho apresentado na *International Conference on Physics Teachers' Education*. Dortmund (Germany).

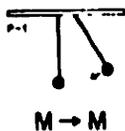
Apêndice

Neste apêndice apresentaremos mais detalhadamente cada experimento utilizado na entrevista com os estudantes, discutindo seus resultados.

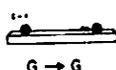
Nas colisões com o pêndulo as velocidades de saída após o choque são calculadas mediante a aplicação dos princípios de conservação do momento Linear e da Energia Cinética. Se v for a velocidade da massa m_1 e u a velocidade da massa m_2 antes do choque frontal, teremos as velocidade finais V e U dadas pelas relações:

$$V = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)} v + \frac{2m_2}{(m_1 + m_2)} u$$

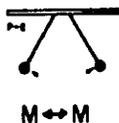
$$U = \frac{2m_1}{(m_1 + m_2)} v + \frac{(m_2 - m_1)}{(m_1 + m_2)} u$$



p-1: Alvo e projétil de 50g; alvo inicialmente em repouso na vertical ($u=0$; $m_1=m_2$) $V=0$; $U=v$.



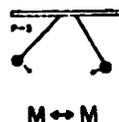
c-1 (deslizamento): alvo e projétil de 100 g, alvo inicialmente parado; $V=0$; $U=5.v/7$.



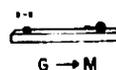
p-2: Alvo e projétil de 50 g, ambas as bolas largadas da mesma altura ($u=-v$; $m_1=m_2$); $V=-v$; $U=v$.



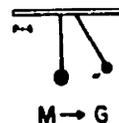
c-2 (rolamento): mesma situação de c-1; $V=v/4$; $U=5.v/7$.



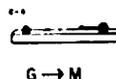
p-3: Alvo e projétil de 50 g, as bolas largadas de alturas diferentes ($u < 0$; $v > 0$; $m_1=m_2$); $V=u$; $U=v$.



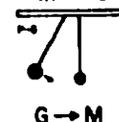
c-3 (deslizamento): alvo de 50 g e projétil de 100 g, alvo inicialmente parado; $V=7.v/30$; $U=9.v/10$.



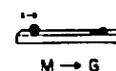
p-4: Alvo de 100 g e projétil de 50 g, alvo inicialmente na vertical ($u=0$; $m_2=2.m_1$) $V=-v/3$; $U=2.v/3$.



c-4 (rolamento): mesma situação de c-3. $V=v/2$; $U=9.v/10$.

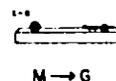


p-5: Alvo de 50 g e projétil de 100 g, alvo inicialmente na vertical ($u=0$; $m_1=2.m_2$) $V=v/3$; $U=4.v/3$.

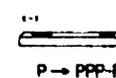


c-5 (deslizamento): alvo de 100 g e projétil de 50 g, alvo inicialmente parado; $V=-5.v/22$; $U=10.v/21$.

Nas colisões na canaleta os resultados dependem do movimento das bolas antes e depois do choque. Quando as bolas forem lançadas de modo a haver só deslizamento, os resultados, logo após o choque, são análogos aos do pêndulo; em seguida as velocidades diminuem porque as bolinhas começam a rolar sobre a canaleta. Quando a bolas forem lançada com rolamento puro a situação é mais complexa, pois logo após o choque a bolas continuam mantendo aproximadamente a mesma velocidade de rotação, independentemente de sua translação. Além disso é necessário considerar que a rotação da bola na canaleta tem o eixo que passa pelos pontos de contato entre bola e canaleta; consequentemente as velocidades finais de projétil e alvo dependem, além das velocidades de translação e rotação antes do choque, também dos parâmetros $a = m_1/m_2$ e $b = h/r$ onde h é a distância entre o centro da bola e o eixo de rotação e r é o raio da bola.



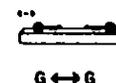
c-6 (rolamento): mesma situação de c-5; $V=v/10$; $U=10.v/21$.



c-7 (deslizamento): alvo de várias bolinhas de 25 g encostadas uma na outra e projétil de 25 g. A incidente pára e a bola mais externa sai com v .



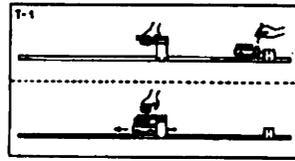
c-8 (deslizamento): alvo e projétil de 100 g, lançados com a mesma velocidade; $V=-5.v/7$; $U=5.v/7$.



c-9 (rolamento): mesma situação de c-8; $V=-3.v/7$; $U=3.v/7$.

É importante notar que os resultados calculados acima são válidos para situações de rolamento ou deslizamento puro. No caso de c-1, o projétil às vezes atingia o alvo com um pouco de rolamento, e conseqüentemente não parava imediatamente. Em c-2 uma observação atenta podia perceber que o projétil parava um instante, continuando sua rotação no lugar do choque, antes de continuar para frente. Analogamente em c-6 o projétil voltava um pouco apesar de sua rotação em sentido contrário, parava e retomava o sentido inicial com velocidade pequena; entretanto, às vezes, uma pequena contribuição de deslizamento fazia com que o projétil parasse definitivamente após a pequena volta.

Nas colisões com os carrinhos o uso da conservação da quantidade de movimento resolve o problema de calcular as velocidades finais.



t-1: um tijolo de 100 g é solto sobre um carrinho que contém um outro tijolo de 100 g: $V = 2.v/3$;



t-2: Explosão de dois carrinhos de 100g cada. $V = - U$;



t-3: Explosão de dois carrinhos de 100g, um dos quais carrega dois tijolos de 100 g. $V = - U/3$