

REPLANEJANDO UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA SOBRE CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

Redesigning an inquiry-based teaching sequence of energy conservation

Marivaldo Parma [parmariv@gmail.com]

Escola de Educação Básica Dr. Tufi Dippe

R. Antônio da Silva, 4935 - Iriiriu, Joinville - SC, 89.227-770

Eduardo Luís Brugnago [eduardolbrugnago@gmail.com]

Alex Bellucco [alexbellucco@gmail.com]

Universidade do Estado de Santa Catarina

Rua Paulo Malschitzki, 200 - Campus Universitário Prof. Avelino Marcante - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, 89.219-710

Recebido em: 16/04/2018

Aceito em: 15/10/2018

Resumo

Neste trabalho apresentamos uma sequência didática investigativa cujo enfoque foi inicialmente o ensino do Princípio de Conservação de Energia. A investigação envolveu o planejamento e a realização de um experimento de lançamento de uma esfera sobre uma rampa inclinada. A atividade foi elaborada e aplicada coletivamente por um grupo do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) em uma escola pública de nível médio, na cidade de Joinville, SC. No desenvolvimento das atividades ocorreram, entretanto, percalços que acarretaram mudanças significativas na sequência didática. Essas alterações levaram-nos a discutir sobre como lidar com os erros/falhas em uma sequência didática e como planejar as ações educativas de caráter experimental para que as limitações práticas não comprometam o ensino de ciências e, mais do que isso, que ajudem a construir uma visão menos idealizada de ciência.

Palavras-chave: sequência de ensino investigativa; atividades experimentais; erro; conservação da energia.

Abstract

In this work we present a inquiry-based teaching sequence whose focus was initially the teaching of energy conservation principle. The research involved the planning and realization of experiment in which a ball is released on an inclined ramp. The activity was prepared and implemented collectively by a group of Institutional Program Initiation Scholarship to Teaching in a public school. The development of the activities involved, however, mishaps that led to significant changes in the teaching sequence. These changes have led us to think about how to deal with errors/failures in a didactic sequence and how to plan the educational actions with experimental basis so that the practical limitations do not compromise the teaching of science and, more than that, to help building a less idealized science vision.

Keywords: inquiry-based teaching sequence; experimental activities; error; energy conservation.

Introdução

O objetivo inicial deste trabalho era apresentar um relato de experiência de ensino de Física, por meio de uma sequência não tradicional de ensino de Mecânica Clássica junto a duas turmas de Ensino Médio, em uma escola pública de Joinville, SC. Essa sequência didática investigativa, baseada na proposta de Carvalho (2013), teve como tema gerador o princípio da conservação de energia e usou o recurso da experimentação. As atividades foram planejadas e aplicadas coletivamente por um grupo do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID), com a participação ativa de alunos bolsistas¹ do programa e dos professores supervisor e coordenador. O desenvolvimento real das atividades envolveu, entretanto, alguns percalços que acarretaram mudanças na sequência didática.

Neste trabalho, como consequência dos acontecimentos, escolhemos por, mais do que apresentar o experimento e as sequências didáticas (planejada e efetivada) e avaliar o uso do tema energia como gerador de um estudo de Mecânica, discutir como os erros (entendidos aqui como erros experimentais, como noções espontâneas, como divergências teóricas históricas ou outros), podem ter efeito didático no ensino de ciências e como planejar as ações educativas experimentais para que os possíveis desvios não comprometam uma sequência didática. Ou melhor, para que não sejam evitados a todo custo, como aponta Astolfi (1999), mas que sejam reconhecidos como algo inerente ao processo de aprendizado e de construção do conhecimento (o conhecimento científico aí incluso). Vale destacar também, que o fato de optarmos pelo trabalho inicial com uma atividade experimental, não significa que privilegiamos uma visão meramente experimental da ciência, trata-se apenas de uma opção didática sobre a temática escolhida.

A escolha da conservação de energia como tema gerador

No ensino de Física há uma ideia recorrente: para se estudar qualquer tema da ciência há que se dominar seus pré-requisitos. Normalmente essa palavra é usada em referência a conhecimentos matemáticos sem os quais, na avaliação de boa parte dos professores, a aprendizagem será, no mínimo, dificultada (Pietrocola, 2002). Mas ela é aplicada também aos conceitos da própria ciência. A existência de grandezas fundamentais que perpassam todos os campos da Física, tais como as noções de espaço, tempo e massa, por exemplo, leva muitos professores a uma prática pretensamente lógica de estabelecer uma sequência rígida de temas. Veem como fundamental a prática de conceituar formalmente (ou seja, teoricamente e matematicamente) algumas noções tidas como “anteriores”, para somente após tratar outros conceitos a elas relacionados. Talvez por isso haja uma sequência tradicional de temas para que noções fundamentais sejam formalizadas teórica e matematicamente antes da abordagem de conceitos a elas interligados. O conceito de velocidade, mesmo sendo de uso cotidiano pelos alunos, aparentemente só pode ser tratado após uma definição científica de referencial, posição, espaço, distância etc. Provavelmente é por isso que o tema energia é um dos últimos a serem abordados na Mecânica Clássica, para que se defina anteriormente, de modo formal, uma série de “conceitos-chave”. Na busca por uma abordagem não tradicional da Mecânica, nasceu a nossa proposta de iniciar o estudo de Física pelo Princípio de Conservação da Energia Mecânica. Por meio desse tema pretendíamos a abordagem integrada dos conceitos de velocidade e energia cinética, de força elástica e energia potencial elástica e de força gravitacional e energia potencial gravitacional.

Os que seguem à risca tais sequências irão argumentar que não podemos definir as energias mecânicas (cinética, potencial gravitacional e potencial elástica) sem nos referenciarmos a uma série de conceitos-chave como velocidade, massa, gravidade, altura e constante elástica e que, por isso, o trabalho de definição formal e de exercitação do cálculo, envolvendo estes “conceitos-

¹Participaram na escola, além dos autores, da realização da sequência didática os bolsistas de iniciação à docência <inserir nomes aqui após a revisão dos(as) referis>.

chave”, deve ser anterior. Entretanto, Robilotta (1998) afirma que “o conhecimento está organizado em estruturas teóricas que, como quaisquer estruturas, tendem a ser autocontidas e a se auto explicar” (p.10-11), indicando que a totalidade da estrutura teórica é que dá sentido aos conceitos-chave que a constituem e dependem de sua posição nessa estrutura. Acreditamos que há um desenvolvimento dialético dessas noções durante o aprendizado. O aluno, ao usar os conhecimentos que possui para apreensão de um novo conceito, pode vir a ter uma nova compreensão sobre aqueles conceitos que já tinha. Se o estudante deve acessar suas noções de espaço e tempo para compreender a definição de velocidade, ao mesmo tempo uma discussão sobre a noção de velocidade pode fazê-lo desenvolver uma noção mais complexa daquelas noções iniciais. Por isso, o “tema efetivo” da aula poderá ser velocidade e não espaço e tempo, na medida em que todos os conceitos serão postos em jogo.

Para trabalharmos tais conceitos a partir dos conhecimentos prévios dos alunos, e não de definições formais deles, optamos por uma aproximação ao tema por meio de um experimento, já que esse aproxima os estudantes do fenômeno, além de permitir a passagem da manipulação experimental para a ação intelectual via a emissão e testes de hipóteses (Carvalho, 2010). Outra razão para a escolha pela experimentação (e a opção pela “despreocupação” inicial com os formalismos da Física) residiu no desejo dos autores em prepararem, para os alunos participantes, uma prática de *alfabetização científica*² que fosse coerente com uma visão não linear de construção da ciência.

Entendemos, no momento desta escolha, que um experimento adequado forneceria uma situação-problema capaz de trazer à tona os saberes dos alunos sobre energia. Era nosso objetivo também que os alunos discutissem a própria metodologia de pesquisa e o modo de registro e de apresentação dos seus resultados ao invés de apenas realizar um processo delineado de antemão pelos orientadores. Assim, não era apenas o aprendizado de conceitos que estava no escopo da atividade, como também as dimensões do aprendizado procedimentais/epistêmicas (relacionadas ao fazer científico) e atitudinais/sociais (relacionadas às relações entre ciência, tecnologia e a sociedade do conteúdo) (Carvalho, 2012). Dito de outra forma, foi considerado objetivo da aprendizagem não apenas a análise dos resultados experimentais, mas a compreensão mesma de como se desenvolve uma metodologia de pesquisa – em um contexto de pluralidade metodológica. Como mostra Sasseron (2010), os próprios documentos oficiais apontam para este direcionamento da educação científica no Ensino Médio:

“Mais uma vez, percebemos que estas ideias podem ser identificadas em certos enunciados dos documentos oficiais brasileiros, pois defende-se que ensinar Ciências e, em especial, a Física, deixa de ser a mera apresentação de conceitos e fórmulas e passa a ser esperado um processo em que os estudantes engajem-se na construção de seus conhecimentos, investigando situações, coletando dados, levantando hipóteses, debatendo em busca de padrões que possam gerar uma explicação e propondo modelos explicativos. Ao mesmo tempo, propiciando e permitindo o trabalho em grupo, aspectos da formação da autonomia moral receberão atenção, bem como instâncias ligadas aos modos de agir frente problemas” (Sasseron, 2010, p. 9).

Pensamos nossa sequência como parte de um processo de *alfabetização científica*. Uma de nossas preocupações é aproximar os estudantes de uma visão menos enciclopédica da Física, no sentido de um conjunto sequencial, acabado, de informações a ser memorizado e reproduzido. Uma das limitações de uma abordagem enciclopédica é que a própria produção do conhecimento não é problematizada. Não é incomum, nos livros didáticos, uma visão *progressiva* da história da física e da tecnologia que esconde os conflitos, as incoerências e as dúvidas inerentes ao fazer científico.

²Para saber mais sobre alfabetização científica, ver Sasseron e Carvalho (2011).

Uma consequência decorrente do ensino tradicional da física nas escolas de ensino médio, normalmente enciclopédico, e que uma *alfabetização científica* pode minimizar, é uma percepção generalizada (até mesmo entre professores da disciplina) de que essa ciência se centra na aplicação de cálculos e fórmulas (Pietrocola, 2002). Por isso ela é considerada, por muitos alunos, uma segunda matemática e uma ciência “exata”. O seu ensino acaba focando em uma preparação técnica. Dificilmente se apresenta a física como uma ciência historicamente constituída, em que embates de modelos e ideias ocorrem. A alfabetização científica dos alunos requer, entre outras coisas, a discussão dos usos e limites da matemática no fazer das pesquisas realizadas na Física. Custódio & Pietrocola (2004), por exemplo, analisaram como princípios científicos são tratados nos livros didáticos. Sobre o Princípio da Conservação de Energia (PCE) concluíram que:

“Os autores reconhecem na ideia de conservação de energia apenas a virtude pragmática de facilitar a solução de problemas [...]. Uma tal maneira de pensar está fundamentada na quantificação de valores e acaba por obliterar o caráter *heurístico* do PCE. A manipulação criativa de ideias que o cientista empreende na sua prática desaparece no contexto escolar. Os resultados da análise acima nos levam a concluir que existe uma mudança de estatuto epistemológico do princípio de conservação de energia na sua transposição da ciência para o ensino de ciências. Nas ciências físicas o PCE, assim como os demais princípios físicos, é uma entidade abstrata que auxilia no desenvolvimento de consequências e na limitação das arbitrariedades de um sistema teórico. Enquanto no ensino da física o PCE adquire um caráter mais operacional de treinamento, de exercício, em vez de ferramenta intelectual para a construção de modelos de apreensão do real. Isto nos leva a considerar duas consequências cruciais: (1) existe uma frágil relação entre teoria/modelos e objetos/eventos nos livros didáticos; disso decorre que (2) o tratamento dos princípios nesses livros didáticos assume o papel de técnica adicional para a resolução de problemas fechados” (Custódio & Pietrocola, 2004, p. 394-395).

Há mais um aspecto fundamental no que tange ao desenvolvimento de atividades de ensino e que é importante também para se pensar uma alfabetização científica: os significados em qualquer área do conhecimento humano (incluída aí a científica) são construídos socialmente, não são pré-determinados ou invariáveis. Como apontam Mortimer & Scott (2002), as pesquisas em educação reconhecem que:

“(...) o processo de aprendizagem não é visto como a substituição das velhas concepções, que o indivíduo já possui antes do processo de ensino, pelos novos conceitos científicos, mas como a negociação de novos significados num espaço comunicativo no que há o encontro entre diferentes perspectivas culturais, num processo de crescimento mútuo. As interações discursivas são consideradas como constituintes do processo de construção de significados” (Mortimer & Scott, 2002, p. 284).

Por isso, a proposição de mudanças de sequência de conteúdo, a escolha pela experimentação como método de trabalho (não o único possível), o afastamento dos saberes enciclopédicos e da centralização nas atividades meramente de cálculo só são ações educativas alternativas ao sistema tradicional se vierem acompanhadas de uma perspectiva de construção coletiva e crítica do conhecimento. Isso aproxima nossa proposta de uma visão mais adequada de ciência, tal como a destacada por Driver et al. (1999), ou melhor, o objetivo da ciência está centrado em construções simbólicas sobre a natureza, que são socialmente negociadas. Caso contrário, transformam-se em uma mudança de discurso, não da prática efetivamente.

Acreditamos que, para desenvolver o processo de alfabetização científica de alunos de Ensino Médio de uma forma atrativa e ao mesmo tempo densa, a escolha do tema seria algo importante. O tema energia, enfatizado no estudo de Física, Química, Biologia e outras ciências, ofereceria a possibilidade de uma posterior interdisciplinaridade. Também vale lembrar que o PCE permeia toda a Física e é uma construção teórica fundamental para essa ciência (Menezes, 2005). Está presente na Mecânica Clássica, na Termodinâmica, no Eletromagnetismo e na Física Moderna, é tema integrador e central para a coesão das teorias físicas.

O tema escolhido (PCE) para este trabalho é particularmente instigante no sentido de que a definição de energia é um tanto complexa. Para Campos (2014), como não podemos medir a energia por observação direta, o conceito acaba transitando entre a Física e a Metafísica. Coelho lembra que a Física não conduziu, por enquanto, a “um significado, universalmente aceite, de energia” (Coelho, 2012, p. 8). Ainda segundo Jacques & Alves Filho, “(...) por ser abstrato e muito abrangente, o conceito de energia é de difícil compreensão e fica muitas vezes a mercê de interpretações causais, o que contribui para o fortalecimento do senso comum e de concepções equivocadas” (Jacques & Alves Filho, 2008, p. 3). Esses autores não fazem nada mais que reforçar a afirmação de Feynman (2005) de que energia é algo abstrato.

Algumas publicações recentes sobre ensino das formas de energia e do princípio de conservação de energia apontam formas de se aproximar do tema. Lenz e Florczak (2011) apresentaram dois experimentos para ensino médio e nível superior que consistem em (1) pendurar pesos em molas e soltá-los, de forma a equacionar energia potencial gravitacional com energia potencial elástica e (2) alongar uma mola para que seja realizado um lançamento reto e, analisando o alcance, equacionar novamente as duas formas de energia. Seus experimentos podem, afirmaram os autores, ser realizados em duas aulas e os resultados são muito próximos dos esperados com base na teoria. Experimentos sobre conservação de energia são muito escassos, sugerem eles, pela dificuldade de minimizar o efeito das forças dissipativas.

Costa et al. (2011) apresentam, por sua vez, uma sequência didática com uma discussão teórica para contextualização, seguida da apresentação dos conceitos de energia e experimento com *looping* aplicado em aula de ensino médio. Eles observaram a não referência ao conceito de energia nas descrições realizadas pelos alunos do comportamento do corpo em movimento. Isto ocorreu depois mesmo das aulas teóricas sobre o assunto.

Alcântara et al. (2011) trazem um trabalho realizado com alunos de ensino médio envolvendo uma exposição sobre energia em suas variadas formas e sobre a conservação da energia para, em seguida, propor um experimento sobre energia potencial gravitacional e, finalmente, um processo avaliativo da sequência. O experimento consistia em deixar rolar uma bola de tênis em rampas inclinadas de 30cm sob ângulos diferentes e medir o deslocamento de um copo plástico que recebia a bola. A medida foi repetida com rampas de 60cm e os resultados comparados. Os alunos, em geral, conseguiram usar o conceito de energia potencial gravitacional para explicar os resultados, segundo os autores.

Souza (2015) propõe o ensino de conservação de energia usando analogias, a saber, com substâncias que podem fluir, com o baralho e com dinheiro em um cofre, tomando cuidado em estabelecer os limites do seu uso. Não faz referência a resultados da realização de aulas empregando o método, embora apresente material destinado ao uso em sala de aula em que coloca situações problema.

O contexto e os referenciais que fundamentam a construção da sequência didática

Conforme observado, o objetivo deste relato é apresentar a evolução de uma sequência de ensino investigativa, inspirada na pesquisa de Carvalho (2013), valendo-se de um problema experimental para ensinar o princípio da conservação da energia.

O presente projeto foi elaborado e desenvolvido por um grupo do PIBID composto por um professor de Física de uma escola de educação básica da rede pública estadual de Santa Catarina, na cidade de Joinville, em conjunto com alunos bolsistas de iniciação à docência do programa e sob orientação do professor universitário responsável pelo mesmo programa, durante o primeiro semestre de 2015. Os bolsistas foram previamente instruídos sobre o que anotar (diálogos entre alunos, alunos e professor, comportamento da turma nos diferentes momentos da aula), de forma a

elaborarem minuciosas notas de campo das aulas, que eram discutidas em reuniões semanais ocorridas após as aulas da sequência de ensino.

O que diferencia nosso experimento dos acima relacionados é que: (1) ele era uma atividade *aberta*, no sentido apontado por Gil-Perez et al. (1999), isto é, a partir de um problema, os alunos realizaram um estudo qualitativo resultando em elaboração de hipóteses testadas por meio da proposição e desenvolvimento de estratégias de medição - que foram colocadas em debate com toda a turma³ - seguido da análise cuidadosa dos resultados mais à sua associação a outras situações cotidianas no final e elaboração de uma memória na forma de relatório; (2) nosso experimento foi mais longo, demorou praticamente um bimestre (com duas aulas semanais) para sua total realização, de forma que foi dado, aos grupos, tempo para a realização de repetidas medidas, para a discussão do observado e para a confecção do relatório; (3) não houve exposição teórica antes da realização dos experimentos, como no citado trabalho de Costa et al. (2011), mas, ao contrário, a discussão teórica se deu na análise coletiva do experimento realizado; (4) a sequência didática continha, desde sua elaboração, a consideração de um tratamento matemático para a determinação dos erros experimentais, desconhecido pelos alunos até então, e a discussão em sala sobre sua relevância para a atividade científica.

A construção da sequência didática pelo grupo do PIBID apresentada neste trabalho seguiu, a cada passo, um esquema aproximado ao de ciclos de espiral autorreflexiva: uma sequência recorrente de planejamento (das ações educativas), ação (propriamente dita), observação (dos processos ocorridos ao longo da ação) e reflexão (sobre esses processos e os resultados) para dar começo a um novo ciclo (Rosa et al., 2003). Nas reuniões semanais de preparação e análise da proposta, o grupo analisava os avanços e os retrocessos dos alunos na realização dos experimentos e na interpretação do observado e, em função deles, planejava a etapa seguinte. Essa concepção de trabalho pedagógico foi baseada no trabalho de Carr & Kemmis (2004).

Para as atividades didáticas nos inspiramos na estruturação das investigações científicas em sala de aula proposta por Carvalho (2013) e Gil-Perez et al. (1999), com as etapas a seguir em sequência: distribuição do material experimental e proposição do problema pelo professor, resolução do problema pelos alunos (estudo qualitativo das situações problemas realizado pelos estudantes e orientação do tratamento científico dos problemas), sistematização dos conhecimentos elaborados nos grupos (estimular o uso dos novos conhecimentos em uma variedade de situações) e finalmente escrever e desenhar (uma forma de expressão dos alunos sobre a experiência ocorrida reforçando a construção pessoal do conhecimento).

Uma das discussões mais profícuas no âmbito das reuniões de planejamento desta sequência didática foi sobre o encaminhamento de uma sequência didática quando se constata, como foi nosso caso, que a forma como os erros são abordados poderiam atrapalhar e até mesmo inviabilizar uma conclusão clara sobre o fenômeno estudado. Em nosso trabalho de planejamento e replanejamento resgatou-se a ideia da alfabetização científica de Sasseron (2015), como um processo contínuo de construção de conhecimentos, que influenciam o entendimento e a tomada de decisões e posicionamentos. Para isso, afirma a autora com base em extensa revisão e resultados de pesquisa de seu grupo, que se deve considerar no planejamento das ações didáticas sobre um tema específico de ciências os eixos estruturantes da alfabetização científica (que vão ao encontro de nossos objetivos, principalmente com relação ao fazer científico):

“[...] (a) a compreensão básica de termos e conceitos científicos, retratando a importância de que os conteúdos curriculares próprios das ciências sejam debatidos na perspectiva de possibilitar o entendimento conceitual; (b) a compreensão da natureza da ciência e dos fatores que influenciam sua prática, deflagrando a importância de que o fazer científico

³Houve, em função disso, até mesmo a combinação entre os diferentes grupos de alunos de maneiras distintas de medição com o intuito de comparação dos resultados.

também ocupa espaço nas aulas de mais variados modos, desde as próprias estratégias didáticas adotadas, privilegiando a investigação em aula, passando pela apresentação e pela discussão de episódios da história das ciências que ilustrem as diferentes influências presentes no momento de proposição de um novo conhecimento; e (c) o entendimento das relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, permitindo uma visão mais completa e atualizada da ciência, vislumbrando relações que impactam a produção de conhecimento e são por ela impactadas, desvelando, uma vez mais, a complexidade existente nas relações que envolvem o homem e a natureza” Sasseron (2015, p. 57).

É preciso afirmar, então, que, na base da construção e principalmente da reconstrução da nossa sequência didática, optamos por um ensino de ciências em que: (1) os conhecimentos não foram criados de maneira acumulativa de crescimento linear e de forma rígida ou algorítmica, tal como as distorções da natureza da ciência apontadas por Gil-Pérez et al. (2001), mas que considera que a história da ciência está repleta de casos de erro, de inconsistência e de equívocos. E que algumas ideias que se achavam equivocadas em um dado período histórico podem ser resgatadas e reavaliadas em outro momento histórico posterior como conhecimentos válidos, inspiradores; (2) a admissão da existência dos erros experimentais coloca o papel da teoria e da modelagem científica em sua dimensão mais precisa, caracterizando a relação fundamental entre teoria/prática em toda sua complexidade; (3) o reconhecimento da ocorrência de erros em experimentos e o aprendizado de um modo de estimar suas grandezas (médias, moda, desvios-padrão etc.) podem contribuir para a apropriação, por parte dos alunos, de conhecimentos matemáticos e aspectos das metodologias de investigação científica; (4) os experimentos realizados em ensino de ciência ganham mais consistência quando não abominam o erro, pois mesmo que os resultados não sejam os esperados, a discussão sobre os fenômenos (entre os alunos e destes com o professor) e a visão das incertezas neste campo do conhecimento estimulam a criatividade de alunos e professores, ao invés de insistir no lugar comum (e muitas vezes estéril) do ensino memorizado de informações e de uma falsa concepção linear e acumulativa de desenvolvimento do conhecimento científico. Na análise dos erros pode haver uma construção de conhecimento tão relevante para a compreensão do fazer científico quanto na apreensão dos conceitos e teorias vigentes.

No âmbito da ciência, Bachelard (1996) mostra que o desenvolvimento da ciência se dá pela retificação de erros. O autor questiona:

[...] Já foi dito muitas vezes que uma hipótese científica que não esbarra em nenhuma contradição tem tudo para ser uma hipótese inútil. Do mesmo modo, a experiência que não retifica nenhum erro, que é monotonamente verdadeira, sem discussão, para que serve? (p. 14/15).

Mais adiante no mesmo trabalho, referindo-se ao contexto do ensino de ciências, Bachelard tece reflexões importantes ao destacar que os adolescentes já trazem conhecimentos empíricos construídos e que, por isso, o ensino precisa mudar uma ‘cultura experimental’, por meio da superação de obstáculos enraizados na vivência dos estudantes. Por isso, é necessária uma ‘psicanálise dos erros’ dos estudantes para que ocorra a aprendizagem.

Em face do afloramento de noções espontâneas em nossas atividades de ensino, tínhamos as opções de simplesmente mostrarmos a moderna concepção de energia cinética e potencial e, então, propor a análise do experimento sob a luz desses conceitos ou, de outra forma, de discutir as concepções espontâneas usando a atividade experimental como base de argumentação. A intensidade das discussões sobre a relação entre força, energia e movimento nos levou a escolher a segunda opção.

Ao nos propormos ao confronto com as concepções espontâneas dos alunos (quando já havíamos avançado bastante na coleta de dados), houve a necessidade de optar entre duas possibilidades: a busca de uma “mudança conceitual” (numa visão de transformação definitiva do discurso do aluno, que assumiria o discurso científico e descartaria suas noções espontâneas) –

aproximando-se de uma perspectiva ultrapassada de jovem cientista – ou, como propõe Mortimer (1996), uma “mudança de perfil conceitual”, ou seja, possibilitar a construção simbólica coletiva de dados e explicações sobre um problema para que, em diferentes contextos, possam utilizar os discursos mais apropriados. Isso equivale a uma enculturação científica, sem exigir o abandono de saberes anteriores compatíveis com a apreensão da realidade que o cerca. Fizemos opção pela segunda via.

O resultado efetivo do experimento pode ser considerado na interação ocorrida durante todo o processo, apresentada mais adiante. Nesta interação de grande duração, podemos reconhecer, em momentos distintos, a realização das diferentes intenções que, segundo Mortimer & Scott (2002), devem ser contempladas por um professor em uma sequência de ensino: a criação de um problema para engajar o aluno, a exploração da visão dos estudantes, a introdução e desenvolvimento de uma “estória científica” (a disponibilização de ideias científicas, bem como, por exemplo, temas conceituais e epistêmicos), a guia dos estudantes no trabalho com as ideias científicas (para as colocar em jogo e avaliá-las), a guia na aplicação das mesmas ideias (para estimular o uso delas em outros contextos e responsabilizarem-se por isso) e a sustentação da “estória científica” (ajudar os alunos a compreender a relação do estudado com o currículo científico como um todo).

As turmas escolhidas para o desenvolvimento da nossa pesquisa foram de primeira série do ensino médio. Optou-se, inicialmente, por um acompanhamento mais detalhado, pela nossa equipe, das atividades em duas turmas: uma do diurno, com alunos mais jovens, e outra do noturno. Entretanto o processo foi desenvolvido simultaneamente a outras três turmas do diurno apenas pelo professor da disciplina, supervisor da equipe na escola. Até o momento em que foi iniciada a experimentação com os alunos, eles haviam trabalhado, nas aulas, a história da Física, os conceitos da Física Aristotélica, aspectos históricos da revolução científica na era moderna, noções de astronomia básica e de cosmologia.

Neste artigo, apresentamos primeiramente o experimento delineado, construído e usado na sequência didática com os alunos. Depois destacamos os objetivos iniciais e planejamentos realizados antes do início das ações junto aos discentes. A seguir, mostramos os problemas que encontramos na realização das aulas e como estes acabaram por impor, por assim dizer, uma reconstrução da linha mestra da sequência didática e o modo como esta readequação foi pensada para que a alfabetização científica continuasse como foco do ensino. Finalmente refletimos, na conclusão, sobre os aspectos que julgamos relevantes na construção de sequências didáticas, para que os possíveis percalços não impeçam a realização de uma aprendizagem do fazer científico.

O arranjo experimental

O arranjo experimental (figura 1) consistia em uma rampa de madeira, reta e inclinada em cerca de 27 graus, com cerca de 1m de comprimento com uma canaleta de plástico para guiar o movimento da esfera a ser lançada sobre ela. Na extremidade inferior da rampa, acoplado à canaleta, foi fixado um tubo de PVC. Dentro do tubo havia uma mola de metal (comprada em loja de ferragens) terminada, na sua ponta superior, por um êmbolo feito de rolha. O êmbolo estava preso a um arame rígido que passava por dentro da mola e saía pela parte mais inferior do tubo. Com este arame podia-se puxar o êmbolo de forma a comprimir a mola. Não havia marcações pré-determinadas para a compressão da mola, de forma que os alunos pudessem usar qualquer alongação possível. Na prática, as alongações máximas das molas chegavam a 5cm, mas um grupo chegou a registrar equivocadamente uma alongação de 6cm. Uma bola de aço e fitas métricas compunham os kits que foram distribuídos a cada grupo para sua atividade experimental.



Figura 1: O arranjo experimental utilizado.

A ideia era lançar a esfera de aço com a mola e analisar o alcance dela conforme a elongação usada. As fitas métricas serviriam para determinar a posição e, conseqüentemente, as distâncias percorridas pela esfera. A orientação de manter a rampa em sua posição (manter a elevação em 27 graus) foi reforçada a cada nova etapa de medição. Não foram colocadas, como dissemos, marcações na rampa ou no lançador porque fazia parte do processo de ensino problematizar a medição dos valores observáveis.

Foram construídos quatro arranjos experimentais, dois com uma mola de maior constante elástica (cerca de 13,5 N/cm e 14 N/cm) e outros dois com molas de menor constante elástica (cerca de 5 N/cm e 4,5 N/cm). Cada par tinha, então, suas molas muito parecidas. As constantes elásticas bem como outras características dos conjuntos foram determinadas para a realização dos cálculos envolvendo as equações de energia (cinética e potencial) e a análise dos resultados experimentais obtidos.

As etapas planejadas da sequência didática e seus objetivos iniciais

Nosso plano inicial consistia em apresentar o arranjo experimental e, em seguida, apresentar a questão problema aos alunos: existe ou não alguma relação entre a elongação da mola e o alcance da esfera? A seguir, fornecemos a cada grupo rampa, fita métrica e esfera metálica para mostrarem primeiro que tal relação existe e, segundo, para tentarem encontrar alguma expressão dessa relação. Pretendia-se inicialmente, com esse encaminhamento, levar os alunos a uma investigação matemática usando o experimento, relacionando a elongação da mola com a posição final da esfera na rampa.

Nosso real propósito consistia, entretanto, em abordar as questões energéticas ligadas ao experimento e, por ser a energia potencial gravitacional relacionada à altura máxima (e não ao deslocamento sobre a rampa), a medição ideal seria da altura máxima atingida pela esfera. Tínhamos claro, entretanto, por nossas experiências pessoais que tal nível de formalização seria praticamente impossível de acontecer neste momento, que seria necessária uma atuação do(s) professor(es) para encaminhar as discussões neste sentido. Independentemente disso, achamos conveniente que os alunos pudessem criar uma metodologia para resolver a questão proposta e pensar sobre os erros envolvidos no experimento.

O arranjo experimental e a utilização dele envolveriam uma série de limitações, principalmente devido aos atritos. Esperávamos que os alunos, percebendo as variações nas medidas, procurassem modos de obter dados mais confiáveis. Entendemos que faria parte do processo de alfabetização científica reconhecer a existência dos erros experimentais e discutir os modos de minimizá-los sempre que possível. Também não nos incomodamos inicialmente com a esperada dissipação de energia e até acreditávamos ser esse um fator positivo para o resultado do experimento, uma vez que alguns autores argumentam que a percepção da dissipação da energia é tão relevante para uma compreensão correta dos saberes da ciência, quanto a percepção das ideias de transformação e conservação da energia. Jacques & Alves Filho (2008) apontam como, ao contrário disto, nos livros didáticos valoriza-se apenas a conservação e a transformação da energia, embora as três dimensões (conservação, transformação e dissipação) sejam fundamentais para a compreensão do conceito de energia e do PCE.

Durante nossas discussões com os estudantes sobre as variações que ocorrem em uma experimentação, proporíamos o uso de médias aritméticas como o valor mais adequado de alcance para cada elongação da mola. Em consequência disto apresentaríamos a necessidade da repetição sistemática das medidas para minimizar os erros no resultado do experimento.

Depois dos alunos trabalharem as medidas realizadas, chegando a um valor médio de alcance da bolinha para cada elongação da mola, seria o momento de apresentar-lhes o tratamento matemático de determinação dos desvios das medidas e do desvio-padrão para cada elongação. Nesta etapa, o objetivo consistia em apresentar a ligação entre a realização de experimentos, que envolvem erros e limitações práticas, e a construção das teorias. A consciência dessa relação tem papel fundamental na visão de Ciência que buscamos construir: menos “exata” e “determinista” e mais “complexa” e “crítica”.

A próxima etapa da nossa proposta seria discutir com os alunos os resultados obtidos. Ensinaríamos a calcular, a partir dos deslocamentos ao longo da rampa, a altura em relação ao solo e procuraríamos relacionar graficamente até a elongação da mola com a altura (média) atingida. Então, a partir dessas comparações, pretendíamos verificar se eram capazes de formular, ainda que de maneira intuitiva e com suas próprias palavras, o papel da energia potencial elástica na determinação da altura atingida.

E, então, definiríamos o que são as energias cinética, potencial gravitacional e elástica para que pudessem aplicar as fórmulas de energia potencial elástica e energia potencial gravitacional aos resultados de seus experimentos. Com base na esperada dissonância entre os resultados experimentais e teóricos, estabeleceríamos uma rodada de discussões sobre a conservação de energia (nos casos ideais) e da dissipação de energia (nos casos reais).

Finalmente, como último passo, pretendíamos abordar os modos de registrar e divulgar os resultados obtidos. Seria apresentado a eles um modelo de relatório experimental e a última tarefa dos alunos seria elaborar seus relatórios.

Mas experimentos nunca estão isentos de erros. Em uma primeira aproximação, de uma perspectiva ingênua, pode-se até dizer que, na Física, é a redução dos erros no estudo experimental de um fenômeno que leva a uma maior compreensão dele. Erro nessa visão é algo, então, a ser evitado, reduzido, minimizado. O planejamento de experimentos voltados ao ensino de Física pode carregar esta ideia de erro que, etimologicamente, significa perder-se, andar sem destino, cometer uma inadequação⁴.

⁴Segundo o Dicionário Etimológico Resumido, o significado original do termo errar é de vagar, a “pessoa *erra* [grifo nosso] até encontrar o caminho certo, que havia perdido” (Nascente, 1966). Bondía (2002), defendendo uma concepção de educação baseada no par experiência/sentido (em contraposição aos pares ciência/técnica e teoria/prática), argumenta

Se pensarmos desta forma a educação científica, ou seja, considerando o erro como um perigo a ser evitado, o melhor seria não se desviar de um programa, de um tema, de uma rotina para que tudo saia como planejado, para que o aprendizado seja positivo, rigoroso, sequenciado, seguro... Se pensarmos desta forma, iremos descartar o uso de experimentação como meio de investigação científica no campo da educação científica. Mas acreditamos que essa prática (de abolir a investigação por meio de experimentos) não deva ser considerada porque reforça uma visão positivista, determinista, exata da ciência, o que não coaduna com a história dela (Gil-Pérez et al., 2001).

O uso de procedimentos experimentais nas aulas de Física (como na ciência do laboratório) traz consigo inevitavelmente esta dimensão incontrollável, em algum nível, do processo. Isto pode causar certa insegurança, chegando ao ponto de alguns professores evitarem realizar atividades práticas em sala e preferirem (também por questões práticas, devemos reconhecer) atividades demonstrativas a investigativas.

Em nosso caso específico, a introdução da proposta de investigação para os alunos e as aulas de medição de variáveis úteis à análise do experimento seguiram nosso planejamento inicial. Percebemos os erros experimentais inerentes às realizações das medidas, dialogamos com os alunos sobre as formas de reduzir os erros da experimentação, definimos até mesmo procedimentos diferentes para cada grupo (com a participação das turmas inteiras), com o objetivo de justamente avaliar como os erros experimentais poderiam influir nas conclusões que poderiam ser realizadas.

Mas, muito além das discussões sobre os desvios e erros experimentais, foi o afloramento de concepções espontâneas decorrente da discussão proposta e as limitações de nosso arranjo experimental que acabaram por nos obrigar a reconstruir nossa sequência didática, o que nos permitiu aprofundar a discussão sobre o próprio ensino de ciências. O erro (isto é, a sua compreensão, a sua redução, a sua valorização) tornou-se, por assim dizer, o foco da atividade, tanto no planejamento quanto na sua realização.

A realização da sequência didática, a presença do erro e a sua reformulação

Como ponto de partida, apresentou-se aos alunos o arranjo experimental e a função de cada elemento dele (mola, canaleta, disparador etc.) e a forma de manuseio. Um lançamento foi realizado como forma de demonstração do funcionamento do arranjo experimental. No experimento, o corpo – uma esfera rígida de aço – é impulsionado por uma mola anteriormente comprimida, eleva-se durante o percurso na rampa inclinada e atinge sua altura máxima. Seguiu-se então a atividade investigativa, propriamente dita, instigada por uma questão problema: “É possível prever o ponto de maior alcance apresentado pela esfera uma vez conhecida a compressão da mola?”. A falta de menção à altura alcançada pela esfera foi intencional para se evitar interferências diretas nas hipóteses levantadas pelos estudantes na formulação das investigações deles.

Os estudantes iniciaram o trabalho em pequenos grupos e as primeiras medições foram livres. Os alunos perceberam logo que haveria imprecisão nos resultados das medidas. O alcance das esferas ao longo da rampa era medido com uma fita métrica e houve impasse quanto à leitura dos valores na fita e principalmente sobre o posicionamento dela. Neste momento, eles se questionavam se a fita deveria ser colocada no extremo da rampa, na saída do tubo de lançamento ou em algum outro ponto intermediário. Cada equipe fez uma escolha, mas quase todas precisaram perguntar aos orientadores (professor da turma e bolsistas) sobre isso. Em vez de dar uma resposta pronta e acabada, foi-lhes apresentada a necessidade de um referencial confiável, com a possibilidade de estabelecer uma posição numérica para a esfera em qualquer momento de sua

que a palavra experiência está etimologicamente ligada às palavras perigo e travessia. Nisto “experiência” e “erro” encontram-se: o erro na experiência é extraviar-se, perder o bom rumo.

trajetória. Ao final, o diálogo entre as equipes levou a uma padronização da saída do tubo como ponto zero do referencial que seguia a inclinação da rampa reta usada. Um dos pontos interessantes dessa escolha, na visão dos orientadores, foi que o ponto em que a bola efetivamente desprendia da mola que estava em uma posição negativa do referencial, o que daria uma discussão na aplicação futura de fórmulas de energia e na análise de sua conservação.

O maior problema em nossa atividade investigativa, que ocasionou o maior erro experimental, consistiu no sistema de lançamento das esferas, que exigia certa destreza para que as medidas fossem úteis. O atrito do êmbolo com o tubo, a interação da mão com a haste do lançador, o atrito da bolinha com a superfície e o posicionamento da rampa foram algumas das fontes mais determinantes nos erros experimentais. As diferenças foram muito significativas entre lançamentos sucessivos, ou seja, os lançamentos atingiam diferentes alcances para uma mesma compressão da mola. Embora isso fosse esperado (e até mesmo considerado um fator positivo, para a futura discussão sobre os erros experimentais), os valores mostraram-se mais tarde muito inconsistentes, por exemplo: Como compressões menores poderiam resultar em alcances maiores?

A discussão realizada em um coletivo da sala não foi terminada com uma orientação sistematizadora. Foi antes levantado junto aos alunos quais eram as incongruências observadas e pedido que tentassem encontrar sua origem e propusessem meios de reduzir os efeitos desse problema. Os orientadores, neste momento, apresentaram esta face dos experimentos científicos, argumentando sobre a impossibilidade de ausência de erro experimental. Perguntou-se aos alunos então: “Se não há como evitar os erros de medição, o que podemos fazer para diminuir seus efeitos em nossa análise a partir do experimento?”. O ponto mais significativo foi a compreensão, por parte dos alunos, da proposição da necessidade de realizar as medidas algumas vezes. A discussão prolongou-se por três aulas, com a ampla possibilidade de participação dos alunos.

Abaixo apresentamos parte do relato da aula do dia 28/04/2015 elaborado pelo professor em formação, na qual ocorreram os seguintes debates:

- Qual era mesmo a questão que devemos responder?

Os alunos não souberam refazer a pergunta e, por isso, coloquei a pergunta novamente na lousa. Em seguida perguntei quais foram as dificuldades enfrentadas na realização do experimento.

- A velocidade com que soltamos a bola, alguém disse.

Perguntei se sabiam como resolver este problema.

- Medindo o quanto puxamos (o lançador) ao soltar a bolinha, respondeu outro aluno.

Ponderei então:

- Mas vocês estavam me dizendo agora há pouco que puxando o mesmo tanto (o lançador) ainda assim a bola pode sair com velocidades diferentes...

- É...

- Como fazer então? – perguntei.

- Soltando com a mesma velocidade!

- Mas, de novo, como sabemos a velocidade? – indaguei.

- Puxando sempre o mesmo tanto e soltando do mesmo modo.

Vendo que seria necessária uma intervenção, fiz a seguinte consideração:

- Então vou sugerir o seguinte: soltem a bola com a mesma compressão várias vezes para vocês verem o comportamento da bolinha. Vamos tomar algumas medidas também? [o objetivo aqui foi o de constatarem definitivamente que somente a fixação da medida da elongação da mola não resolveria o problema da determinação do alcance da esfera. Havia outras coisas em jogo].

- Ok.

...

Fizeram o pedido, mas ainda houve dúvidas.

- Mas, professor, cada vez que eu solto a bolinha dá uma medida diferente.

- Como vocês estão soltando ela? Com a mesma compressão?

- Não, com a mesma velocidade.

- Mas como vocês sabem que a velocidade no lançamento é sempre a mesma?

- Não dá pra saber.

- Mas aí então não vamos conseguir chegar a conclusão alguma – disse eu.

- Tá. Mas o que podemos fazer?

- Vocês poderiam soltar várias vezes com a mesma medida [de alongação da mola] e ver o que acontece.

- Ok.

...

Algum tempo depois a dúvida ainda persistia em alguns grupos.

- Pessoal, presta atenção... Se você vai numa farmácia para se “pesar” e vê que dá 78kg, em outra dá 75kg. Você pode dizer COM CERTEZA seu “*peso*”? Ou você fica em dúvida?

- ...

- Como fazer para tirar essa dúvida?

- Tem que repetir a medida, disse um aluno.

- Então vamos fazer isso. Vamos medir até que os números comecem a se repetir? Se mais de um número repetir várias vezes será que este número tem algum significado? [a análise estatística não era neste momento o foco da atividade e, por isso, a discussão sobre média, moda etc. ficaria para depois. Esta afirmação do professor, entretanto, iria induzir alguns alunos a buscar a repetição dos valores como sinal de que o valor do alcance médio teria sido encontrado. A discussão posterior sobre média e moda seria necessária para desfazer esta ideia].

- ...

- Bom, não importa se vocês mediram errado até agora, mas quero que vocês vão aprimorando o processo para podermos tirar alguma conclusão depois, ok?

- Ok.

Uma questão ainda referente a esta argumentação retornou nas aulas subsequentes: qual a quantidade de medidas diferentes de alongação da mola deve-se usar e quantas repetições fazer para cada valor de alongação? Anotações do professor sobre a aula de 11/05/15 para a turma do noturno reportam que:

Discutia-se [alunos com os bolsistas] quantas medidas tirar. Quantas medidas de alongação da mola seriam suficientes para tirar uma conclusão sobre a questão de investigação? Senti [professor] que os alunos perceberam, mesmo sem verbalizar, que os limites do material usado no experimento (tamanho da mola, tamanho do pivô de lançamento e tamanho da rampa) limitariam a possibilidade de medição (em termos da quantidade de medidas de alongação da mola a serem computadas). À princípio pareciam estar contentes com duas medidas diferentes de alongação da mola. Tomei [professor] a palavra e coloquei a situação da seguinte maneira:

- Vamos imaginar que construímos um gráfico de alcance médio da bolinha em função da alongação da mola [desenhei no quadro um gráfico com dois pontos, com alongações de 2cm e 4cm e respectivos valores hipotéticos de alcance médio]. Agora imaginem que para 2cm de alongação da mola o resultado foi este e que para 4cm o resultado é aquele. O valor referente a 3cm de alongação da mola será em que ponto?”

Eles tenderam a dizer que seria o valor intermediário do alcance. Ao que continuei minha discussão:

- Mas não poderia ser assim? [e mostrei linhas diferentes ligando os dois pontos, uma reta e uma linha de função quadrática, deixando claro que o alcance médio do ponto de alongação 3cm não seria o mesmo nos dois casos].

Como eles disseram que poderia, argumentei que então duas medidas apenas era pouco para concluir algo sobre o comportamento do movimento da bolinha. A discussão voltou às mãos dos bolsistas e a seguir os alunos decidiram [com o auxílio dos bolsistas] a medir de 1 em 1cm, de um valor mínimo de 1cm a um valor máximo de 5cm.

Os alunos também questionavam se deveriam fazer as medidas até que um valor se repetisse. O bolsista que estava ministrando as aulas nessa turma discutiu com os alunos nesta mesma aula de 11/05/15 (bem como na turma do diurno) casos numéricos exemplares para que percebessem que essa não seria a melhor opção. Os próprios alunos propuseram um número de quinze repetições para alcançarem uma média. Alguns queriam menos repetições, outros mais, mas propusemos um número de repetições iguais para todos os grupos. Os orientadores disseram que aprenderiam logo adiante a avaliar o peso dos erros destas medições na determinação do valor médio para o alcance referente a cada alongação da mola.

Outro dado relevante à condução desta atividade de ensino foi a curiosidade sobre os erros de medida, que os levou a estabelecer diferenças na metodologia de trabalho dos grupos. Houve uma discussão sobre a possibilidade de seleção de medidas (com o descarte de medições nitidamente equivocadas). O debate seguiu-se acalorado sobre como saber se uma medida podia ser

descartada ou não. Os orientadores fizeram então uma proposta, aceita de imediato: dois grupos poderiam manter todas as suas medidas, erradas ou não, enquanto que dois grupos tentariam uma pré-seleção dos dados, eliminando os que estavam claramente divergindo do conjunto. Ao final, nós tentaríamos analisar qual o efeito dessa prática na precisão dos grupos. E as duas turmas selecionadas decidiram escolher quais dos grupos iriam registrar todas as medições realizadas e quais iriam fazer uma pré-seleção dos resultados. Ficaram muito curiosos para ver como tais procedimentos poderiam influir nos resultados de uns e outros grupos.

De uma forma geral, as discussões sobre os erros experimentais estabeleceram um outro patamar de relevância para a atividade. Os alunos, ao que parece, depois de uma sequência de medições, puderam, como resposta às nossas discussões, perceber a necessidade de maior empenho e cuidado nas medições e perceberam com mais seriedade o trabalho deles. Algumas equipes recomeçaram do zero suas medidas, outras resolveram aproveitar alguma coisa. Havia certo desgosto neste momento, para alguns alunos, na repetição do processo, mas a maioria ainda estava motivada. Nesta etapa do trabalho foram-lhes dadas sugestões mais assertivas de como proceder as medições.

O próximo passo era propormos aos alunos a análise física do experimento para o reconhecimento das formas de energia envolvidas nele. Planejamos esse momento para a etapa anterior aos cálculos das médias de deslocamento obtidos experimentalmente com seus desvios padrão e a comparação dos resultados dentro de cada equipe, para diferentes valores de alongação da mola, bem como a comparação dos resultados de diferentes equipes para valores iguais de alongação da mola. Era o momento principalmente de discutir sobre a concepção de energia e relacionar as formas de energia envolvidas no experimento e quais fatores influem na determinação (cálculo) de cada uma. As questões escolhidas para orientar os debates foram: O que acontece a partir do momento no qual se lança a esfera? A velocidade da esfera com relação à rampa é sempre a mesma? Como a esfera “sabe” até onde pode ir? Como é possível que a compressão da mola interfira no alcance da esfera? Uma vez feito isso, a análise da conservação/dissipação de energia poderia ser levantada com a referência aos resultados experimentais e às discussões teóricas empreendidas.

Aconteceu então que, neste diálogo introdutório, os alunos apresentaram a concepção espontânea de *impetus*, conforme o relato do dia 05/06/15, na turma do diurno, a seguir:

As questões foram lançadas conjuntamente no início da aula depois de uma breve revisão do processo por eles experimentado até então. Uma das respostas mais interessante à questão 3 [Como a esfera “sabe” até onde pode ir?] foi a de um aluno que disse que a bolinha teria seu alcance determinado pela força que a mola fazia. O que a princípio era uma resposta inquestionável mudou quando se percebeu que o aluno entendia que a força da mola passava à bolinha e que a força ia acabando e, por isso, a bolinha acabava parando, uma visão aristotélica do movimento. Outra resposta parecida foi a de que a velocidade ia sendo consumida.

Em um dado momento da aula, o bolsista que ministrava a aula colocou a questão 3 nos seguintes termos: quando a mola é comprimida e solta, ela interage com a bolinha e a bolinha ganha velocidade. Em função da velocidade com que a bolinha é lançada, o alcance será maior ou menor. Puxando mais, a bolinha vai mais alto. Como tal “informação” é passada à bolinha se sabemos que a bolinha não “decide” parar ou continuar? É preciso explicar isso de alguma forma. Um dos alunos então sugeriu: é uma questão de energia.

Por um momento estivemos propensos a já abordar os conceitos de energia, mas o professor decidiu interromper tal discussão provisoriamente por dois motivos: primeiro porque foi um aluno apenas que lançou a ideia e os outros não a retomaram (será que só porque um aluno lançou o tema todos os outros estavam prontos a aprofundar nele?) e, segundo, porque achou por bem discutir com o bolsista se não seria necessário discutir melhor com eles a questão do “consumo da força”.

Em nossa preparação do experimento não consideramos a possibilidade de discussão sobre o tema, embora a posteriori tenhamos reconhecido que o surgimento da divergência entre as concepções de força, energia e *impetus* seria algo muito provável. Na primeira aula de diálogos teóricos, preferimos levantar as questões que o experimento coloca para a compreensão dos movimentos, de um modo geral, a buscar quaisquer conclusões teóricas sistematizadas. Muito

embora considerássemos improvável que os alunos se referissem à palavra energia e muito menos improvável a formulação por parte deles do Princípio da Conservação de Energia, esperávamos que, com um pouco mais de tempo para a reflexão individual e coletiva, a noção de *impetus* fosse avaliada mais criticamente e que alguma referência à noção de energia aflorasse.

Na aula seguinte, inesperadamente o conceito de *impetus* se mostrou ainda mais arraigado nos discursos e a discussão sobre o experimento pareceu extremamente significativa para os alunos. À princípio, estávamos decididos a simplesmente apresentar as fórmulas de energia e seguir adiante. Perdemos o rumo. Ou melhor, deixamo-nos perder o rumo, pois entendemos que forçar a atividade no caminho planejado não seria a melhor opção para o processo de alfabetização científica dos alunos. Voltamos ao nosso planejamento e o refizemos para aprofundarmos o debate.

O recorte abaixo do registro feito pelo professor da disciplina sobre a aula de 12/06/15 no período diurno mostra um exemplo de debate que ocorreu durante esta etapa da sequência didática.

Nesta aula demos prosseguimento à discussão sobre a questão pendente de nossa aula anterior: *a força da mola acompanha o movimento da esfera e vai diminuindo até acabar e é por isso que a esfera para?* O bolsista que ministrava a aula deu início a uma discussão sobre a importância de definirmos um significado para palavras como força e usarmos a palavra conscientes deste significado. Perguntamos se, após o lançamento, alguma coisa ocorrer à mola isto irá afetar o movimento da esfera. A maioria concordou que não. Mas alguns diziam que a força da mola acompanha a esfera. Face a um certo temor de exporem-se, o professor aproveitou para lembrar a visão aristotélica de força e movimento, especialmente a questão dos movimentos violentos, e afirmou que o debate foi intenso e perdurou por séculos, mas que [se] acabou rechaçando as ideias do filósofo. Alguns alunos permaneciam firmes na sua convicção de que a força da mola permanecia empurrando a bola durante todo o movimento, conforme o diálogo a seguir:

Bolsista: A força da mola não continua porque cessou a interação com a bola. O que quer que aconteça com o lançador não afetaria o movimento da esfera. Se o lançador fosse destruído ainda assim a esfera seguiria em seu movimento. Mas há outra coisa que continua “na bolinha” após o lançamento.

Aluno: Não seria energia?

Bolsista: Não conhecemos o sentido de “energia” assim como não discutimos exatamente o sentido da palavra força, mas esta é uma palavra interessante [começa a discutir com os alunos a questão da inclinação da rampa, com o objetivo de chegar à influência gravitacional].

Aluno: Não é por causa da gravidade?

Aluno: é por causa do oxigênio.

Bolsista: Oxigênio? Como assim?

Aluno (outro): A bolinha precisa respirar (risos).

Bolsista: Vocês concordam com a ideia de que quanto menor a inclinação, mais longe ela vai (na rampa)? Quem concorda?

Eles levantam a mão timidamente, mas a maioria concordava.

Bolsista: Se a bolinha for solta na horizontal quando ela vai parar?

Aluno: Longe...

Bolsista: Quanto?

Aluno: até a força acabar.

Bolsista: A força vai acabar?

Aluno: Ah, professor! Coloca logo força dividindo pelo tempo é igual...

Professor: De novo, retomo Aristóteles, a noção de movimento forçado. Falo sobre o movimento da flecha, que ele explicava como a ação continua do ar empurrando a mesma. E falo que a análise destes movimentos gerava muitas dúvidas [e que valia a pena discutirmos sobre o assunto].

Bolsista: Se eu desse um tiro de fuzil no espaço, onde não tem ar, a bala seguiria adiante? Um projétil, uma flecha precisam do ar para se movimentar?

Aluno: O ar é necessário.

Aluno: Se não fosse o ar a bolinha não ganhava velocidade.

Aluno: O projétil no espaço ia flutuar.

Aluno: O mesmo lançamento no espaço ia ser diferente. Ela (bolinha) ia menos longe.

Bolsista: Aqui nesta sala, se eu tirar o ar a bolinha ia cair ou não?

Alunos (a maioria): Ia. Mas uma aluna balançava a cabeça negando. Fazia uma gesticulação de que ela iria flutuar.

Bolsista: Soltando uma pedra na água, a pedra cai ou não?

Alunos: Cai.

Bolsista: O homem no Everest solta a pedra. Ela cai ou não cai?

Alunos: Cai.

Bolsista: Vocês já viram o vídeo do homem na lua soltando uma pedra?

Alunos: Sim.

Bolsista: A pedra cai ou não cai?

Alunos: Cai, mas cai mais devagar.

Bolsista: Quais as duas diferenças principais da lua para a Terra?

Aluno: Não tem oxigênio.

Bolsista: Não tem atmosfera. Então a pedra cai mais devagar porque não tem ar ou porque a gravidade é menor?

Aluno: Porque a gravidade é menor.

[bate o sinal do fim da aula]

O interesse dos alunos na atividade superou as nossas expectativas. Na aula seguinte, no mesmo dia, expusemos a ideia newtoniana de força como interação, ou seja, se não há uma interação entre dois corpos não podemos dizer que há força entre eles. Pudemos considerar então as interações esfera-mola, bem como esfera-canaleta, esfera-Terra, rolha-cano etc. Foi construída aí uma ideia que pareceu ser compreendida pela maioria dos alunos: a força entre dois corpos só pode alterar o estado de movimento dos dois corpos enquanto existir a interação. Uma vez cessada a interação, a força está cessada e não pode afetar nem um nem outro dos corpos que antes interagiam. Outro trecho de nossos registros, na segunda aula deste dia de 12/06/15, reforça essas ideias:

Então perguntamos: quando a mola está empurrando a esfera elas estão interagindo, mas, quando a mola e a esfera perdem contato, a mola continua interagindo com a esfera? A resposta foi negativa. Então pudemos concluir que a força da mola não acompanha a esfera em seu movimento completo. Com isso questionamos a visão aristotélica na análise dos alunos, de alguns pelo menos. Em alguns momentos distintos da aula perguntamos novamente se a mola interagia com a esfera ao longo de todo seu movimento e, durante o restante da aula, a resposta foi negativa.

Pudemos, assim, por meio desse processo, apresentar elementos para os alunos repensarem algumas visões sobre os movimentos e expor as noções de energia cinética, potencial elástica e potencial gravitacional de forma dialógica. Um passo para este objetivo foi a apresentação da diferença entre força de contato e força à distância. Colocamos que, se no caso da mola com a esfera, é preciso um contato físico para que exista uma interação, ou uma força entre elas, e há situações em que o contato físico é desnecessário. E foi então que listamos a Terra como um corpo importante na análise do experimento. Argumentamos que a força da gravidade, a força de interação entre a Terra e a esfera, não depende do contato físico entre elas, tanto que um corpo no espaço pode “sentir” a atração gravitacional da Terra.

Para a construção da ideia de conservação de energia com base nos resultados experimentais seria necessário, seguindo nosso planejamento inicial, os cálculos das médias dos deslocamentos das esferas, dos desvios-padrão e a utilização desses valores e das elongações das molas para o cálculo da energia mecânica nos pontos mais baixo e mais alto da rampa. Poderíamos comparar os resultados experimentais com os teóricos e apresentar o PCE. O resultado do experimento e das discussões viria *naturalmente* na sequência, na forma do relatório final. Esta etapa foi desenvolvida de maneira expositiva, com a apresentação da forma de cálculo da média e dos erros de medição e os significados para a pesquisa que desenvolviam. Coube aos alunos a tarefa de aplicar estes procedimentos aos seus dados e os apresentar. A imagem abaixo é um recorte do trabalho apresentado por alunos do diurno com os cálculos realizados por eles:

| Medida | a (cm) | $s = a - \bar{a}$ | s^2 |
|--------|--------|-------------------|-------|
| 1 | 27 | 6,7 | 44,89 |
| 2 | 26 | 5,7 | 32,49 |
| 3 | 23 | 2,7 | 7,29 |
| 4 | 18 | -2,3 | 5,29 |
| 5 | 29 | 8,7 | 75,69 |
| 6 | 27 | 6,7 | 44,89 |
| 7 | 29 | 8,7 | 75,69 |
| 8 | 25 | 5,7 | 32,49 |
| 9 | 23 | 2,7 | 7,29 |
| 10 | 22 | 1,7 | 2,89 |

$\bar{a} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7 + a_8 + a_9 + a_{10}}{10}$
 $\bar{a} = \frac{27 + 26 + 23 + 18 + 29 + 27 + 29 + 25 + 23 + 22}{10}$
 $\bar{a} = \frac{203}{10}$
 $\bar{a} = 20,3 \text{ cm}$
 $s = \pm \sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + s_4^2 + s_5^2 + s_6^2 + s_7^2 + s_8^2 + s_9^2 + s_{10}^2}{N(N-1)}}$
 $s = \pm \sqrt{\frac{44,89 + 32,49 + 7,29 + 5,29 + 75,69 + 44,89 + 75,69 + 32,49 + 7,29 + 2,89}{10 \cdot (10-1)}}$
 $s = \pm \sqrt{\frac{328,9}{90}}$

Figura 2: Relatório realizado por alunos.

Em virtude do tempo para fechamento de notas bimestrais, o objetivo de pedir a produção de um relatório completo aos alunos tornou-se inviável. Os dados apresentados mostraram-se inadequados ao nosso intento de, a partir dos resultados experimentais, discutir sobre a conservação de energia mesmo que com observações bem pontuais ou aproximadas. Podemos ver isso na tabela abaixo, que traz os resultados de alcance da esfera obtidos pelos grupos que, nas várias turmas em que se desenvolveu a atividade, trabalharam com uma rampa específica, a rampa de número 3. Os espaços em branco ocorrem porque os grupos usaram apenas algumas elongações da mola e os valores de elongação variaram de um grupo para outro.

Tabela 1: Alguns dados experimentais recolhidos pelos alunos.

| Elongação da mola (cm) | 1.o1 | 1.o2 | 1.o3 | 1.o4 | 1.o5 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | mat | mat | mat | mat | not |
| | A (cm) |
| 1 | | 4 ± 1 | 1 ± 0 | 4 ± 1 | 9 ± 2 |
| 1,5 | | | | 6 ± 1 | 14 ± 2 |
| 2 | | 5 ± 1 | 8 ± 1 | 9 ± 1 | |
| 2,5 | | | | 11 ± 3 | 29 ± 4 |
| 3 | 22 ± 2 | 6 ± 1 | 29 ± 2 | 22 ± 3 | 35 ± 5 |
| 3,5 | | | | | |
| 4 | 40 ± 3 | 8 ± 1 | 58 ± 3 | | |
| 4,5 | | | 78 ± 1 | | |
| 5 | | | | | 65 ± 9 |
| 6 | 83 ± 7 | | | | |

A enorme variação de dados revelava, por um lado, os limites sérios de nosso arranjo experimental (muito maiores do que o esperado com base em nossos pré-testes), o que fazia com

que o processo de lançamento da esfera tivesse influência imensa sobre o resultado da medição. Por outro lado, revelam uma necessidade de maior empenho dos orientadores em recolher e reproduzir em cópias os resultados obtidos a cada passo da sequência para conferir os avanços e retrocessos dos grupos. A liberdade de produção dada aos alunos acarretou, em parte, as inconsistências do processo. Houve grupos que não seguiram todas as orientações e combinados, que apresentaram dados incompletos, que descartaram seus dados antes do final do processo, que tiveram de refazer os cálculos e atrasaram a entrega dos mesmos, que dividiram tarefas de um modo inconveniente... Mas também ocorreram problemas inesperados dos quais não se pôde desviar: houve um grupo da turma do noturno que se desfez na metade do processo pela transferência ou evasão da maioria de seus participantes, houve momentos em que as atividades foram prejudicadas por outras atividades da escola... Enfim, uma série de acontecimentos inviabilizava a sequência tal como fora imaginada.

Tendo em vista a exiguidade do tempo para pedir um relatório final e todas as inconsistências apresentadas acima, o professor das turmas decidiu então, como trabalho final da sequência, propor a seguinte atividade para as turmas: feita uma cópia com os resultados obtidos por elas e pelas outras três em que o professor sozinho aplicava as tarefas, os alunos divididos em duplas ou trios deveriam comparar os resultados obtidos de uma forma geral e fazer uma avaliação do que se podia concluir com esses dados, mesmo com todas suas dificuldades e limitações. A tabela acima é o exemplo para a rampa de número três dos dados sistematizados por todos que trabalharam com ela.

Os escritos dos alunos buscaram na sua maior parte a comparação dos números em si, como podemos ver no primeiro trecho abaixo. Mas houve tentativas de justificar as diferenças, a maior parte delas reconhecendo as limitações do experimento, mas alguns reafirmam que seria impossível a inexistência do erro. Abaixo estão transcritos trechos dos relatórios de alguns grupos:

“Na rampa 3 eu consegui reparar que a rampa era um pouco mais inclinada porque os valores começam muito pequenos como ($1\text{cm}=1\pm 0$ e 4 ± 1) mais [mas] terminam com valores altos como ($4,5\text{cm}=78\pm 1$) e ($6\text{cm}=83\pm 7$). Nessa rampa percebemos valores mais baixos no começo e altos nos últimos.”

“Percebemos [percebemos] que cada sala deu resultados bem diferentes, alguns até próximos [sic] mais [mas] nenhum igual. (...) Tudo dependeu de quem jogou, a força que fez, se a rampa estava certa [querem dizer aqui na inclinação correta], se a pessoa que jogou médio [mediu] certo, até mesmo a bolinha [bolinha] que dependia como jogava ela caía.”

“Os valores de cada turma varia[m] bastante de cada pessoa, pois depende muito da força e o jeito que a pessoa puxa a mola, cada um tem uma força diferente, nunca tem um valor exato, vai ser sempre aproximado. Apesar das molas serem iguais e as “bolas” serem idênticas, os valores vão continuar variando, pois varia muito da força de cada pessoa que está puxando.”

“Chegamos a [à] conclusão [de] que os valores aumentam mais quando a mola é mais comprimida, tem há bastante diferença de valores conforme a rampa.”

“Os resultados no todo não deram resultados iguais, pois tem muitas coisas que influenciam como a mola a bolinha e até mesmo a rampa, porque o atrito não deixa. Na maioria é mais alto ou mais rápido. O vento [quis dizer o ar] também influencia na altura porque ele segura a bolinha criando um tipo de barreira. O peso da bolinha interfere na altura e na velocidade, a inclinação da rampa, às vezes o defeito da mola, a canaleta está, às vezes, muito fechada e nisso a bolinha prende na canaleta, as vezes a esfera também dá defeito [o que quer que isso queira significar].”

Como podemos ver, apesar de um trabalho minucioso e exaustivo de discussão verdadeira, de construção de diálogo teórico em que os alunos foram ouvidos e tiveram suas afirmações analisadas por outros alunos e pelos orientadores da atividade, apesar de um trabalho longo de discussão e experimentação com várias situações de problematização, ainda assim há muitas afirmações, algumas pré-concebidas como aquela de uma pessoa “possuir força”, que poderiam ser colocadas em debate. Mas ainda assim as observações de sala de aula apontam para certa apreensão da complexidade do fazer experimental.

Neste momento, o professor da turma julgou que não convinha estender mais a sequência porque o tempo para a continuação e aprofundamento das discussões sobre a conservação da

energia era exíguo, porque os alunos queriam mudar de assunto e porque entendeu-se que a discussão ocorrida em todas as rodadas de análise tinha resultado em um aprendizado relevante para o objetivo primeiro do processo, o de apresentar o fazer científico em sua complexidade. E, como atividade final da sequência, então, o professor das turmas fez uma revisão de todos os passos dela e concluiu com uma explicação geral do experimento, no qual usou os conceitos discutidos nas aulas, principalmente dos conceitos de energia cinética, potencial gravitacional e elástica.

Considerações finais

O ensino tecnicista é ainda uma prática bem comum em escolas de educação básica no Brasil. A ideia geral de que o professor passa seus conhecimentos ao aluno, que os absorve e replica, já foi suficientemente contestada por Paulo Freire. O autor, no livro “Pedagogia da Autonomia” (FREIRE, 2015), estabelece critérios, a nosso ver, mais coerentes para a Educação. Entre outras coisas, para Freire, ensinar exige pesquisa, respeito aos saberes dos educandos, reflexão crítica sobre a prática, consciência do inacabamento, respeito à autonomia do ser do educando, bom senso, curiosidade, liberdade e autoridade e disponibilidade ao diálogo.

Muitas experiências recentes de ensino de Física têm sido descritas na literatura com o objetivo de fazer este ensino mais crítico, mais participativo e mais agradável aos alunos (por exemplo: Bellucco & Carvalho, 2014; Mortimer & Scott, 2002; Souza & Sasseron, 2012a, 2012b). Em particular os relatos com uso de experimentos no ensino buscam a melhoria do rendimento dos alunos por meio da observação e investigação de fenômenos físicos. Entretanto é incomum relatar-se uma preocupação com os erros experimentais e procedimentais nestes experimentos de ensino. Tem-se a impressão de que, como argumentamos, que os erros são vistos como algo a ser evitado ao máximo para que o que é correto aflore. E o correto é o que condiz com o previsto pela teoria ensinada.

Não queremos obviamente aqui defender que só se deva usar experimentos que não corroborem as teorias ensinadas, mas queremos argumentar que, para o processo de alfabetização científica dos alunos: (1) não é coerente apresentar a experimentação como uma atividade que leva ao descobrimento de uma verdade científica, uma vez que a teoria, mesmo quando vem da observação de fenômenos, é uma interpretação do observado com base no referencial adotado pelos cientistas; (2) é preciso reconhecer e ensinar que não existe experimento sem erro e, por isso, todo resultado experimental é sempre uma aproximação (não existe experimento que funcione *perfeitamente*, mesmo que seus resultados saiam como o previsto); e (3) um experimento educacional construído sob algumas bases criteriosas pode ter significado para a formação do aluno, mesmo que seus resultados não sejam conclusivos. Vamos retomar tais pontos abaixo com maior detalhamento.

No primeiro ponto, podemos aproximar a prática da experimentação tal como descrita com o ato de ensinar ao aluno apenas a concepção teórica vigente sobre um fenômeno. A ideia de que um ser humano privilegiado construiu uma teoria correta para desbancar os que insistiam em erros mais ou menos grosseiros na análise de um fenômeno equivale ao ser humano privilegiado na capacidade de criação de artefatos e na observação da natureza que, com sua destreza, aponta os erros mais ou menos grosseiros nas observações de seus antepassados ou contemporâneos. E para caracterizar o privilégio destes teóricos e práticos é preciso que a experimentação e a construção teórica sejam representadas como a descoberta da verdade. Um ensino de ciências com base nesses pressupostos não apresenta a complexidade do fazer científico e desestimula a dedicação a ela, tal como apontado no trabalho de Gil-Pérez et al. (2001).

O segundo aspecto importante para uma verdadeira prática de ensino é o reconhecimento dos limites da ciência e dos cientistas, bem como dos professores e alunos. Muitas vezes, quando um experimento realizado se aproxima do resultado previsto, as pequenas diferenças podem ser

desprezadas sem maiores escrúpulos. Chegamos ao resultado desejado. Mas não seria importante avaliar com os experimentadores as possíveis causas dos desvios observados? Não há ali algo a se aprender? Os pesquisadores em Ensino de Ciências respondem positivamente a essas questões. Por exemplo, Bellucco & Carvalho (2009) analisam um momento rico de aprendizagem científica envolvendo a discussão sobre procedimentos experimentais, os erros e os dados obtidos em um experimento investigativo. Além disso, quando encontramos resultados que não casam com o esperado, o mais lógico é jogar todo o trabalho fora, uma vez que não atingimos os resultados esperados? Ou ao menos faz-se interessante buscar compreender os motivos dos desvios? Talvez a maior diferença entre as pesquisas científicas ocorridas nas universidades e instituições de pesquisa com os experimentos realizados nas escolas é que, nas escolas, já se sabe o que observar. O professor já sabe definir o que é esperado e o que não é e pode descartar o que considera errado. Mas esquece que o aluno não conhece o esperado e, para ele, aluno, aquele experimento pode ser tão instigante e desafiador quanto os realizados nos centros de pesquisa. Outro problema que podemos levantar aqui, neste caso, é o seguinte: o experimento *deu certo*, os alunos conseguiram encontrar dados condizentes com a teoria, o aluno foi informado sobre a teoria aceita sobre o fenômeno. Mas isso garante que ele compreendeu?

Quanto ao terceiro ponto, nosso argumento é que o aprendizado científico, mais do que a procura da compreensão de conceitos, isolados ou em sistemas, às vezes até mesmo sem conexão com a experiência dos alunos ou repetidos à exaustão, sem o diálogo efetivo sobre os fenômenos em cuja análise se mostram úteis, precisa mostrar o que é ciência e quais as bases que ela propõe para a construção de conhecimento. Um experimento realizado em sala de aula pode ser útil ainda quando *dá errado* se alguns critérios para seu uso são garantidos: (a) os conceitos que se buscam compreender não serão apresentados apenas naquele momento do curso, os conceitos investigados constituem-se em *ferramentas* que serão abordados em outros momentos do ensino básico, de outras maneiras, em outros contextos. Ou seja, não representam um detalhe, algo que poderia equivaler a uma nota de rodapé, mas conceitos que são recorrentes na Física; (b) compreende-se a ciência como produção humana e, portanto, sujeita a visões alternativas e a embates teóricos, influenciados pela cultura de uma época; mas ao mesmo tempo é preciso mostrar que há critérios de verificação científicos, que não é qualquer ideia sobre um fenômeno que será validada pelos cientistas, o que evita um total relativismo das teorias e instiga o debate criterioso das concepções colocadas em jogo. Aprender a debater, mesmo quando não se chega a conclusões definitivas, é um aprendizado importante; (c) o objetivo é usar todas as possibilidades do experimento na construção do conhecimento sobre elementos importantes da cultura científica (aprender a debater, a se comunicar de forma científica, aprender a estimar erros, a fazer e a ler gráficos, aprender a trabalhar em grupo, a usar referências bibliográficas e tantos outros saberes que extrapolam em muito o aprendizado de um único conceito). Isto equivale às dimensões conceituais, procedimentais/epistêmicas e atitudinais/sociais do ensino e da avaliação bem definidas por Carvalho (2012); (d) é preciso dar liberdade e tempo para o aluno poder criar seus métodos e desconstruí-los quando verificar que são inadequados; a garantia de tempo para retomar experimentos e realizar novas medidas e para realizar debates teóricos é muito importante porque estimula a participação e o empenho na jornada; é provavelmente tão importante quanto estimular o aluno a chegar a algum lugar, deixar o aluno errar na busca de sua compreensão do conhecimento científico e questionar sua prática (e a nossa própria) a cada momento. (e) É necessário haver liberdade de ação e tempo para os orientadores também planejarem suas atividades de sala de aula. A adoção de um processo em espiral de reflexão-ação proposta por Carr & Kemmis (2004) casa com um processo de contínuas mudanças, ao longo do tempo, na dinâmica de interação entre orientadores e alunos. A ideia é de que uma interação comece com um planejamento, indo para a ação, que sejam realizadas uma observação e uma posterior reflexão em cima do observado, para que uma nova ação seja planejada e assim se dê início a outro ciclo (Briccia & Carvalho, 2016).

Em nossa sequência didática, havíamos definido uma linha mestra, por assim dizer, para a prática de ensino, e essa linha mestra foi construída coletivamente pelo grupo de bolsistas do PIBID e pelos professores supervisor e coordenador do programa. O trabalho com os alunos de ensino médio foi acompanhado semanalmente, o que nos levou quase que naturalmente a tal espiral de reflexão-ação. Foi essa organização provavelmente que nos permitiu a mudança na sequência de ensino assim que as alterações se mostraram importantes.

Referências

- ALCÂNTARA, C. M., OLIVEIRA, G. W., CARVALHO, C. M., & CORREA FILHO, J. A. (2011). Relato de uma atividade experimental simples e de baixo custo sobre energia potencial gravitacional. In: *Anais do XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física*, Manaus, AM.
- ASTOLFI, J. P. (1999). *El «error», un medio para enseñar*. 1 ed. Sevilla: Díada.
- BACHELARD, G. (1996). *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. 1 ed. Rio de Janeiro: Contraponto.
- BELLUCCO, A., & CARVALHO, A. M. P. (2009). *Construindo a Linguagem Gráfica em Uma Aula Experimental de Física*. *Ciência e Educação (UNESP)*, 15 (1), p. 61-84.
- BELLUCCO, A., & CARVALHO, A. M. P. (2014). *Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton*. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 31(1), p. 30-59. doi: 10.5007/2175-7941.2014v31n1p30
- BRICCIA, V., & CARVALHO, A. M. P. (2016). *Competências e formação de docentes dos anos iniciais para a educação científica*. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências (Online)*, v. 18(1), p. 1-22.
- BONDÍA, J. L. (2002). *Notas sobre a experiência e o saber da experiência*. *Revista Brasileira de Educação*, 19(1), p. 20-28.
- CAMPOS, A. (2014). *A conceitualização do princípio de conservação de energia mecânica: os processos de aprendizagem e a teoria dos campos conceituais*. Tese de doutorado – USP, São Paulo.
- CARR, W., & KEMMIS, S. (2004). *Becoming Critical: education, knowledge and action research*. New York.: Taylor & Francis e-Library.
- CARVALHO, A. M. P. (2010). As práticas experimentais no ensino de Física. In A. M. P. Carvalho (Org.), *Ensino de Física* (pp. 53-78). São Paulo: Cengage Learning.
- CARVALHO, A. M. P. (2012). *Os estágios nos cursos de licenciatura*. 1 ed. São Paulo: Cengage Learning.
- CARVALHO, A. M. P. (2013). Ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In A. M. P. Carvalho (Org.), *Ensino de Ciências por Investigação* (pp. 1-20). São Paulo: Cengage Learning.
- COELHO, R. L. (2012). *Conexões filosóficas do conceito de energia*. *Ensaio Filosóficos*, 5(1), p.8-21.
- COSTA, L. B., ANDRADE, L. A., AUTH, M. A., & MARTINS, D. C. (2011). Relato de uma experiência didática tendo energia como tema gerador. In *VI Encuentro Iberoamericano de colectivos escolares y redes de maestras y maestros que hacen investigación e innovación desde La escuela* (p.8). Córdoba, Argentina.
- CUSTÓDIO, J. F., & PIETROCOLA, M. (2004). *Princípios nas ciências empíricas e o seu tratamento em livros didáticos*. *Ciência & Educação*, 10(3), p. 383-399.

- DRIVER, R.; ASOKO, H.; LEACH, J.; MORTIMER, E.; & SCOTT, P. (1999). *Construindo o conhecimento científico na sala de aula*. Química Nova na Escola, 9, p. 31-40.
- FEYNMAN, R. P. (2005) *Física em 12 lições*. 1 ed. Rio de Janeiro: Ediouro.
- FREIRE, P. (2015). *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. 51 ed. São Paulo: Paz e Terra.
- GIL-PÉREZ, D., FURIÓ, C., VALDÉS, P., SALINAS, J., TORREGROSSA, J. M., GUI SOLA, J., GONZÁLEZ, E., CARRÉ, A. D., GOFFARD, M., & CARVALHO, A. M. P. (1999). *Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio?* Enseñanza de las Ciencias, Barcelona, 17(2), p. 311-321.
- GIL-PÉREZ, D., MONTORO, I. F., ALÃS, J. C., CACHAPUZ, A., & PRAIA, J. (2001). *Para uma imagem não deformada do trabalho científico*. Ciência & Educação, 7(2), p. 125-153.
- JACQUES, V., & ALVES FILHO, J. P. (2008). O conceito de energia: os livros didáticos e as concepções alternativas. In *XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física* (p.12). Curitiba, PR.
- LENZ, J. A., & FLORCZAK, M. A. (2011). O estudo da conservação da energia mecânica através de atividades experimentais com materiais de baixo custo. In *XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*, (p.5). Blumenau, SC.
- MENEZES, L. C. (2005). *A Matéria, uma aventura do espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento físico*. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física.
- MORTIMER, E. F. (1996). *Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos?* Investigações em Ensino de Ciências, 1(1), p. 20-39.
- MORTIMER, E. F., & SCOTT, P. (2002). *Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino*. Investigações em Ensino de Ciências, 7(3), p. 283-306.
- NASCENTE, A. (1966). *Dicionário Etimológico Resumido (verbete: errar)*. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Livro.
- PIETROCOLA, M. (2002). *A matemática como estruturante do conhecimento físico*. Caderno Brasileiro do Ensino de Física, 17(1), p.93-114.
- ROBILOTTA, M. R. (1988). *O cinza, o branco e o preto: da relevância da história da ciência no ensino de física*. Cadernos Catarinenses de Ensino de Física, 5(número especial), p.7-22.
- ROSA, M. I. F. P. S, SENE, I. P., PARMA, M., & QUINTINO, T. C. A. (2003). *Formação de professores da área de ciências sob a perspectiva da investigação-ação*. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 3(1), p. 58-69.
- SASSERON, L. H. (2010). *Alfabetização científica e documentos oficiais brasileiros: um diálogo na estruturação do ensino da Física*. In A. M. P. Carvalho (Org.), *Ensino de Física* (pp. 1-19). São Paulo: Cengage Learning.
- SASSERON, L. H. (2015). *Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola*. Revista Ensaio, 17 (especial), p. 49-67.
- SASSERON, L. H., & CARVALHO, A. M. P. (2011). *Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica*. Investigações em Ensino de Ciências, 16(1), p. 59-77.
- SOUZA, V. R. (2015). *Uma proposta para o ensino de energia mecânica e sua conservação através de analogias*. Dissertação de mestrado – UFRJ, Rio de Janeiro.
- SOUZA, V. F. M., & SASSERON, L. H. (2012a). *As interações discursivas no Ensino de Física: a promoção da discussão pelo professor e a alfabetização científica pelos alunos*. Ciência e Educação, 18(3), 593-611.

SOUZA, V. F. M., & SASSERON, L. H. (2012b). *As perguntas em aulas investigativas de ciências: a construção teórica de categorias*. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 12(2), 29-44.