

**UMA ATIVIDADE EXPERIMENTAL DE FÍSICA POR MEIO DE INVESTIGAÇÃO
MULTIMODAL REPRESENTACIONAL***An experimental activity of physics by means of representational multimodal research***Alcides Goya** [goya@utfpr.edu.br]Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR
Av. Dos Pioneiros, 3131, CEP 86036-370, Londrina-PR**Carlos Eduardo Laburú** [laburu@uel.br]Universidade Estadual de Londrina - UEL
Rodovia Celso Garcia Cid, km 380, CEP 86051-970, Cx. Postal 6001, Londrina-PR.**RESUMO**

A nossa proposta de uma *atividade de investigação multimodal (AIM)* procurou unir a autonomia da metodologia de investigação com o aprofundamento na aprendizagem defendido pelas pesquisas em multimodos e múltiplas representações. Foi aplicada no curso de licenciatura em química, na disciplina introdutória de física, em dois semestres consecutivos, e acompanhada por avaliação qualitativa e quantitativa. A maioria dos alunos considerou a *AIM* melhor do que o ensino tradicional, especialmente na motivação e na compreensão dos conteúdos. Os alunos responderam, no início e no final do semestre, o questionário Force Concept Inventory – FCI e o questionário em escala Likert em duas variáveis: “orientação à meta de realização aprender” e “estratégia pessoal de estudo”. O FCI indicou que o ganho alcançado pela *AIM* foi maior do que o ganho atribuído ao ensino tradicional apresentado na literatura. O questionário em escala Likert mostrou que os alunos apresentaram, no final do semestre, um grau maior de motivação para aprender física.

Palavras-chave: Atividade de investigação, Multimodos e múltiplas representações, Motivação para física, Estratégia de ensino.

ABSTRACT

Our proposal for a *multimodal research activity (MRA)* sought to unite the autonomy of research methodology with the deepening learning advocated by research in multimode and multiple representations. It was applied in the degree course in chemistry, introductory physics course in two consecutive semesters, and accompanied by qualitative and quantitative assessment. Most students considered the *MRA* better than traditional education, especially in motivation and understanding of content. The students answered at the beginning and end of the semester, the Force Concept Inventory – FCI and also by the Likert scale questionnaire on two variables: “the goal orientation of learning achievement” and “personal strategy study”. The FCI indicated that the gain reached by the *MRA* was higher than the gain allocated to traditional teaching presented in the literature. The Likert scale questionnaire showed that the students presented at the end of the semester a higher degree of motivation to learn physics.

Keywords: Research Activity, Multimode and Multiple Representation, Motivation for Physics, Education Strategy.

Introdução

A metodologia de ensino por investigação é conhecida por várias denominações: aprendizagem por descoberta, resolução de problemas, projetos de aprendizagem, ensino por investigação, *inquiry* etc. Em quase todas as abordagens há um problema para ser analisado,

emissão de hipóteses pelos alunos, planejamento para a realização da investigação e interpretação dessas novas informações (Azevedo, 2006; Zômpero, 2012; Clement & Terrazzan, 2012). No Brasil, a utilização de atividades investigativas faz parte de alguns documentos de ensino (Brasil, 2002), mas a insegurança dos professores em fazer experimentos e gerenciarem a turma, tanto nas práticas de laboratório como nas atividades de investigação, gera problemas para o desenvolvimento dessas atividades (Borges, 2002).

Em relação ao laboratório didático, existe uma linha de pesquisa que defende que a prática de laboratório deve deixar de ser um trabalho exclusivamente experimental e integrar muitos outros aspectos da atividade científica (Gil-Perez & Castro, 1996). Gil e colaboradores acreditam que a grande mudança histórica das concepções físicas aristotélicas para as pós-galileanas deve ser encontrada em razões de natureza metodológica e reuniram os aspectos considerados fundamentais da atividade científica em 10 pontos. Por outro lado, Hodson (1985) considera que a compreensão dos procedimentos da ciência e a aquisição dos conhecimentos contemplam objetivos distintos, logo, para esse autor, a aprendizagem dos conhecimentos científicos deveria estar dissociada dos métodos da ciência.

Nessa mesma linha, em Laburú (2003) aponta-se que as questões de âmbito metodológico se subordinam às epistemológicas e, como alternativa, propôs uma metodologia de investigação que se sustenta não só no discursivo dialógico, mas que realça o papel do discurso univocal e da necessária integralidade entre as várias etapas dessa metodologia, não necessariamente rígidos: I) Fenômeno, II) Problema, III) Hipóteses, IV) Plano de Trabalho, V) Análise, VI) Conclusão. Em contraste com a orientação anterior (Gil-Perez & Castro, 1996), esses momentos ou etapas seriam essencialmente utilizados como plano de aula e guia para o professor encaminhar e organizar o processo de instrução e de exploração de questões junto aos seus alunos, com o objetivo de acompanhar entendimentos, desenvolver o conteúdo, apresentar as técnicas experimentais e capacitar os estudantes com as habilidades cognitivas necessárias para o desenvolvimento do conteúdo.

Uma outra linha emergente que trata da integralidade do conhecimento é a área de pesquisa em multimodos e múltiplas representações (Yore & Hand, 2010) que pode ser um ponto de inspiração para a elaboração de novos instrumentos pedagógicos. Por multimodos entende-se a integração do discurso em diferentes modos para representar os raciocínios e as explicações científicas; por múltiplas representações entende-se a prática de representar um mesmo conceito de formas diferentes (Prain & Waldrip, 2006). Tendo em conta que o laboratório didático é um espaço privilegiado de geração de um modo representacional que envolve necessariamente movimentação corporal, como gestos, ações e procedimentos experimentais, e considerando que a cinesia se refere a toda ação corporal utilizada durante o discurso científico (Waldrip; Prain & Carolan, 2006), fica proeminente, nas atividades empíricas, a importância desse modo de representação. Segundo a semiótica peirceana, a noção de representação sígnica não precisa ter natureza plena de uma linguagem (palavras, desenhos, diagramas, fotos etc.), mas pode estar expressa em uma mera ação ou reação emocional (Santaella, 2005).

Pelas colocações precedentes, o primeiro aspecto do problema deste trabalho consiste em elaborar uma atividade de ensino que combine a autonomia da *metodologia de investigação* com o aprofundamento na aprendizagem através dos recursos de *multimodos e múltiplas representações*, pois o esforço por comunicar buscando diversos modos de representações de um mesmo conceito, leva o aprendiz a compreensão mais profunda e abrangente (Ainsworth, 1999, p. 148-149). O segundo aspecto do problema seria fazer, nas

turmas onde fossem aplicadas essa atividade multimodal de ensino, uma avaliação qualitativa e quantitativa dos alunos, tanto no aspecto motivacional como na compreensão dos conteúdos.

Concepção newtoniana, motivação e estratégia de aprendizagem

As pesquisas mostram que os estudantes iniciam o curso universitário possuindo um sistema de crenças e intuições sobre fenômenos físicos derivados de sua experiência pessoal, e costumam chegar à sala de aula com um conjunto de ideias bem definidas sobre fenômenos e eventos (Halloun & Hestenes, 1985), distintos da concepção newtoniana. Num curso introdutório de física, essas crenças ou concepções podem ser analisadas pelos questionários e inventários. Um dos mais utilizados é o *Force Concept Inventory* (FCI), questionário do tipo múltipla-escolha que contém 30 questões envolvendo temas da Mecânica Clássica Newtoniana, testado por milhares de alunos (Hestenes, D.; Wells, M. & Swackhamer, 1992). Alguns dos trabalhos envolvendo o FCI são no sentido de comparações entre aulas tradicionais e aulas interativas, com inserção de atividades em grupos (Hake, 1998). O ganho normalizado, denotado por g , é definido como $g = (notapós-notapré) / (100 - notapré)$, em que chamamos *notapós* a variável representando a porcentagem de acertos no teste pós-instrução, e *notapré* a porcentagem de acertos no teste pré-instrução. As pesquisas indicam que os cursos utilizando métodos tradicionais têm ganho aproximado de 0,2, ao passo que métodos de engajamento interativo atingem a média de 0,4 (Barros et al, 2004).

Por outro lado, a motivação do aluno no contexto escolar é considerada variável complexa e multifatorial, e, para sua compreensão, surgiram diversas teorias e abordagens (Murphy & Alexander, 2000; Pintrich, 2003). A orientação à *meta de realização aprender* denota um tipo específico de *motivação* na escola, que acentua os processos de aprender como objetivo pessoal do aluno (Bzuneck, 2009). Um aluno direcionado à meta aprender valoriza o aprender em si, faz uso de estratégias de aprendizagem (Appleton et al., 2006). Estratégias de aprendizagem são ações mentais e comportamentos com o objetivo de influenciar o processo de codificação e assim facilitar a aquisição e a recuperação das informações armazenadas na memória de longa duração (Boruchovitch, 1999). Entre as taxonomias de estratégias, o de organização refere-se à atividade do aprendiz para identificar as ideias principais do novo conteúdo e estabelecer ligações entre as partes, sendo que a organização dependerá dos conhecimentos prévios que o sujeito possa ativar, uma vez que o conhecimento prévio é o fator que mais influencia na aprendizagem (Ausubel apud Moreira & Greca, 2003). As estratégias de *gerenciamento de recursos* dizem respeito ao controle do tempo, do apoio externo, do ambiente físico de estudo e até do esforço e persistência (Pintrich, 1999).

Portanto, elaborar uma *atividade de investigação multimodal (AIM)* que pudesse unir a autonomia da metodologia de investigação com o aprofundamento na aprendizagem por multimodos e múltiplas representações, bem como aplicar essa *AIM* num curso introdutório de física para acadêmicos de licenciatura em química e avaliá-los quanto aos conceitos newtonianos e quanto à sua motivação e estratégias de aprendizagem para a disciplina de física 1 são os objetivos do presente estudo.

Uma atividade de investigação multimodal

A nossa proposta de uma *atividade de investigação multimodal (AIM)* procurou unir a autonomia da metodologia de investigação com o aprofundamento na aprendizagem defendido pelas pesquisas em multimodos e múltiplas representações. Procuramos seguir as seis etapas do encaminhamento sugerido por Laburú (2003) e acrescentamos uma nova etapa que denominamos como “*Comunicação dos Resultados através de Multimodos e Múltiplas Representações*”. Ela fica orientada por momentos ou etapas flexíveis, na seguinte

apresentação: I) Fenômeno; II) Problema; III) Hipóteses; IV) Plano de Trabalho; V) Análise; VI) Conclusão; VII) Comunicação dos Resultados através de Multimodos e Múltiplas Representações. Entendemos “*Comunicação dos Resultados*” como uma etapa posterior à “*Conclusão*”, uma vez que o grupo de alunos, após resolver o problema e concluir, deverá comunicar os seus resultados aos outros grupos, orientando-os na resolução do mesmo problema.

O momento ou etapa final distingue-se do ponto IX de Gil e colaboradores: “conceder especial importância à elaboração de relatórios científicos” (Gil-Perez & Castro, 1996, p. 157), apesar de esse ponto IX também ressaltar o papel da comunicação. Outra distinção é que, na nossa *atividade de investigação multimodal*, essa última etapa acaba por influenciar positivamente todas as outras, pois o esforço por comunicar buscando diversos modos de representações de um mesmo conceito, leva o aprendiz a compreensão mais profunda e abrangente (Ainsworth, 1999, p. 148-149). Além disso, como comentado anteriormente, as atividades manipulativas e de percepção sobre o real são semiotizações que estendem, complementam, aprimoram e refinam a capacidade cognitiva do aprendiz em tratar os conceitos abstratos da ciência. Desta forma, a aprendizagem se torna mais profunda e significativa, há maior número de relações e conexões construídas, o que possibilita ao aprendiz dar significados e funcionalidade aos novos conceitos e princípios aprendidos (Laburú, 2011, p. 731).

Amostra e questionários

A disciplina de Física 1, prevista para o segundo semestre do curso de licenciatura em química, período noturno de uma instituição federal, foi ministrada por um mesmo professor, com cinco aulas de 50 minutos por semana, três das quais eram teóricas e duas de laboratório, durante dois semestres consecutivos. No início e no final do semestre, o professor aplicou dois questionários simultâneos: FCI e 20 questões em escalar Likert. Somando os dois semestres, a amostra inicial ficou composta por 41 alunos e a final com 26 alunos, pois 15 trancaram ou desistiram da disciplina.

O primeiro questionário aplicado foi a tradução para a língua portuguesa do *Force Concept Inventory*¹ (FCI), muito conhecido e testado por milhares de alunos (Hestenes, D.; Wells, M. & Swackhamer, 1992). Composto por 30 questões, cada uma com cinco alternativas de respostas, sendo uma alternativa correspondente ao conceito cientificamente aceito e as demais referentes a distratores, que correspondiam a conceitos intuitivos, ou seja, não científicos.

O segundo questionário, em escala Likert, passou pelo teste KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) e o resultado expresso neste teste (0,814) demonstrou um bom grau de ajuste para aplicação da técnica multivariada análise fatorial, sendo ratificada pelo teste de Bartlett de esfericidade ao nível de significância 0,000. Os fatores extraídos através da rotação Varimax foram submetidos ao teste de confiabilidade alfa de Cronbach gerando os seguintes valores: *meta de realização aprender MRF* (alfa = 0,80) e *estratégia pessoal de estudo EPE* (alfa = 0,79). Esses dados indicam que o construto e as escalas utilizadas apresentam uma boa confiabilidade interna para uma pesquisa exploratória. Das vinte questões iniciais, ao verificar as cargas fatoriais na extração dos componentes principais, foram eliminadas algumas questões e o questionário original ficou reduzido a 11 questões, tal como é apresentado no

¹disponível no sítio <http://modeling.asu.edu/R&E/research.html>. Acessado em 19/07/2009

apêndice 1: seis questões para a *meta de realização aprender MRF* e cinco para a *estratégia pessoal de estudo EPE*.

Descrição dos principais procedimentos adotados em sala de aula

Nas aulas teóricas, na maior parte das vezes, o professor seguiu o modelo tradicional de ensino, i.e., discurso univocal, fazendo uma revisão dos principais conceitos teóricos de física 1 com resolução de exercícios no nível de ensino médio antes de aprofundar alguns conceitos e exercícios que envolvessem o cálculo diferencial e integral. A revisão com exercícios do ensino médio teve como objetivo ajudar os alunos a recuperarem, ou, mesmo ganharem, o domínio algébrico básico, pois já é bem conhecida a deficiência com que eles chegam às universidades, realidade que ficou bem clara nos testes FCI, tal como é mostrado nos resultados deste trabalho. Nessa revisão, foram também aplicados os recursos de multimodos e múltiplas representações, destacando que, na resolução de qualquer exercício, o aprendiz pode aprofundar a sua aprendizagem ao discernir e utilizar as características próprias da linguagem verbal, da representação visual, do simbolismo matemático e das operações experimentais (Lemke, 2003).

Como preparação prévia para a apresentação dos problemas, considerando que cada *problema* proposto para cada grupo incluiria sempre um projeto *experimental*, os conhecimentos básicos para a realização dos experimentos foram mediados através de aulas sobre medidas e incertezas, bem como a utilização prática da teoria da propagação das incertezas a partir dos experimentos feitos nas duas primeiras aulas de laboratório. Foi introduzida a noção de função densidade de probabilidade estatística (PDF), ressaltando a importância da integração do processo de medição como um todo: coleta, processamento e comparação. Destacou-se a importância do *paradigma de conjunto*, caracterizado pela ideia de que cada medição é apenas uma aproximação para o valor verdadeiro e que os desvios do valor verdadeiro são aleatórios (Buffer et al., 2001).

As equipes foram divididas em 6 grupos (A1, A2, B1, B2, C1 e C2) após cada aluno receber o resultado do teste FCI, ou seja, o seu grau de concepção newtoniana. O professor fez uso do desempenho dos alunos nestes testes para orientar a divisão das equipes: dois alunos que somaram mais pontos nos testes foram convidados a fazerem parte do grupo C2, responsável por resolver um problema envolvendo conceitos de rotações, conforme mostrado no apêndice 2, ementa que normalmente não se costuma estudar no ensino médio e que apresenta ordinariamente maiores dificuldades. Em todas as equipes, o professor convidou um aluno com rendimento acima da média no teste FCI para ser líder da equipe. Os outros alunos foram convidados a se inscreverem de acordo com as suas preferências e as equipes foram formadas em poucos minutos. Na segunda semana de aula, as equipes receberam os problemas, conforme mostrado no apêndice 2, e também receberam uma explicação detalhada da *Atividade de Investigação Multimodal (AIM)* com sete etapas, nas quais procurou-se dar um enfoque especial ao levantamento e comprovação das hipóteses, bem como a alguns conceitos sobre multimodos e múltiplas representações que eles deveriam utilizar nas apresentações para outras equipes. A apresentação das equipes, feita entre a quinta e a décima quarta semana, acompanhou a sequência das aulas teóricas, que esteve de acordo com a ementa do curso: *sistemas de unidades, teoria de erros, vetores, cinemática, leis de Newton, lei de conservação da energia, sistemas de partículas, colisões, movimento de rotação e conservação do momento angular*. Na terceira semana de aula, o professor forneceu os instrumentos laboratoriais necessários para que os grupos pudessem montar os seus experimentos e pudessem utilizar o laboratório em alguns horários extras. No caso específico

desta *AIM*, foram utilizados vários trilhos feitos de canaleta de plástico para instalações elétricas, perfil 5,0 cm x 2,0 cm x 210,0 cm, em conjunto com algumas bolas de bilhar. Apenas dois grupos necessitaram de equipamentos extras: o grupo B1 utilizou um trilho de ar e o grupo C2 utilizou dois rotores e duas rodas como giroscópios. Os seis problemas procuraram abranger os principais conteúdos da ementa da disciplina, tal como pode ser conferido no apêndice 2.

Resultados

Apesar de a amostra ser pequena, os cálculos estatísticos (tabela 1) indicam que houve um aumento significativo ($t=-8,59$ e $p\leq 0,00$) na variável FCI: os alunos iniciaram o semestre com 22,3% e encerraram com 46,9% de acertos. Na média, esses alunos não alcançaram o limiar do pensamento newtoniano (60%), mas atingiram um ganho $g = 0,32$, superior ao ganho medido no ensino tradicional, $g = 0,23$. Esses dados explicitam as dificuldades na concepção newtoniana que esses alunos de licenciatura em química, período noturno, trouxeram do ensino médio e que ainda perduram, mesmo depois de um semestre de física 1.

Tabela 1: Teste t entre alunos no início e no final do semestre em três variáveis

	Início (N=41)		Final (N=26)		t	p
	Média	DP	Média	DP		
FCI - <i>Force Concept Inventory</i>	6,68	3,07	14,08	3,95	-8,59	0,00
MRF - orientação à meta de realização aprender física	3,08	0,68	3,43	0,60	-2,08	0,04
EPE—estratégia pessoal de estudo de física	3,45	0,80	3,50	0,73	-0,29	0,78

Na variável motivacional MRF, também foi constatado um aumento significativo ($t = -2,08$ e $p\leq 0,05$), mostrando que os alunos terminaram o semestre mais motivados para aprender física, quando comparado com o início. Já na variável estratégia de estudo EPE, não houve variação significativa do ponto de vista estatístico ($t = -0,29$ e $p>0,77$). Tanto na MRF como na EPE as médias no início do semestre foram superiores a três, mostrando que os alunos da licenciatura em química, apesar de apresentarem um grau baixo de concepção newtoniana, apresentaram um grau acima do ponto médio tanto na motivação para aprender física como na estratégia pessoal de estudo de física.

Ao longo do semestre, foi realizada uma entrevista com cada aluno, possibilitando ao professor conhecer as circunstâncias de cada um e comparar dados qualitativos com os quantitativos. A última etapa da *AIM*, *comunicação dos resultados através de multimodos e múltiplas representações*, desencadeou, nos estudantes, atitudes positivas com relação às atividades práticas, que culminaram num fechamento satisfatório do problema proposto. Todos os grupos dedicaram tempo fora das aulas para se reunirem e tentarem resolver adequadamente os seus problemas. Na comunicação dos resultados aos outros grupos, através das gravações em vídeo, foi possível verificar que os alunos precisaram de uma intervenção contínua do professor, por meio de perguntas adequadas durante essas apresentações. Caso isso não ocorresse, boa parte dos alunos responsáveis pela apresentação se confundia ou deixava de ressaltar alguns aspectos essenciais necessários para que os colegas pudessem acompanhar a resolução do problema.

Na avaliação final da *Atividade de Investigação Multimodal (AIM)*, dos vinte e seis alunos que alcançaram a última etapa, a maioria afirmou que a *AIM*, por centralizar-se na prática do laboratório, foi interessante, motivadora e influenciou positivamente na compreensão dos conteúdos. Vários destacaram que a atividade prática exigiu muito trabalho, um ou outro

afirmou que é mais complexa do que a teoria e alguns afirmaram que não conseguiram aproveitar por falta de costume e preparação. Numa escala de zero a dez, foi pedido que cada aluno desse uma nota para o ensino de investigação e uma nota para o ensino tradicional, pois nessa mesma disciplina de física 1, boa parte do curso seguiu ainda o ensino tradicional com discurso univocal e resolução de exercícios na lousa, mesmo que toda a disciplina estivesse centrada na atividade investigativa com resolução dos seis problemas experimentais propostos, conforme o apêndice 2. A atividade investigativa ficou com média 8,50 (DP=0,87) e o ensino tradicional ficou com 7,48 (DP=0,89), e, do ponto de vista estatístico, o teste t identificou uma diferença significativa entre essas médias ($t= 4,17$, $p\leq 0,00$). Apesar de a maioria ter optado pela atividade de investigação, vários ainda preferiram o ensino tradicional, normalmente alegando que estão mais acostumados a aprenderem dessa forma.

Como a AIM foi aplicada em dois semestres consecutivos, foi feita uma comparação entre os semestres e, do ponto de vista estatístico, não foi medida nenhuma diferença significativa nas três variáveis estudadas. A título de exemplo, a tabela 2 apresenta a comparação feita com os dados obtidos no início de cada semestre, a turma A com 22 alunos e a turma B com 19 alunos. Esses dados reforçam os resultados da tabela 1, pois indicam que a variação medida nas variáveis foi similar nas duas turmas estudadas em dois semestres distintos.

Tabela 2: Teste t entre as duas turmas no início do semestre nas três variáveis

	Turma A (N=22)		Turma B (N=19)		t	p
	Média	DP	Média	DP		
FCI - <i>Force Concept Inventory</i>	6,91	2,62	6,42	3,58	0,50	0,62
MRF - orientação à meta de realização aprender física	2,92	0,73	3,28	0,58	-1,74	0,09
EPE—estratégia pessoal de estudo de física	3,31	0,86	3,60	0,72	-1,16	0,25

Considerações finais

Apesar das limitações já apontadas neste trabalho, a *Atividade de Investigação Multimodal (AIM)* conseguiu unir algumas características da metodologia de investigação com os recursos de multimodos e múltiplas representações, especialmente quando se constatou que, no desenrolar das atividades, a última etapa “*comunicação dos resultados através de multimodos e múltiplas representações*” influenciou positivamente todas as outras seis etapas, especialmente no investimento de tempo e dedicação por parte dos alunos. Todo o trabalho feito antes da apresentação dos problemas - aplicação do questionário FCI, explicações e aplicações de multimodos e múltiplas representações na resolução de exercícios, a importância que se deu às atividades práticas ao usar várias semanas de laboratório para que os alunos estimassem as incertezas e aprendessem a utilizar as funções de densidade de probabilidade (PDF) de modo apropriado, bem como calculassem a propagação dessas incertezas – levou-os a um maior empenho, pois foram observados alunos dedicando mais tempo fora das aulas para se reunirem e resolverem adequadamente o problema do seu grupo, além de muitos terem relatado esse empenho nas entrevistas.

Durante todo o semestre, especialmente na última etapa, todos os grupos precisaram de uma orientação contínua do professor, pois, sem esse diálogo durante as suas apresentações, eles se confundiam ou deixavam de ressaltar alguns aspectos essenciais para que outros alunos pudessem acompanhar o desenvolvimento das apresentações. Algumas gravações em vídeo dessas apresentações mostraram que, em média, essas intervenções

chegaram a uma taxa muito alta, compatível com algumas pesquisas sobre o discurso dialógico (Mortimer & Machado, 2000). Esses dados indicam que os alunos manifestaram um certo despreparo diante de uma atividade investigativa e reforçam a necessidade de se fazer um trabalho prévio, condição para que eles possam desenvolver satisfatoriamente as sete etapas da *estratégia de investigação multimodal*.

O primeiro questionário *Force Concept Inventory* contribuiu com todo o processo, pois ajudou os alunos a conhecerem melhor o seu nível de concepção newtoniana em relação à média da sala e de outros universitários, inclusive de outros países. Mesmo sendo pequena a amostra do grupo experimental, foi possível verificar que o ganho normalizado $g = 0,32$ foi superior ao ganho medido no ensino tradicional, $g = 0,23$ (Hake, 1998). O questionário FCI revelou também o baixo grau de concepção newtoniana dos alunos ingressantes, 22,3% de acertos, pois teoricamente uma turma que não soubesse nada de leis de Newton teria em média 20% de acertos. Esses dados revelam que esses alunos chegaram ao curso universitário com um grau muito baixo na compreensão das leis de Newton, realidade que muitos deles confirmaram nas entrevistas, alegando que praticamente não tinham estudado física durante o ensino médio ou que já fazia muito tempo que tinham visto, ao mesmo tempo que exerciam alguma profissão durante o dia.

A escala orientação à meta de realização aprender física (MRF) do segundo questionário confirmou a análise qualitativa com relação à motivação, pois os alunos terminaram com um grau maior de motivação para aprender física após passarem pela estratégia de investigação multimodal. A escala estratégia pessoal de estudo de física (EPE), apesar de não ter medido nenhuma diferença significativa, está de acordo com os fundamentos teóricos que a sustentam, pois as estratégias de aprendizagem se relacionam com a aquisição e recuperação das informações armazenadas na memória de longa duração e com categorias complexas (Boruchovitch, 1999) que, em princípio, necessitariam de mais tempo para manifestar uma variação significativa.

Enfim, acreditamos que essa *Atividade de Investigação Multimodal* com sete etapas, ao ser implantada em dois semestre consecutivos no ensino de física 1, foi aprovada pelos alunos e abriu novas perspectivas para ser implantada e adaptada às novas situações, especialmente por ter conseguido harmonizar algumas características da metodologia de investigação com os recursos de multimodos e múltiplas representações, pois, segundo Ainsworth (1999), o esforço por comunicar buscando diversos modos de representações de um mesmo conceito, leva o aprendiz a uma compreensão mais profunda e abrangente.

Referências

- AINSWORTH, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, 33, 131–152.
- APPETON, J.J.; CHRISTENSON, S.L.; KIM, D. & RESCHLY, A. L. (2006). Measuring cognitive and psychological engagement: Validation of the Student Engagement Instrument. *Journal of School Psychology*, 44, 427-445.
- AZEVEDO, M.C.P.S. (2006). *Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula*. In: Carvalho, A.M.P. (org.). *Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática*. São Paulo: Thomson, p. 19-33.
- BARROS, J. A., SILVA, G. S. F., TAGLIATI, J. R. & REMOLD, J. (2004). Engajamento Interativo no curso de Física da UFJF. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 26(1), 63-69.

- BORGES, A.T. (2002). Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro Ensino de Física, Florianópolis*, 19(3), 291-313.
- BORUCHOVITCH, E. (1999). Estratégias de aprendizagem e desempenho escolar: Considerações para a prática educacional. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 12(2), 361-367.
- BRASIL. (2002). Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCNs + Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais*. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC; SEMTEC.
- BUFFER, A.; ALLIE, S.; LUBBEN, F. & CAMPBELL, B.(2001). The development of first year physics student's ideas about measurement in terms of point and set paradigms, *International Journal of Science Education*, 23(11), 1137 – 1156.
- BZUNECK, J.A. (2009). *A Motivação do Aluno: Aspectos Introdutórios*. In E. Boruchovitch e J. A. Bzuneck (orgs.), *A motivação do aluno*. Editora Vozes, Petrópolis, 4ª edição, 9-36.
- CLEMENT, L. & TERRAZZAN, E.A. (2012). Resolução de problemas de lápis e papel numa abordagem investigativa. *Experiências em Ensino de Ciências*, 7 (2), 98-116.
- GIL-PEREZ, D. & VALDES CASTRO, P.(1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de Las Ciencias*, 14 (2), 155-163.
- HAKE, R. (1998). Interactive- engagement vs. traditional methods: A six thousand student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, AAPT, 66 (1), 64-74.
- HALLOUN, I. & HESTENES, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *Am. J.Phys.* 53, 1043.
- HESTENES, D.; WELLS, M. & SWACKHAMER, G. (1992). Force Concept Inventory, *The Physics Teacher* 30(3), 141-158.
- HODSON, D. (1985). Philosophy of science, science and science education, *Studies in Science Education*, 12, 25-57.
- LABURÚ, C.E. (2011). O laboratório didático a partir da perspectiva da multimodalidade representacional. *Ciência & Educação*, 17(3), 721-734.
- LABURÚ, C.E.(2003). Problemas abertos e seus problemas no laboratório de física: uma alternativa dialética que passa pelo discursivo multivocal e univocal. *Investigações em Ensino de Ciências*, 8 (3), 231-256.
- LEMKE, J. L. (2003). *Teaching all the languages of science: words, symbols, images, and actions*. Acesso em 15 fev. 2013. <<http://academic.brooklyn.cuny.edu/education/jlemke/papers/barcelon.htm>>.
- MOREIRA, M. A. & GRECA, I. M. (2003). Mudança conceitual: análise crítica e propostas à luz da teoria da aprendizagem significativa. *Ciência e Educação*, Bauru, 9(2), 301-315.
- MORTIMER, E. F. & MACHADO, A. H. Anomalies and conflicts in classroom discourse. *Science Education*, Salem, Massachusetts, v. 84, n. 4, p. 429-444, 2000.
- MURPHY, P.K.& ALEXANDER, P.A. (2000). A Motivated Exploration of Motivation Terminology. *Contemp. Educ. Psych.*, 25, 3-53.

PINTRICH, P. R. (2003). A motivational science perspective on the role of student motivation in learning and teaching contexts. *Journal of Educational Psychology*, 95, 667–686.

PINTRICH, P.R. (1999). The role of motivation in promoting and sustaining self-regulated learning. *International Journal of Educational Research*, 31, 459-470.

PRAIN, V. & WALDRIP, B. (2006). An exploratory study of teachers' and students' use of multi-modal representations of concepts in primary science. *International Journal of Science Education*, 28(15), 1843-1866.

SANTAELLA, L. (2005). *Semiótica aplicada*. Thomson, São Paulo, SP, 2005.

WALDRIP, B.; PRAIN, V. & CAROLAN, J. (2006). Learning junior secondary science through multi-modal representations. *Electronic Journal of Science Education*, 11(1), 87-107.

YORE, L. D. & HAND, B. (2010). Epilogue: plotting a research agenda for multiple representations, multiple modality, and multimodal representational competency, *Research Science Education*, 40, 93-101.

ZÔMPERO, A. DE F.(2012). *Significados de fotossíntese elaborados por alunos do ensino fundamental a partir de atividades investigativas mediadas por multimodos de representação*. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

Apêndice 1: Questionário em escala Likert

Escala de orientação à meta de realização aprender física (MRF): seis perguntas

1- Faço com capricho as tarefas de casa prescritas pelo professor de física:

(1) (2) (3) (4) (5)

Nada verdadeiro um pouco verdadeiro meio verdadeiro bastante verdadeiro totalmente verdadeiro

2- Sou capaz de me privar da TV, computador ou outras diversões para dar conta dos estudos de física:

(1) (2) (3) (4) (5)

Nada verdadeiro um pouco verdadeiro meio verdadeiro bastante verdadeiro totalmente verdadeiro

3- Nas aulas de física, tomo nota para usá-las quando for estudar depois:

(1) (2) (3) (4) (5)

Nada verdadeiro um pouco verdadeiro meio verdadeiro bastante verdadeiro totalmente verdadeiro

4- Normalmente ando em dia com as tarefas escolares de física:

(1) (2) (3) (4) (5)

Nada verdadeiro um pouco verdadeiro meio verdadeiro bastante verdadeiro totalmente verdadeiro

5- Para os estudos de Física, eu aproveito bem o tempo que tenho fora das aulas:

(1) (2) (3) (4) (5)

Nada verdadeiro um pouco verdadeiro meio verdadeiro bastante verdadeiro totalmente verdadeiro

6- Quando decido estudar física, reservo um bom tempo para isso e não largo fácil.

(1) (2) (3) (4) (5)

Nada verdadeiro um pouco verdadeiro meio verdadeiro bastante verdadeiro totalmente verdadeiro

Escala de estratégia pessoal de estudo de física (EPE): cinco perguntas

1- Quando se trata de estudar física, sempre busco um jeito de deixar para mais tarde:

(1) (2) (3) (4) (5)

Nada verdadeiro um pouco verdadeiro meio verdadeiro bastante verdadeiro totalmente verdadeiro

2- Acho difícil seguir à risca um horário para estudar física:

(1) (2) (3) (4) (5)

Nada verdadeiro um pouco verdadeiro meio verdadeiro bastante verdadeiro totalmente verdadeiro

3- Costumo deixar para estudar física apenas nas vésperas das provas:

(1) (2) (3) (4) (5)

Nada verdadeiro um pouco verdadeiro meio verdadeiro bastante verdadeiro totalmente verdadeiro

4- Quase para cada prova de física eu acabo estudando afobado, por causa do curto tempo:

(1) (2) (3) (4) (5)

Nada verdadeiro um pouco verdadeiro meio verdadeiro bastante verdadeiro totalmente verdadeiro

5- Costumo ficar tanto tempo com meus amigos que acabo prejudicando os estudos de Física:

(1) (2) (3) (4) (5)

Nada verdadeiro um pouco verdadeiro meio verdadeiro bastante verdadeiro totalmente verdadeiro

Apêndice 2: Problemas apresentados aos seis grupos de alunos

Grupo A1: Considerando os conceitos de cinemática explicados nos livros didáticos, apresentem experimentos que ilustrem os movimentos **MRU** e **MRUV** utilizando o trilho multifuncional. Procurem apresentar uma explicação científica desses movimentos, fazendo uso dos recursos de multimodos e múltiplas representações. Podem adaptar alguns exercícios, que estejam relacionados com o problema, para completar a apresentação que será realizada para outras equipes.

Grupo A2: Considerando os conceitos de cinemática explicados nos livros didáticos, apresentem experimentos que ilustrem a **composição** dos movimentos **MU** e **MUV** através do lançamento de projéteis. Procurem apresentar uma explicação científica desses movimentos, fazendo uso dos recursos de multimodos e múltiplas representações. Podem adaptar alguns exercícios mais complexos, que estejam relacionados com o problema, para completar a apresentação que será realizada para outras equipes.

Grupo B1: Considerando os conceitos das leis de Newton explicados nos livros didáticos, apresentem experimentos que ilustrem as 3 leis de Newton. Procurem apresentar uma explicação científica desses movimentos, fazendo uso dos recursos de multimodos e múltiplas representações. Podem adaptar alguns exercícios mais complexos, que estejam relacionados com o problema, para completar a apresentação que será realizada para outras equipes.

Grupo B2: Considerando os conceitos do trabalho e da energia explicados nos livros didáticos, apresentem estudos experimentais de lançamento horizontal e oblíquo de um objeto que não gira ao escorregar num plano inclinado. Procurem apresentar uma explicação científica desses movimentos, fazendo uso dos recursos de multimodos e múltiplas representações. Podem adaptar alguns exercícios mais complexos, que estejam relacionados com o problema, para completar a apresentação que será realizada para outras equipes.

Grupo C1: Considerando as variáveis da rotação, os conceitos de centro de massa, da conservação de energia e da conservação do momento linear explicados nos livros didáticos, apresentem estudos experimentais de choques de duas bolas. Procurem apresentar uma explicação científica desses eventos, fazendo uso dos recursos de multimodos e múltiplas representações. Podem adaptar alguns exercícios simples, que estejam relacionados com o problema, para completar a apresentação que será realizada para outras equipes.

Grupo C2: Considerando as variáveis da rotação, os conceitos de torque e da conservação do momento angular, bem como a 2ª lei de Newton para a rotação explicados nos livros didáticos, apresentem estudos experimentais que meçam o momento de inércia de 3 corpos diferentes. Procurem apresentar também experimentos que ilustrem a precessão de um giroscópio utilizando a roda do laboratório e a plataforma girante fornecendo uma explicação científica desses eventos, fazendo uso dos recursos de multimodos e múltiplas representações. Podem adaptar alguns exercícios simples, que estejam relacionados com o problema, para completar a apresentação que será realizada para outras equipes.