

Uma estratégia de investigação multimodal para física

A multimodal research strategy for physics

Alcides Goya

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
goya@utfpr.edu.br

Carlos Eduardo Laburú

Universidade Estadual de Londrina
laburu@uel.br

Resumo

A nossa estratégia de investigação multimodal procurou unir a autonomia da metodologia de investigação com o aprofundamento na aprendizagem defendido pelos pesquisadores de multimodos e múltiplas representações. É composta de 7 momentos, sendo que o último se dá através de multimodos e múltiplas representações. A estratégia foi aplicada no curso de licenciatura em química, na disciplina introdutória de física. Os alunos foram avaliados, no início e no final do semestre, pelo questionário Force Concept Inventory – FCI e também pelo questionário em escala Likert em duas variáveis: orientação à meta de realização aprender e estratégia pessoal de estudo. O FCI indicou que o ganho ($g=0,31$) foi maior do que o ganho do ensino tradicional apresentado pela literatura ($g=0,23$). Os testes mostraram também que os alunos chegaram ao final do semestre com um grau maior de motivação para aprender física.

Palavras chave: Estratégia de Ensino, Atividade de Investigação, Multimodos e Múltiplas Representações, Motivação para Física.

Abstract

Our multimodal research strategy sought to unite the autonomy of research methodology with the deepening learning advocated by researchers multimode and multiple representations. It is composed of 7 times, the last of which occurs through multiple representations and multimode. The strategy was applied in the degree course in chemistry, introductory physics course. Students were assessed at the beginning and end of semester, by questionnaire 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 ($g=0,31$) was higher than the gain of the traditional teaching presented in the literature ($g=0,23$). The tests also showed that the students arrived at the end of the semester with a higher degree of motivation to learn physics.

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

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 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 (CARVALHO, 2006; AZEVEDO, 2006, ZÔMPERO, 2012). No nosso país, 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, geram 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. Eles reuniram os aspectos considerados fundamentais da atividade científica em 10 pontos, como uma chamada de atenção contra os diversos reducionismos. 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 LABURÚ (2003) defendeu 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.

Estratégia de investigação multimodal

A nossa *estratégia investigativa multimodal* é uma adequação da proposta de investigação seguindo o encaminhamento dado pelo Laburú (LABURÚ, 2003) e acrescentando uma nova denominação “*Comunicação dos Resultados através de Multimodos e Múltiplas Representações*”. Por multimodos entende-se a integração do discurso em diferentes modos para representar os raciocínios e explicações científicas; por múltiplas representações entende-se a prática de representar um mesmo conceito de várias 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, a nossa *estratégia investigativa multimodal* é orientado 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 por “*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. Assim, esse último momento ou etapa, distingue-se do ponto IX de Gil e colaboradores: “conceder especial importância à elaboração de relatórios científicos” (GIL-PEREZ, D.; VALDES CASTRO, P., 1996, p. 157), apesar deste ponto também ressaltar o papel da comunicação. Outra distinção é que, na nossa *estratégia investigativa multimodal*, esse último momento acaba por influenciar positivamente todas as outras etapas, pois o esforço por comunicar buscando diversos modos de representações de um mesmo conceito, leva o aprendiz a *aprofundar* na aprendizagem (AINSWORTH, 1999, p. 148-149). Além disso, como foi comentado no parágrafo anterior, 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, possibilita ao aprendiz dar significados e funcionalidade aos novos conceitos e princípios aprendidos (LABURÚ, 2011, p. 731).

Concepção newtoniana, motivação para aprender física e estratégia pessoal

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). 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 et al., 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 $g = (notapos-notapre) / (100 - notapre)$, onde chamamos *notapos* a variável representando a % de acertos no teste pós-instrução, e *notapre* a % de acertos no teste pré-instrução. As pesquisas indicam que os cursos utilizando métodos tradicionais têm seu 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, para cuja 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).

Assim, elaborar uma estratégia de investigação multimodal que pudesse unir a autonomia da metodologia de investigação com o aprofundamento na aprendizagem por multimodos e múltiplas representações, bem como aplicar essa estratégia em acadêmicos de licenciatura em química e avaliar quanto aos conceitos newtonianos e quanto à sua motivação e estratégia de estudo para a disciplina de física 1 foi o objetivo do presente estudo.

Amostra, método e procedimentos

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. No início e no final do semestre, o professor aplicou dois questionários simultâneos (FCI e 20 questões em escalar Likert): da amostra de 22 alunos que responderam no início do semestre, apenas 15 refizeram-nos no final do semestre, pois 7 trancaram ou desistiram da disciplina. O primeiro questionário aplicado foi a tradução para a língua portuguesa do *Force Concept Inventory*¹ (FCI), 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, aplicado para um número maior de alunos (N=105) para se fazer a análise fatorial, passou pelo teste KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) e o resultado expresso neste teste (0,849) 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 = 0,83) e *estratégia pessoal de estudo EPE* (alfa = 0,79). Esses resultados indicam que o construto e as escalas utilizadas apresentam uma boa confiabilidade interna para uma pesquisa exploratória.

Nas aulas teóricas das primeiras semanas, o professor seguiu o modelo tradicional de ensino, i.e., discurso univocal, fazendo uma revisão dos principais conceitos teóricos de física 1 desenvolvidos nas escolas de ensino médio com o objetivo de ajudá-los a recuperarem ou, mesmo ganharem, o domínio algébrico básico. 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 à 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 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

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

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 C3) após receberem os resultados do teste FCI. As que somaram mais pontos no teste ficaram com o grupo C2, responsável por resolver um problema envolvendo conceitos de rotações; por outro lado, as equipes que somaram menos pontos ficaram com o grupo A1, responsável por resolver problema de cinemática unidimensional. O professor forneceu os instrumentos laboratoriais necessários para que os grupos pudessem montar os seus experimentos. No caso específico desta estratégia, foram utilizados vários trilhos feito 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. Os 6 problemas procuraram abranger os principais conteúdos da ementa da disciplina, e por falta de espaço, apresentamos apenas o problema do 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”*.

Resultados

Apesar da amostra ser pequena, os cálculos estatísticos (tabela 1) indica que houve um aumento significativo ($t=-8,12$ e $p\leq 0,00$) na variável FCI: os alunos iniciaram o semestre com 23,0% e encerraram com 47,0% de acertos. Na média, esses alunos não alcançaram o limiar do pensamento newtoniano (60%), mas atingiram um ganho $g = 0,31$, 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.

	Início (N=22)		Final (N=15)		t	p
	Média	DP	Média	DP		
FCI - <i>Force Concept Inventory</i>	6,91	2,62	14,01	2,66	-8,12	0,00
MRF - orientação à meta de realização aprender física	2,92	0,73	3,40	0,61	-2,10	0,04
EPE–estratégia pessoal de estudo de física	3,31	0,86	3,23	0,67	0,30	0,76

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

Na variável motivacional MRF também foi constatado um aumento significativo ($t=-2,10$ 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 ($t=0,30$ e $p>0,05$).

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 estratégia *“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 deixavam de ressaltar alguns aspectos essenciais necessários para que os colegas pudessem acompanhar a resolução do problema.

Na avaliação final da estratégia adotada feita pelos alunos, dos quinze que alcançaram a última etapa, a maioria afirmou que a atividade de investigação, por envolver a prática do laboratório, levaram-nos a achar interessante, motivante e a influir 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.

Conclusões finais

Apesar das limitações já apontadas neste trabalho, esta estratégia de investigação multimodal conseguiu unir algumas características da metodologia de investigação com os recursos de multimodos e múltiplas representações, especialmente levando em conta que na prática, os seis momentos desta estratégia giraram em torno da sétima e última etapa “*comunicação dos resultados através de multimodos e múltiplas representações*”. Todo o trabalho prévio antes da apresentação dos problemas - aplicação do questionário FCI, revisão do ensino médio, explicações e aplicações de multimodos e múltiplas representações, importância que se deu às atividades práticas ao utilizar 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 - levaram-nos 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 ter relatado sobre 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).

O primeiro questionário *Force Concept Inventory* – FCI 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 dos outros universitários, inclusive de outros países. Mesmo sendo pequena a amostra do grupo experimental, foi possível verificar que o ganho normalizado $g = 0,31$ 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, 23% de acertos, pois teoricamente uma turma que não soubesse nada de leis de Newton teria em média 20% de acertos. Esses dados indicam que esses alunos chegaram ao curso universitário praticamente sem nenhuma concepção das leis de Newton, realidade que muitos deles confirmaram nas entrevistas.

O segundo questionário, escala orientação à meta de realização aprender física (MRF) confirmou a análise qualitativa, ou seja, 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 (BORUCHOVITCH, 1999) e com categorias complexas (PINTRICH, 1989) que necessitariam de mais tempo para manifestar uma variação significativa.

Referências

- AINSWORTH, S. The functions of multiple representations. *Computers & Education*, v. 33, p. 131–152, 1999.
- APPLETON, J.J.; CHRISTENSON, S.L.; KIM, D. e RESCHLY, A. L.. Measuring cognitive and psychological engagement: Validation of the Student Engagement Instrument. *Journal of School Psychology*, 44, p. 427-445, 2006.
- AZEVEDO, M.C.P.S. 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, 2006, p. 19-33.
- BARROS, J. A., SILVA, G. S. F., TAGLIATI, J. R., REMOLD, J. Engajamento Interativo no curso de Física da UFJF. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v 26, n 1, p. 63-69, 2004.
- BORGES, A.T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro Ensino de Física, Florianópolis*, v. 19, n.3, p. 291-313, 2002.
- BORUCHOVITCH, E.. Estratégias de aprendizagem e desempenho escolar: Considerações para a prática educacional. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 12, n. 2, p. 361-367, 1999.
- BRASIL. 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, 2002.
- BUFFER, A. ALLIE, S., LUBBEN, F. CAMPBELL, B. The development of first year physics student's ideas about measurement in terms of point and set paradigms, *International Journal of Science Education*, v. 23, n. 11, p. 1137 – 1156, 2001.
- BZUNECK, J.A. 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, 2009.
- CARVALHO, A.M.P. Las practicas experimentales en el proceso de enculturación científica. In: GATICA, M.Q.; ADÚRIZ-BRAVO, A. (Ed); *Ensenar ciencias en el nuevo milenio: retos e propuestas*. Santiago: Universidade Católica de Chile, 2006.
- GIL, D.; TORREGROSA, M. J. ; PÉREZ, S. F. El fracaso en la resolución de problemas de física: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, 2, 131-146, 1988.
- GIL-PEREZ, D.; VALDES CASTRO, P. La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Ensenaza de Las Ciencias*, Barcelona, v.14, n.2, 155-163, 1996.
- HAKE, R. Interactive- engagement vs. traditional methods: A six thousand student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, AAPT, v. 66, n. 1, p. 64-74, 1998.
- HALLOUN, I.; HESTENES, D. The initial knowledge state of college physics students. *Am. J.Phys.* 53, 1043, 1985.

- HESTENES, D.; WELLS, M. e SWACKHAMER, G. Force Concept Inventory, *The Physics Teacher* 30(3), p. 141-158, 1992
- HODSON, D. Philosophy of science, science and science education, *Studies in Science Education*, 12, 25-57, 1985.
- LABURÚ, C.E. Problemas abertos e seus problemas no laboratório de física: uma alternativa dialética que passa pelo discursivo multivocal e univocal. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.8 (3), p. 231-256, 2003.
- LABURÚ, C.E.. O laboratório didático a partir da perspectiva da multimodalidade representacional. *Ciência & Educação*, v. 17, n.3, p. 721-734, 2011.
- LABURÚ, C.E.; BARROS, M.A.; SILVA, O.H.M.. Multimodos e múltiplas representações, aprendizagem significativa e subjetividade: três referenciais conciliáveis da educação científica. *Ciência & Educação*, v. 17, n.2, p. 469-487, 2011.
- LEMKE, J. L. *Teaching all the languages of science: words, symbols, images, and actions*. Disponível em: <<http://academic.brooklyn.cuny.edu/education/jlemke/papers/barcelon.htm>>. Acesso em: 15 fev. 2013.
- MOREIRA, M. A. ; GRECA, I. M.. Mudança conceitual: análise crítica e propostas à luz da teoria da aprendizagem significativa. *Ciência e Educação*, Bauru, v. 9, n. 2, p. 301-315, 2003.
- 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. A Motivated Exploration of Motivation Terminology. *Contemp. Educ. Psych.*, **25**, 3-53, 2000.
- PINTRICH, P. R. A motivational science perspective on the role of student motivation in learning and teaching contexts. *Journal of Educational Psychology*, v. 95, p. 667–686, 2003.
- PINTRICH, P.R.. The role of motivation in promoting and sustaining self-regulated learning. *International Journal of Educational Research*, v. 31, p. 459-470, 1999.
- PRAIN, V.; WALDRIP, B. An exploratory study of teachers' and students' use of multi-modal representations of concepts in primary science. *International Journal of Science Education*, Abingdon, v. 28, n. 15, p. 1843-1866, 2006.
- SANTAELLA, L. *Semiótica aplicada*, Thomson, São Paulo, SP, 2005.
- WALDRIP, B.; PRAIN, V.; CAROLAN, J. Learning junior secondary science through multi-modal representations. *Electronic Journal of Science Education*, Georgetown, v. 11, n. 1, p. 87-107, 2006.
- ZÔMPERO, A. de F. 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, 2012.